

**KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI KULLANILARAK
ÇOK KATMANLI MİKRODALGA SOĞURUCU ÖZELLİKLİ
KALKANLAYICI BETON TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kemal SARI

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı**

HAZİRAN 2021

**KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI KULLANILARAK
ÇOK KATMANLI MİKRODALGA SOĞURUCU ÖZELLİKLİ
KALKANLAYICI BETON TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kemal SARI
(190801097)**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ

HAZİRAN 2021

TEZ ONAYI

Kemal SARI tarafından hazırlanan Yapay Arı Koloni Algoritması Kullanılarak Çok Katmanlı Mikrodalga Soğurucu Özellikli Kalkanlayıcı Beton Tasarımı adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik - Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : *Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ*

Jüri Üyeleri

İmza:

Doç. Dr. Ahmet KAYABAŞI

Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Deniz ÜSTÜN

Tez Savunma Tarihi: 28/06/2021

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. Ahmet KAYABAŞI
Enstitü Müdürü



BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Kemal SARI





Aileme,

ÖNSÖZ

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi'nde yapmış olduğum bu tezde, beton temelli kompozit malzemelerin çok katmanlı radar soğurucu malzeme olarak kullanılmasını konu edinen tez çalışmamı, elde edilen bilgileri ve sonuçları ilgililerinize sunuyorum. Bu tezin hazırlanma sürecinde ve aldığım yüksek lisans eğitimi döneminde yardımlarını ve hoşgörüsünü esirgemeyen, her zaman destek olan, tanıştığım için onur duyduğum Sayın Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ'a çok teşekkür ederim. Ayrıca Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğindeki bütün saygı değer hocalarıma, laboratuvar çalışmalarında büyük desteği olan Arş. Gör. Mustafa TEKBAŞ'a, Malzeme Mühendisliği EMFAL laboratuvarı çalışanlarına, Doç.Dr. Faruk ÖZEL'e ve sabırları için aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2021

Kemal SARI



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
ABSTRACT	xxi
1. GİRİŞ.....	23
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	25
2.1 Kuramsal Temeller	25
2.2 Kaynak Araştırması.....	25
3. EM DALGA EMİCİ MALZEMELER VE KALKANLAMA.....	31
4. MATERYAL METOT	35
4.1 Katkılı Beton Malzemelerin Hazırlanması.....	35
4.2 Ağ Analizörü Ölçüm sistemi.....	38
4.3 Saçılma Parametreleri ve Nicholson Ross Weir Algoritması	40
4.4 Çok Katmanlı Radar Soğurucu Malzeme Tasarımı Matematiksel Modeli	48
4.5 Yapay Arı Kolonisi Algoritması	50
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	55
5.1 Tek Katmanlı Tasarım.....	55
5.2 İki Katmanlı Tasarım	56
5.3 Üç Katmanlı Tasarım	57
5.4 Dört Katmanlı Tasarım.....	58
5.5 Beş Katmanlı Tasarım.....	59
5.6 Altı Katmanlı Tasarım.....	60
5.7 Yedi Katmanlı Tasarım	61
5.8 Çok katmanlı Tasarım Verileri.....	62
6. SONUÇLAR	65
7. KAYNAKLAR	67



KISALTMALAR

ABC	: Artificial Bee Colony
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
CNT	: Carbon Nano Tube
ÇKMK	: Çok Katmanlı Mikrodalga Kalkanlayıcı
EM	: Elektromanyetik
EMI	: Electromagnetic Interference
Fe₂O₃	: Demir Oksit
MWCNT	: Multi Walled Carbon Nano Tube
RAM	: Radar Absorber Material
SE	: Ekran Etkinliği (Shielding Effect)
SiO₂	: Silisyum Di Oksit
TKMK	: Tek Katmanlı Mikrodalga kalkanlayıcı
VNA	: Ağ Analizörü (Vector Network Analyzer)
YK	: Yansıma Katsayısı
YAK	: Yapay Arı Kolonisi
Std. Sp.	: Standart Sapma



SEMBOLLER

λ	: Dalga Boyu
Γ	: Yansıma Katsayısı
ϵ	: Elektriksel Geçirgenlik
μ	: Manyetik Geçirgenlik
ω	: Açısal Frekans
f	: Frekans
γ	: Yayılma sabiti
Ω	: Ohm
Z	: Karakteristik Empedans





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Mikrodalga kalkanlayıcı beton katkı oranları listesi.	36
Çizelge 5.1 : Tek katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayı verisi.	55
Çizelge 5.2 : İki katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayı verisi.	56
Çizelge 5.3 : Üç katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayı verisi.	57
Çizelge 5.4 : Dört katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayı verisi.	58
Çizelge 5.5 : Beş katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayı verisi.	59
Çizelge 5.6 : Altı katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayı verisi.	60
Çizelge 5.7 : Yedi katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayı verisi.	61
Çizelge 5.8 : Çok katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı beton katman kalınlık verileri.	62





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kalkanlama malzemesi ile kaplanmış oda (Kaşgöz, 2017).....	23
Şekil 3.1 : EM dalganın fiziksel bir yüzey ile etkileşimi.....	31
Şekil 3.2 : Tek katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı malzeme.....	33
Şekil 4.1 : Çimento harcına katkılanan malzemeler.	35
Şekil 4.2 : Malzeme örnekleri ve sac kalıp.....	37
Şekil 4.3 : WR90 numune tutucu ve hazırlanmış malzeme örneği.....	37
Şekil 4.4 : Keysight PNA N5224A Ağ analizörü ve ölçüm düzeneği.....	39
Şekil 4.5 : WR90 Dikdörtgen Dalga Kılavuzu Ölçüm Düzeneği.....	40
Şekil 4.6 : Dalga kılavuzu üzerinde saçılma parametreleri.	41
Şekil 4.7 : Nicholson-Ross Weir akış diyagramı.....	43
Şekil 4.8 : Katkısız betonun elektriksel özelliği.	44
Şekil 4.9 : Karbon Nano Tüp (CNT) katkılı beton elektriksel özelliği.	44
Şekil 4.10 : Demir tozu katkılı malzemenin elektriksel özelliği.	45
Şekil 4.11 : CNT+Fe tozu katkılı malzemenin elektriksel özelliği.	45
Şekil 4.12 : Kırmızı demir oksit (Fe_2O_3) katkılı malzemenin elektriksel özelliği.....	46
Şekil 4.13 : Mohs (SiO_2) ve Kalsit ($CaCO_3$) katkılı malzemenin elektriksel özelliği.....	46
Şekil 4.14 : Kuvars tozu (SiO_2) katkılı malzemenin elektriksel özelliği.....	47
Şekil 4.15 : Çok katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yapı.....	48
Şekil 4.16 : Yapay arı koloni algoritması yiyecek arama yapısı	51
Şekil 4.17 : Yapay arı kolonisi algoritması akış şeması.	53
Şekil 5.1 : Tek katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.....	55
Şekil 5.2 : İki katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.	56
Şekil 5.3 : Üç katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.	57
Şekil 5.4 : Dört katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.....	58
Şekil 5.5 : Beş katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.....	59
Şekil 5.6 : Altı katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.....	60
Şekil 5.7 : Yedi katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.	61
Şekil 5.8 : Çok katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.	63
Şekil 5.9 : 4 katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı.	63



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI KULLANILARAK ÇOK KATMANLI MİKRODALGA SOĞURUCU ÖZELLİKLİ KALKANLAYICI BETON TASARIMI

Kemal SARI

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Abdurrahim TOKTAŞ

Haziran, 2021, 70 sayfa

Mikrodalga, kablosuz iletişimden, radar ve biyomedikal uygulamalara kadar çok farklı kullanım alanlarına sahiptir. Bununla birlikte, hem sağlık hem de savunma alanında mikrodalgaın soğurulmasının ve/veya ekranlanmasının gerektiği durumlar olabilmektedir. Stratejik askeri binaları radardan gizlemek ve mikrodalga ölçüm odalarını veya özel odaları izole etmek için genellikle kalkanlayıcı malzemeler kullanılmaktadır. Yapılan tez çalışmasında, beton temelli malzemeler kullanılarak, soğurucu özellikli çok katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı (ÇKMK) beton tasarlanmıştır. ÇKMK, farklı malzemelerden oluşmuş birden fazla katmanın üstüste yerleştirilmesi ile elde edilmektedir. ÇKMK yapıların en önemli avantajı, geniş frekans bandında yüksek soğurma performansı sunmasıdır. ÇKMK tasarımı için düşük yansıma katsayısı verecek şekilde, katmanlarda kullanılacak malzemelerin ve katman kalınlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu yönüyle, ÇKMK tasarımı bir ters (inverse) tasarım problemidir. Bundan dolayı, ÇKMK tasarımında optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Tez kapsamında kullanılacak numuneler, çimento matrisi içerisine yerleştirilmiş demir, karbon ve seramik katkılardan oluşturulmuştur. Söz konusu malzemelerden ağırlıkça farklı oranlarda harca ilave edilerek 26 farklı beton numunesi elde edilmiştir. Beton numunelerin elektromanyetik (EM) saçılma parametreleri (S_{11} ve S_{21}), dalga klavuzu yöntemi ile ölçülmüştür. Bu parametrelerden Nicholson Ross Weir (NRW) tekniği kullanılarak elektriksel ve manyetik geçirgenlik sabitlerinden oluşan bir malzeme veritabanı oluşturulmuştur. Söz konusu malzeme veritabanı üzerinden birden yedi katmanlıya kadar ÇKMK yapıları, Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması kullanılarak tasarlanmıştır. Aynı zamanda optimum katman sayısında belirlenmesi amacıyla, tasarlanan ÇKMK'lar karşılaştırılmış ve dört katmanlı olanı, genel optimum yapı olarak belirlenmiştir. Gelecek çalışmalarımızda, belirlenen dört katmanlı ÇKMK'nın prototipinin üretilmesi ve ölçülmesi planlanmaktadır.

AnahtarKelimeler: Mikrodalga kalkanlayıcı, mikrodalga soğurucu, radar soğurucu, beton, kompozit, çok katmanlı tasarım, optimizasyon, yapay arı koloni algoritması



ABSTRACT

MsThesis

USING ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM SHIELDING CONCRETE DESIGN WITH MULTILAYER MICROWAVE ABSORBER

Kemal SARI

**Karamanoğlu Mehmetbey University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical Electronics Engineering**

Supervisor: Doç.Dr. Abdurrahim TOKTAŞ

June, 2021, 70 pages

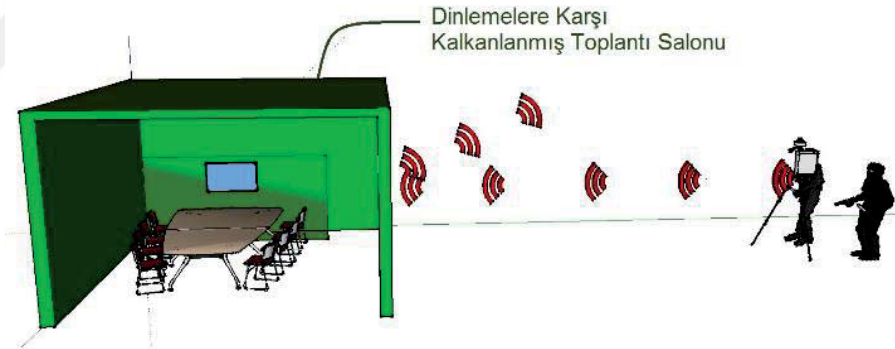
Microwave has many different uses, from wireless communication to radar and biomedical applications. In addition, there may be situations where absorption and/or shielding of the microwave is required, both in the health and defence field. Shielding materials are often used for purposes such as hiding strategic military buildings from radar system and isolating microwave anechoic chamber or private rooms. In the thesis study, multi-layer microwave shielding (MLMS) concrete with absorbing property was designed using concrete-based materials. MLMS is obtained by placing more than one layer of different materials on top of each other. The most significant advantage of MLMS structures is that they offer high absorption performance in broadband frequency range. It is necessary to determine the materials to be used in the layers and their thicknesses so as to give a low reflection coefficient for the design of MLMS. In this respect, MLMS design is an inverse problem. Therefore, optimization algorithms can be used in MLMS design. Within the scope of the thesis, firstly the specimens to be used in the layers were formed from iron, carbon and ceramic additives filled in the cement matrix. Twenty-six different concrete specimens were obtained by adding the aforementioned materials to the mortar at different weight ratios. Electromagnetic (EM) scattering parameters (S_{11} and S_{21}) of concrete specimens were measured by the waveguide method. A material database consisting of electrical and magnetic permeability constants was created using the Nicholson Ross Weir (NRW) technique from these parameters. From one to seven-layer MLMS structures were designed using the Artificial Bee Colony (ABC) algorithm over the aforementioned material database. At the same time, in order to determine the optimum number of layers, the designed MLMSs were compared, and the four-layer one was determined as the overall optimum structure. In our future work, it is planned to produce and measure the prototype of the determined four-layer MLMS.

Keywords: Microwave shielding, microwave absorber, radar absorber, concrete, composite, multi layer design, optimization, artificial bee colony algorithm



1. GİRİŞ

Günümüzde, elektronik cihaz kullanımının oldukça yaygınlaşmış olması beraberinde elektromanyetik kirliliğin de artmasına sebep olmaktadır. Elektromanyetik kirlilik, cep telefonu, baz istasyonları ve diğer elektronik cihazlardan kaynaklanan elektromanyetik dalga yayılımının oluşturduğu ortam olarak adlandırılabilir. Elektromanyetik kirliliğe maruz kalan cihazlar bu durumdan olumsuz etkilenmekte ve performansları düşmektedir. İnsan sağlığı açısından ciddi sorunlara yol açma potansiyeli olan elektromanyetik kirlilik, aynı zamanda hassas cihazlar için sorunlar oluşturabilmektedir. Elektromanyetik kirliliği azaltmak ve sınırlandırmak için elektromanyetik kalkanlamaya ihtiyaç duymaktayız. Şekil1.1’de kalkanlanmış bir oda tasarımı görülmektedir.



Şekil 1.1 : Kalkanlama malzemesi ile kaplanmış oda (Kaşgöz, 2017).

Ülkelerin savaş stratejilerinde elektronik harp cihazları önemli bir yer tutmaktadır. Bu cihazlarla birlikte kullanılabilen savunma materyallerinden birisi de elektromanyetik kalkanlama malzemeleridir. Kalkanlama çalışmalarına her geçen gün yenileri eklenmektedir.

Mikrodalga frekans bölgesinde X-band olarak bilinen 8.2-12.4 GHz frekansa sahip sinyaller radar cihazlarında kullanılmaktadır. Radar cihazı kapsama alanındaki cisimlere çarpıp yansıyor, cismin uzaklığı ve büyüklüğü hakkında bilgi vermektedir.

Bu konu güvenlik çalışanlarının radar sistemleri tarafından tespit edilemeyen alanlar ve araçlar üzerine odaklanmasını sağlamıştır. Bunun için mikrodalga kalkanlayıcı malzeme tasarımı ve şekilsel değişiklikler söz konusu olmuştur. Bunların yanı sıra yaşam alanlarımızda yoğun olarak maruz kaldığımız EM sinyal kirliliğine karşı da çimento temelli kalkanlama malzemeleri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle kablosuz ağ ve cep telefonu sinyallerine yönelik çimento içerisine metal ve karbon katkılarının dahil edildiği çalışmalar ile düşük frekanslarda ev ve işyerlerinin oda yalıtımında kullanılacak EMI (Electromagnetic Interference-Elektromanyetik Girişim) soğurucu malzeme tasarımları ortaya konulmuştur.

Kalkanlama malzemeleri EM dalga etkinliğini azaltmak için çalışma frekansına uygun olarak tasarlanmalı ve üretilmelidir. Kalkanlama malzemelerinin elektrik iletkenliği ve elektromanyetik parametreleri emilim üzerinde etkilidir. Ayrıca kalkanlamayı sağlayacak malzeme seçimi kullanılacağı ortama göre değişiklik gösterecektir. Tasarımın kullanılacağı ortama göre ağırlık, kalınlık, uygulanabilirlik, korozyon dayanımı, verimlilik ve kullanım alanı gibi birçok sınırlama söz konusu olacaktır. Tüm bunlar düşünüldüğünde yapısının farklı varyasyonlara izin vermesi ve kullanım alanının genişliği sebebiyle, tezimiz beton temelli kalkanlama malzemeleri üzerine odaklanmıştır.

Tezimizde X-band, 8.2-12.4GHz frekans aralığında çalışacak, çok katmanlı mikrodalga soğurucu özellikli kalkanlama tasarımına gidilmiştir. Özellikle karargâh ve cephaneliklerin radar sistemlerinden saklanması, ortam dinlemesine karşı korunaklı oda tasarımında, sistem odalarının veri hırsızlığına/veri manipülasyonuna karşı korunmasında, yankısız oda olarak bilinen ölçüm odalarının oluşturulmasında beton temelli kalkanlayıcının kullanılabilmesi düşünülmektedir.

Literatür incelendiğinde polimer, metal katkılı ve karbon katkılı malzemelerin bu alanda sıkça kullanıldığı görülmektedir. Katkı malzemesi olarak metal kullanmanın avantajı demir, nikel, kobalt gibi metallerin ferro manyetik özellik göstermesi, karbon türevi malzemeler kullanmanın avantajı ise özellikle nano düzeydeki karbonlar için malzeme içerisindeki EMI iletim hattının genişletilmesi olarak düşünülebilir (Guan ve diğerleri, 2006).

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Kuramsal Temeller

Malzemeler üzerinde yapılan elektromanyetik ölçümler için farklı ölçüm sistemleri kullanılmakla beraber, ölçeklenebilir katı malzemeler üzerinde dalga kılavuzları yöntemi sıklıkla tercih edilmektedir. Dalga kılavuzu kullanmanın avantajı ölçüm düzeneğinin kurulumunun ve kullanımının kolaylığıdır. Farklı frekanslar için farklı boyutlardaki ölçüm düzeneklerin gerekli olması ise dalga kılavuzunun dezavantajı olarak düşünülebilir.

Üniversitemizde Mikrodalga, Anten ve Malzeme Araştırma Laboratuvarında (MAMAR-Microwave Antennas and Materials Research Laboratory) bulunan Vektör Network Analizörü kullanarak mikrodalga X-bandında ölçümlerimizi dalga kılavuzu yöntemiyle gerçekleştirilmektedir.

Çimento bazlı malzemeler üzerinde ölçümler gerçekleştirilerek elde edilen saçılma parametreleri ile malzemelerin elektriksel özellikleri tespit edilebilir. Elektromanyetik geçirgenlik değerleri (ϵ , μ) tespit edilen malzemeler için karakteristik empedans hesaplaması yapılabilir. Karakteristik empedansı bilinen materyaller için yansıma katsayısı hesaplanabilir. Tez çalışmamızda üretilen beton numunelere ait elektromanyetik geçirgenlik değerleri, bu ölçümler ve hesaplamalar ile elde edilmiştir. Bu alanda yapılan tek katmanlı çalışmalara nazaran çok katmanlı tasarım daha verimli sonuçlar ortaya koymaktadır. Üretilen beton numunelerinin çeşitliliği ve çok katmanlı tasarımların optimize edilmesi, tezimizi diğer çalışmalardan ayıran en önemli hususlardır.

Bu tez çalışmasında Yapay Arı Koloni algoritmasıyla çok katmanlı kalkanlayıcı yapıları tasarlanmıştır. En yüksek mikrodalga soğurma özelliğine sahip malzeme dizilimi ve katman kalınlıkları optimum olarak tespit edilmiştir.

2.2 Kaynak Araştırması

Guan ve diğerleri (2006) elektromanyetik kalkanlama malzemeleri üzerine yaptıkları araştırmalarda EM dalga emici olarak iletken tozların, metal ve karbon liflerin, manyetik ferritlerin çimentoya katkılanabileceğini ifade etmişlerdir.

Xu ve diğeri (2003) çimento içerisine ferrit ve metal lifleri katkılamının düşük frekansa başarılı olduğunu, bant genişliğini artırmak için farklı malzeme karışımlarının kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca uygun oranlarda metal katkılamının beton numunenin sağlamlığına olumlu etkisinin olacağını ifade etmişlerdir.

Guan ve diğeri (2006) silikon di oksit (SiO_2) ve nano boyutta karbon siyahı (N234) kullanarak 20*20 cm boyutunda 1cm kalınlığında hazırladıkları beton levha için çimento harcına hacimce %1.5, %3 ve %6 oranında SiO_2 eklemiştir. Çalışma ile 2-8GHz frekans aralığında -6,-8dB lik bir yansımaya katsayısına ulaştıklarını ifade etmişlerdir.

Literatürde EPS(Expanded Polystyrene) köpük katkılı çimento malzemeler, elektromanyetik kalkanlayıcı materyal olarak çalışılmıştır. EPS katkılamının fiziksel avantajı su emiliminin az olması, hafif olması ve içerisinde hava boşlukları barındırması olarak gösterilebilir. Bu çalışmalarda;

Guan ve diğeri, (2007) %60 oranında EPS köpük katkılanmış beton materyalin 8-18GHz frekanslarındaki ölçümlerinde -8dB lik bir yansımaya katsayısı tespit etmişler, -10dB lik bir yansımaya katsayısını ise 6.2 GHz de yakalamışlardır.

Baoyi ve diğeri (2011) 1.7-18GHz frekans aralığındaki çalışmalarında %50 EPS katkılı beton malzeme ile minimum -22dB lik bir yansımaya katsayısını 5.6GHz de tespit etmişlerdir. EPS köpük gibi gözenekli malzemelerin kalkanlama üzerine olumlu etkisi, gözeneklere çarpan EM dalganın daha fazla iç yansımaya dağıtılması olarak gösterilebilir.

Dai ve diğeri (2010) çimento harcına karbon siyahı katkılayarak elde ettikleri beton malzemelerde elektriksel direnç, basınç dayanımı ve EM dalga emilimini ölçmüşlerdir. Ölçüm sistemi huni antenler ile yankısız bir alanda bir iç odaya 2 metre mesafe ile kurulmuş, malzeme 180*180mm ebatlarında 30mm kalınlığında hazırlanmıştır. 8-26GHz arasında yaptıkları EM dalga ölçümünde ağırlıkça %0.5, %2.5 ve %3 karbon siyahı katkılanmış beton malzemeler için -10dB ile -20dB arasında yansımaya katsayısı tespit etmişlerdir. Minimum yansımaya katsayısı değeri ise -20.3dB olarak %2.5 oranında karbon siyahı katkılı beton malzemede görülmüştür.

Zhang ve Sun, (2010) tek katmanlı ve iki katmanlı olarak yaptıkları çalışmalarında beton malzemeleri oluştururken çimento harcında %10 silis tozu (SiO_2) içeren bir katman ve %10, %30, %50 Mn-Zn ferrit tozu içeren ikinci bir katman kullanmışlardır. %10 silis tozu içeren katman saf beton harcına göre fazladan 4dB lik yansıma kaybı sağlamıştır. Silis tozu içeren birinci katman uyum katmanı olarak nitelendirilir ve dalganın malzeme içerisine alınmasını sağlar. Mn-Zn ferrit tozu içerikli ikinci katman ise dalganın yansıma değerinin yüksek oranda düşürülmesine hizmet eder. Beton levhalar toplam kalınlığı 30mm olacak şekilde tek katmanlı ve iki katmanlı üretilmiştir. İki katmanlı tasarımda uyum katmanı için 5mm ve 10mm, kayıp katmanı için 25mm ve 20mm kalınlıklarında levhalar hazırlanmıştır. 8-18GHz aralığında test edilen malzemeler -10dB'in altında bir yansıma katsayısı ortaya koymuşlar, minimum yansıma katsayısı ise -15dB olmuştur.

Zhang ve Sun, (2012) üç katmanlı beton esaslı mikrodalga soğurucu tasarımı gerçekleştirmiş, çimento harcına katkı malzemesi olarak ferrit, karbon fiber ve kauçuk tozu kullanmışlardır. Elektromanyetik soğurucu beton tasarımını %10 kauçuk tozu, %30 spinel ferrit ve %0.5 karbon fiber katkısı ile gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Havanın karakteristik empedansını göz önüne alarak yüzey katmanı, orta katman ve alt katmanı empedans ve iletkenliği kademeli artacak şekilde dizayn etmişlerdir. 8-18GHz frekansında, 30mm kalınlığındaki malzeme ile -10dB'in altında yansıma katsayısı tespiti etmişlerdir.

Micheli ve diğerleri, (2017) Karbon takviyeli beton malzemeleri oluşturmak için %1 ve %3 oranında MWCNT kullanmışlar, WR975 dalga kılavuzuna uygun çelik tutucuyu 3cm kalınlığında çimento ile doldurarak malzemeyi oluşturmuşlardır. Dalga kılavuzu ölçüm tekniği yardımıyla 0.75-1.12GHz ve 1.7-2.6GHz frekansında elektromanyetik dalga saçılma parametrelerini ölçmüşlerdir. Ölçüm sonucu bulunan verilerden yola çıkarak, Nicholson Ross Weir (NRW) yöntemiyle, elektrik ve manyetik geçirgenliği hesaplamışlar, yansıma kaybı tespitinde bu verileri kullanmışlardır. Ayrıca yankısız odada yaptıkları ölçümlerle, hesaplanan sonuçların tutarlı olduğunu ifade etmişlerdir. 3cm kalınlıkta %3 lük bir MWCNT katkılmasının 2.6GHz frekansda -12dB lik bir yansıma katsayısı verdiğini tespit etmişlerdir. Kalınlığın 30cm kadar çıkarılmasıyla 2.6GHz de 80dB e kadar kayıp elde edilebileceğini ifade etmişlerdir. Çalışmada parçacık sürü optimizasyonu kullanarak üç katmanlı bir tasarım oluşturmuşlar ve 1.7-2.6GHz aralığında 22.8mm lik bir

toplam kalınlıkla -10dB lik bir yansıma katsayısı elde etmişlerdir. Katman kalınlıklarını 1mm lik kademelerle artırarak yaptıkları hesaplamalarda 3 farklı senaryoda kalkanlama etkisinin değişmediğini frekans kaymasının olduğunu ortaya koymuşlardır. Üretimde oluşabilecek 1mm'lik hata paylarının tolere edilebileceğini göstermesi açısından önemlidir.

B. Guan ve diğerleri (2017) Doğal manyetit(F_3O_4) tozlarının %5,%10,%15 ve %20 oranlarında çimentoya ilave edilmesiyle oluşturdukları beton malzemeleri 2.6-3.95GHz de test etmişler ve bu çalışmayı 4-8mm ince malzemeler, 12-24mm kalın malzemeler şeklinde iki grupta incelemişlerdir. Ölçümler sonucu çimentoya karıştırılan manyetit tozları ile ϵ' ve ϵ'' değerlerinin yükseldiği tespit edilmiş, fakat ϵ'' değerinin anlamlı bir şekilde yükselmesi için %10'dan daha fazla bir katkılamaya ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Katkılı beton malzeme için μ' ve μ'' değerlerinin bir miktar yükseldiğini ifade etmişlerdir. 24mm kalınlıkta %5 manyetit katkılama ile minimum -28dB lik bir yansıma katsayısı elde etmişlerdir. 21mm kalınlıkta %10 manyetit katkı ile minimum -14dB'lik bir yansıma katsayısı elde etmişlerdir. 4mm kalınlıkta %20 manyetit katkılama ile ortalama 10dB lik bir yansıma kaybına ulaşmışlardır.

Cakir ve diğerleri (2017) beton malzemelerin kalkanlama etkileri üzerine yaptıkları çalışmalarında atık metalik yonga katkılı çimento harçlarını kullanmışlar ve 7.6mm kalınlığında numuneler hazırlamışlardır. Beton malzemeleri hazırlarken hacimce %10, %30, %40, %60 oranlarında atık demir talaşı, %10 krom ve %10 çelik talaşı içeren örnekler üretmişlerdir. Ölçümleri yapılan malzemelerin 5GHz ile 7GHz frekans aralığında yansıma kayıp hesaplamaları sonucu %30 demir katkılı kompozit ile -18dB'lik bir yansıma kaybı elde etmişler, %40 demir katkılı kompozit ile -25dB'lik bir yansıma kaybı elde etmişler, %60 demir katkılı kompozit ile -40dB'lik bir yansıma kaybı elde etmişlerdir. Diğer kompozitlerin yansıma kayıp değerlerini -5 ile -15dB arasında tespit etmişlerdir.

Çimento harcına yönelik yapılan başka bir çalışmada ağırlıkça %1, %2, %3, %4, %5, %10 ve %15 oranında MWCNT katkı yapılarak beton malzemeler üretilmiştir. Kompozitlerin 8.2GHz ile 12.4GHz frekans aralığındaki yansıma kayıpları tespit edilmiştir. Buna göre %1'den %5'e kadar olan malzemelerde yansıma katsayısı -7dB ile -10dB arasında sonuç üretirken %10 katkılı malzeme -

22dB ve %15 katkılı malzeme -27dB yansımaya katsayısı sunmuştur (Singh ve diğerleri, 2013).

Bir başka çalışmada ağırlıkça %0.1, %0.3, %0.6 ve %0.9 oranlarında MWCNT katkılanmış beton malzemelerin yansımaya kayıp değerleri araştırılmıştır. 25mm kalınlığındaki malzeme ile 2GHz-8GHz aralığında ölçüm ve hesaplama yapılmış, sonuç olarak ortalama 10dB yansımaya kaybı elde edilmiş, 2.9GHz'de tek noktada minimum 28dB yansımaya katsayısı gözlenmiştir. Yine aynı oranlarda 35mm kalınlığındaki malzeme ile 8GHz-18GHz aralığında ölçüm ve hesaplama yapılmış, %0.6 katkılı malzeme ile 8-11dB arası yansımaya katsayısı elde edilirken %0.9 katkılı malzeme ile 9-13dB arası yansımaya katsayısına ulaşılmıştır (Wang ve diğerleri,2013).

Başka bir çalışmada çimento harcına hacimce %0.72 oranında çelik katkılanmış ve 1.5 GHz frekansında -70dB'e varan yansımaya katsayısı tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada hacimce %0.36 çelik katkılanması ile 1.5GHz'de 58dB yansımaya kaybı tespit edilmiştir (Wen ve Chung, 2004).

Başka bir çalışmada elektromanyetik girişimi kalkanlamaya yönelik uygun maliyetli bir malzeme için fındık kabuğu ve yer fıstığı kabuğundan faydalanılmıştır. Bu ürünler laboratuvar ortamında karbonize edilerek mikro boyuta getirilmiştir. CNT ve grafen yerine çimento harcına katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Ağırlıkça %2 ve %5 oranlarında yapılan katkılanmalar sonucu 10mm kalınlıktaki bir kompozit malzemenin 2GHz ile 8GHz arasında yansımaya katsayısı ölçülüp hesaplanmıştır. %2 katkılı kompozitin saf betona göre -2dB, %5 katkılı kompozitin -4dB daha düşük yansımaya katsayısı sunduğunu tespit etmişlerdir (Khushnood ve diğerleri, 2015).

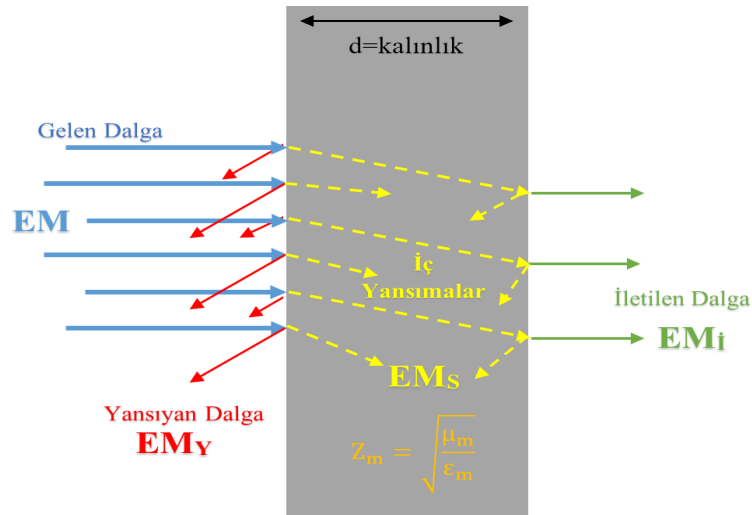
Literatür taramamızdan özetle anlaşılmaktadır ki, kristal yapıdaki bor türevi malzemeler, SiO₂, karbon türevleri ve manyetik lifler, metal katkılanmalar çimento ile yapılacak kalkanlama malzemelerinde kullanılabilecek ideal malzemelerdir. Kalkanlama malzemesinin kalınlığı soğurma performansı ve üretim kolaylığı açısından önemlidir. Soğurma performansının en yüksek olacağı kalınlık değeri hesaplamalar neticesinde ortaya çıkacaktır Ayrıca yapı sektöründe faaliyet gösteren bazı üreticiler 6mm - 32mm arası kalınlık değerlere sahip betopan ismi verilen beton levhalar üretmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde beton kalkanlayıcı çalışmalarında, tek katmanlı veya iki katmanlı olsun, toplam kalınlık değerinin yaklaşık 30mm olduğu görülecektir.



3. EM DALGA EMİCİ MALZEMELER VE KALKANLAMA

Elektromanyetik dalgalar boşlukta ışık hızında, geri yansımaksızın ve neredeyse kayıpsız bir şekilde ilerleme özelliğine sahiptir. Elektromanyetik dalga ilerleme sırasında karşılaştığı ortamlara göre belirli şartlar altında geri yansiyabilir ya da soğurularak gücünü kaybedebilir. Elektromanyetik dalganın, karşılaştığı malzeme ile etkileşimi malzemenin elektriksel özelliklerine göre değişecektir. Malzemenin bu özellikleri, elektriksel geçirgenlik (ϵ), manyetik geçirgenlik (μ) ve iletkenlik (σ) olarak tanımlanabilir.

Yüksek iletkenliğe sahip (PEC) malzemeler, elektromanyetik dalgaları büyük oranda yansıtmaktadır. Örneğin radar cihazları metal yüzeylere sahip askeri araçlardan yansıyan sinyalin durumuna göre aracın konum ve büyüklüğünü tespit edebilmektedir. Bu gibi durumlara karşı, radar tespitini zorlaştırmak, elektronik cihazların elektromanyetik dalga emisyonlarını azaltmak ya da elektromanyetik dalgaya karşı korunaklı bir alan oluşturmak için elektromanyetik kalkanlama yöntemleri geliştirilmiştir. Elektromanyetik kalkanlama ile ilgili bilgi vermeden önce elektromanyetik dalganın karşılaştığı yüzeyle etkileşimi, Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : EM dalganın fiziksel bir yüzey ile etkileşimi.

Hava yüzeyinden kalkanlama materyaline doğru gelen EM dalganın malzeme ile etkileşimi üç şekilde ifade edilebilir. Bunlar, yansıyan dalgalar (EM_Y), soğurulan dalgalar (EM_S) ve iletilen dalgalar (EM_t) şeklindedir. Gelen dalganın gücü 1 olarak kabul edilirse, yansıyan dalganın gücü Y , iletilen dalganın gücü I ve soğurulan dalganın gücü S ise bunlar arasındaki ilişki şu şekilde ifade edilebilir.

$$1 = Y + S + I \quad (1)$$

İdeal bir kalkanlayıcıda yansıyan ve iletilen dalganın azaltılması amaçlanır. ÇKMK yapısının sağına (iletilen tarafa) bir iletken yüzey yerleştirilerek, I sifıra yakın elde edilebilir. Bu durumda $Y = 1 - S$ olacaktır. Yansıyan dalgayı Y azaltmak için soğurma kabiliyeti S , azami seviyeye çıkarmak anlamına gelecektir. Geniş bant frekans aralığında yüksek soğurma elde etmek için çok katmanlı yapısından dolayı ÇKMK daha iyi sonuçlar vermektedir.

Literatürde kalkanlama yapılarının temelini oluşturan üç çalışma Dallenbach, Salisbury ve Jaumann tarafından gerçekleştirilmiştir.

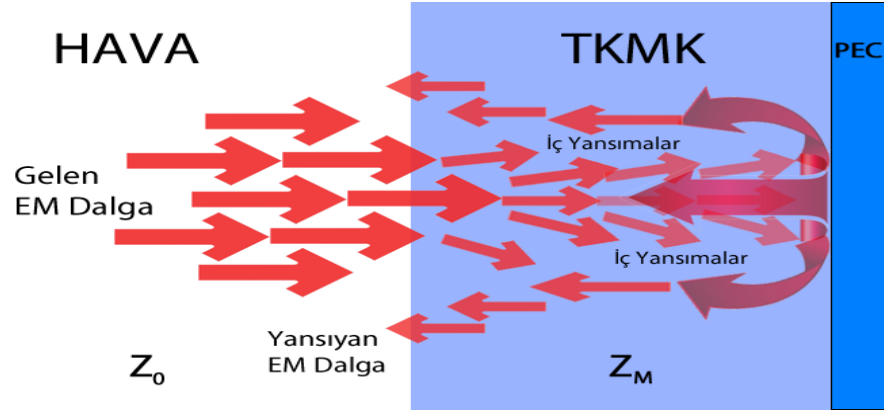
Dallenbach ve Kleinstember (1938) kendi adıyla bilinen çalışmasında, iletken metal plaka üzerine kayıplı homojen malzeme ekleyerek oluşturduğu kalkanlama malzemesinin kalınlığını çeyrek dalga boyu ($\lambda/4$) olarak seçmiş böylelikle metal plakadan yansıyan dalga ile iletme devam eden dalganın birbirini sönmlemesini amaçlamıştır. Elektromanyetik dalga soğurma kapasitesi bakımından tek katmanlı dallenbach tabakası geniş bant soğurma açısından verimli değildir.

Salisbury tabakası ismiyle bilinen kalkanlama çalışması iletken metal yüzey ile arasında $\lambda/4$ boşluk bulunan dirençli ince filmlerin kullanılması esasına dayanmaktadır. Yüksek dirençli filmin yüzey direnci havanın öz empedansına ($\approx 377\Omega$) yakın seçilerek yansımanın minimuma indirilmesi amaçlanır. Çeyrek dalga boşluk bırakılmasının amacı ise filmde iletilen dalga ile iletken yansıyan dalga arasında 180 derece faz farkı oluşturmak ve dalgaların birbirini sönmlemesini sağlamaktır (Salisbury, 1952).

Jaumann emici tasarımı ise PEC üzerinde çok katmanlı Salisbury tabaka içeren bir yapı olarak değerlendirilmektedir. Her katman farklı bir dalga boyunda çalışmak üzere tasarlanmıştır. Her ne kadar bu sistemler kolay kullanım yapısına sahip olsalar da dar bir bantta çalışmaktadırlar. (Du Toit, 1994)

Tek katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı malzeme Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Malzeme içerisine nüfuz eden dalga gücünü kaybeder ve yön değiştirerek tek katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı içerisinde dağılır. Elektromanyetik dalganın dağılması tamamen yok olduğu anlamına gelmez, süper iletken malzemeye kadar ilerleyen dalgalar yansıyarak malzeme içerisinden hava ortamına doğru yolculuğuna devam eder. Sonuç olarak hava ortamından malzemeye gönderilen elektromanyetik

dalganın bir kısmı malzemeden tekrar hava ortamına yansıtılmış olur. Bu yansımanın ölçüsü ise Yansıma katsayısı (I) ile ifade edilir.



Şekil 3.2 : Tek katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı malzeme.

Şekil 3.2’de hava ortamının karakteristik empedansı Z_0 olarak verilmiş olup mikrodalga kalkanlayıcı malzemenin karakteristik empedansı Z_M ’dir. Matematiksel olarak mikrodalga kalkanlayıcı giriş empedansı 377Ω luk bir değeri bulduğunda, ortam empedansları benzer olacağından malzemeden geri yansıyan dalganın olmaması beklenir. Hava empedansı ile uyumlu geniş bant bir TKMK tasarımı elde etmek zordur. Kompozit malzemeler hazırlanırken farklı malzemeler, farklı oranlarda katkılarla elektriksel olarak çeşitlendirilir. Mikrodalga kalkanlayıcı kompozit malzemelerin birçoğu karbon türevlerinin katkılı olduğu malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte metal tozları ve dielektrik malzemeler de kullanılmaktadır.

Çimento temelli mikrodalga kalkanlayıcı betonun dielektrik bir katkıyla üretilmesi malzemenin direncini yükseltecektir. Özellikle nano seviyede karbon malzemeler beton numuneye dâhil edilerek malzeme iç yüzeyindeki dalga saçılımının daha geniş bir alana yayılması hedeflenir. Böylece malzeme içine giren dalganın büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşür. Ferromanyetik olarak adlandırılan demir, nikel ve kobalt metalleri bağl manyetik geçirgenliği yükseltmek amacıyla kullanılır. Genellikle toz halinde veya milimetre boyutlarında parçacık olarak tercih edilirler.

Mikrodalga kalkanlayıcılar tasarlanırken çok katmanlı yapılar da söz konusudur. Çoklu iç yansımalara sebebiyet veren ve geniş bant frekans aralığında kullanılabilen çok katmanlı mikrodalga kalkanlama tasarımına materyal metot kısmında değinilmiştir.



4. MATERYAL METOT

Bu bölümde ilk olarak beton malzemenin hazırlanması ile ilgili bilgiler verilmiş olup, daha sonra ölçüm sisteminden, ölçüm sonucu elde edilen S parametrelerinin işlenmesinden ve son olarak da yapay arı koloni algoritması ile çok katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı tasarımından söz edilmektedir.

4.1 Katkılı Beton Numunelerin Hazırlanması

Çalışmalarımızda Konya Çimento fabrikasının ürettiği TSE EN 197.1 standardında CEM I 42,5R Portland çimento ve 0.3-0.7mm kalınlığında doğal kum kullanılmıştır. Katkılamalar CNT (Carbon Nano Tube), Demir tozu (Fe), Kırmızı Demir Oksit (Fe_2O_3), Kalsit ($CaCO_3$), Kuvars tozu (SiO_2) ve Gyeon marka Mohs sıvı seramik (SiO_2) malzemeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de kullanılan malzemeler gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Çimento harcına katılan malzemeler.

Saf beton üretmek için harcın ölçüsü, ağırlıkça %40 çimento, %60 kum olacak şekilde yapılandırılmıştır. Katkılanan harçlarda CNT katkılı 4 malzeme, Fe tozu katkılı 4 malzeme, CNT+Fe tozu katkılı 4 malzeme, Kalsit katkılı 2 malzeme, Mosh Seramik Sıvısı katkılı 2 malzeme ve Kuvars tozu katkılı 5 malzeme şeklinde 26 farklı malzeme hazırlanmıştır. Malzemeler ve oranları Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Oranlar ağırlık üzerinden gerçekleştirilmiştir. Katkılamada çimento oranı %40’da sabit tutulmuş, katı malzemeler kum eksilti olarak kullanılmıştır. Sıvı seramik için kum çimento oranı korunmuştur.

Çizelge 4.1 : Mikrodalga kalkanlayıcı beton katkı oranları listesi.

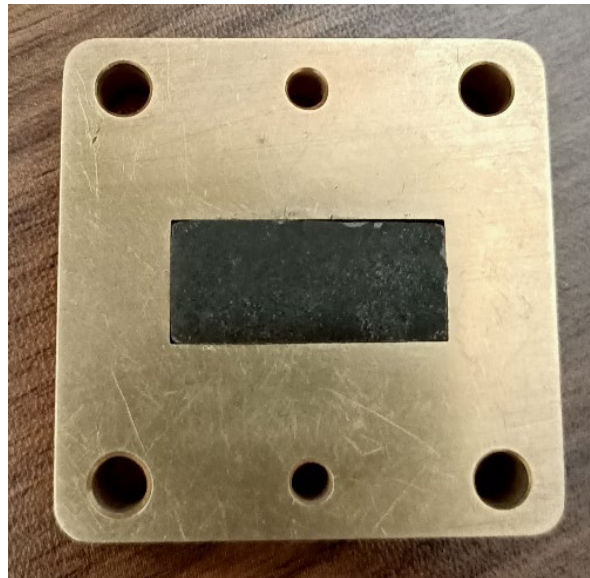
Sıra No	Malzeme Adı	Malzeme Katkı İçeriği
1	CNTA	%0.5 CNT
2	CNTB	%1 CNT
3	CNTC	%1.5 CNT
4	CNTD	%2 CNT
5	F10	%10 Fe tozu
6	F15	%15 Fe tozu
7	F20	%20 Fe tozu
8	F25	%25 Fe tozu
9	CBF10	%1 CNT + %10 Fe tozu
10	CBF20	%1 CNT + %20 Fe tozu
11	CDF10	%2 CNT + %10 Fe tozu
12	CDF20	%2 CNT + %20 Fe tozu
13	MHF20	0.5ml MOSH + %20 Fe tozu
14	MH	0.5ml MOSH (Sıvı Seramik)
15	CO5	%5 CaCO ₃ (Kalsit)
16	CO10	%10 CaCO ₃ (Kalsit)
17	FO5	%5 Fe ₂ O ₃
18	FO10	%10 Fe ₂ O ₃
19	FO15	%15 Fe ₂ O ₃
20	FO20	%20 Fe ₂ O ₃
21	KU5	%5 Kuvars Toz (SiO ₂)
22	KU10	%10 Kuvars Toz (SiO ₂)
23	KU15	%15 Kuvars Toz (SiO ₂)
24	KU20	%20 Kuvars Toz (SiO ₂)
25	KU25	%25 Kuvars Toz (SiO ₂)
26	SFBT	Saf Beton

Katkılanan beton harçlar 0.3mm kalınlıktaki metal sacdan yapılmış kalıplara dökülerek normal oda şartlarında 28 gün boyunca kurutulmuştur. Kalıplardan çıkarılan beton numuneleri ağ analizöründe ölçüm yapılmak üzere dikdörtgen dalga kılavuzuna uyumlu olarak ($\lambda/4$) çeyrek dalga ölçüsünde hazırlanmıştır. Numune ölçüleri 22.86 x 10.16 x 9.7mm şeklindedir. Hazırlanan malzeme örnekleri ve kalıbı şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2 : Malzeme örnekleri ve sac kalıp.

Ölçüm yapılmak üzere hazırlanmış numune örneğinin WR90 numune tutucuya yerleştirilmiş hali Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3 : WR90 numune tutucu ve hazırlanmış malzeme örneği.

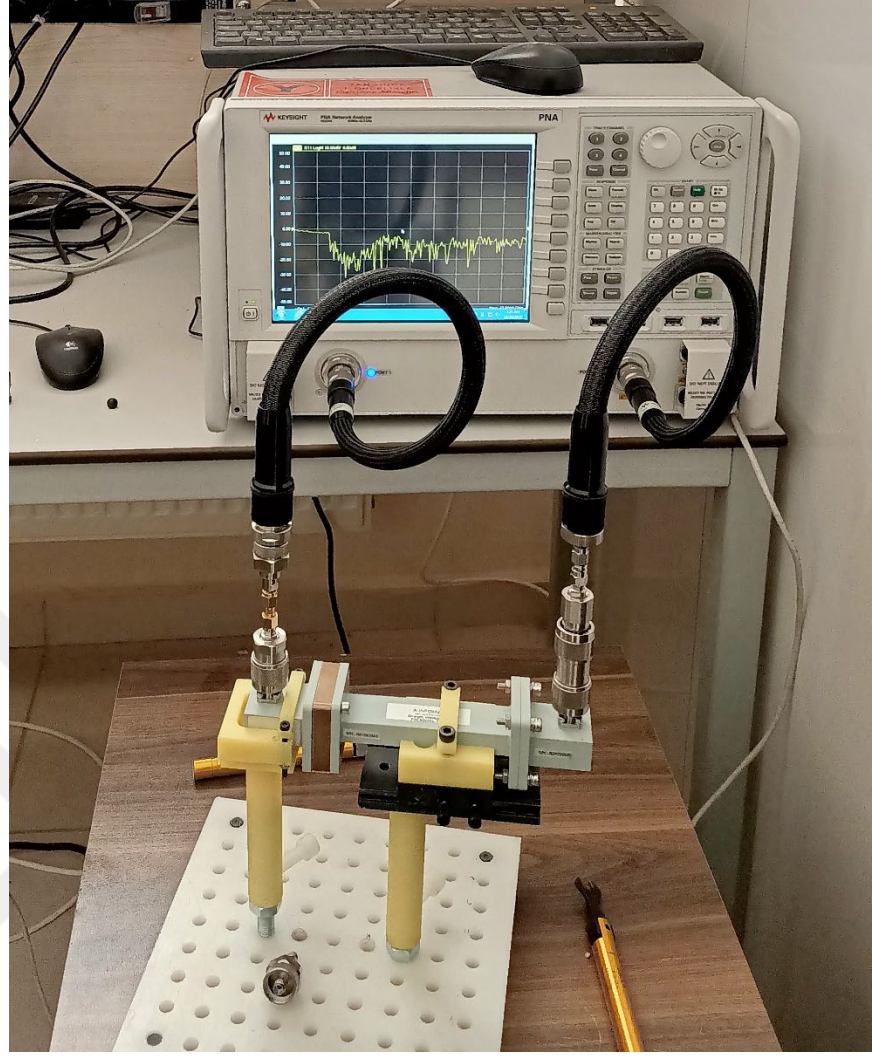
Beton numunelerin üretim aşamasında önce çimento harcı hazırlanmış, daha sonra katkı maddeleri ilave edilmiştir. Katkı maddeleri içerisinde fiziksel yapı bakımından doğal kum ile benzerlik gösteren demir (Fe) tozu, kalsit, kuvars malzemeleri kuru katkılama yapılmış ve uyumlu bir bağlaşım sağlamıştır.

CNT malzeme katkılamasında iki yöntem tercih edilebilir. Bunlardan birincisi CNT'nin suda çözülüp kullanılması, ikincisi de CNT'nin çimento harcına küçük miktarlarda ilave edilerek su takviyesi ile doğru kıvamın yakalanmasıdır. Çalışmamızda ikinci yöntem kullanılmış çimento harcına az miktarlarda CNT eklenerek karıştırılmaya devam edilmiştir. Yine az miktarlarda su ilavesiyle çimento harç kıvamı sağlanmıştır. Mohs sıvı seramik katkılaması da aynı şekilde su miktarı az olan çimento harcına ilave edilmiştir. Malzemenin sıvı olması nedeniyle su miktarı düşük tutulmuştur.

4.2 Ağ Analizörü Ölçüm Sistemi

Ağ analiz cihazı, aktif ve pasif aygıtların network değerlerini ölçen bir alettir. Bir ağ analizörü genellikle iki portlu devre ölçümlerinde kullanılır ve bileşenlerinde, test seti, bilgi ekranı, kontrol paneli ve radyo frekansı (RF) kablosu bulunur. Test seti ölçüm yapılacak ortama ve malzemeye göre değişeceği gibi, çalışmamızda WR90 dikdörtgen dalga kılavuzu kullanılmıştır. Cihaz ölçüm işleminde test edilecek sistemin girişine genliği, fazı, değeri bilinen bir sinyal uygular ve sistemin çıkışındaki sinyale bakarak sistem yapısı hakkında S parametreleri, giriş çıkış empedansları, faz farkı gibi bilgileri tespit eder. Ağ analizörü ile ölçüm yapılmadan önce çalışma frekansının belirlenmesi ve kalibrasyon yapılması gerekmektedir. Kalibrasyon tek portlu olarak yapılabileceği gibi iki portlu da yapılabilir. S parameter ölçümlerinde iki portlu tam kalibrasyon yapılması önerilir (Özüm, 2016).

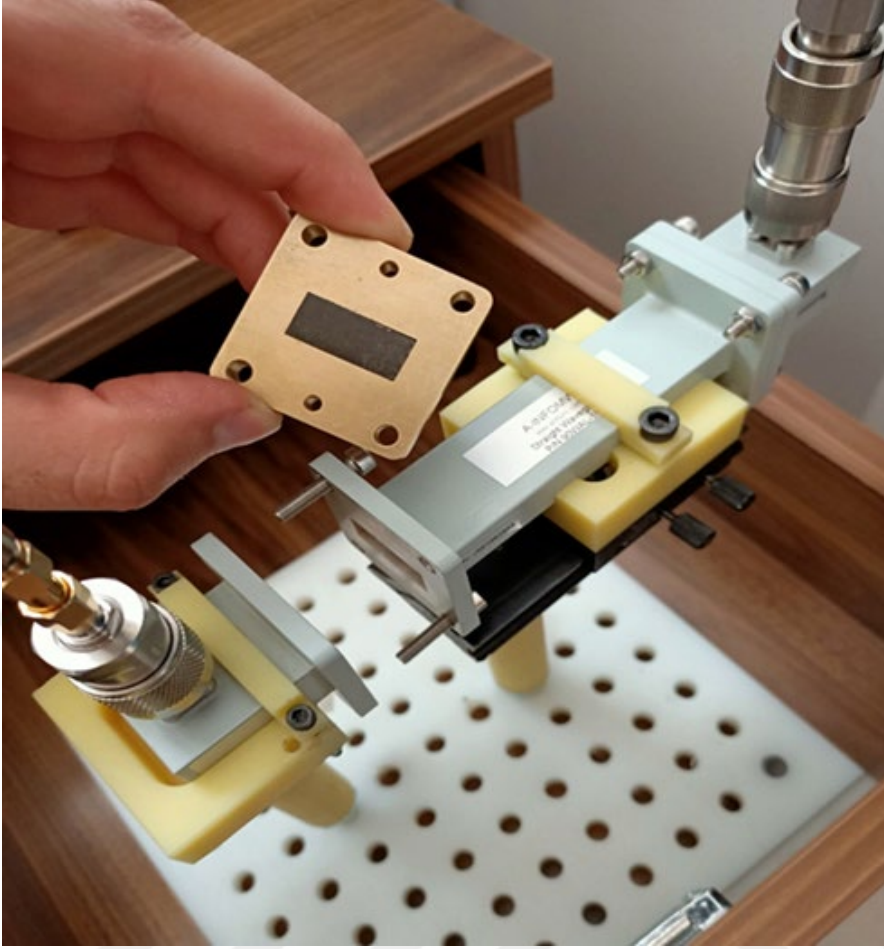
Ölçümlerde kullanılan Keysight PNA N5224A ağ analizörü 10Mhz ile 43.5GHz arasında ölçüm yapabilmektedir. Şekil 4.4'de ağ analizörü, test seti, RF kablo ve konnektörler görülmektedir.



Şekil 4.4 : Keysight PNA N5224A Ağ analizörü ve ölçüm düzeneği.

Ağ analizöründe radar çalışma frekansı olan X band 8.2-12.4GHz değerleri için ayar yapılmış ve kalibre edilmiştir. Kalibrasyonda Keysight firmasının orjinal kalibrasyon seti kullanılmıştır. Kalibrasyon türü olarak iki portlu TRL (Thru-Reflect-Line) kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyonun doğruluğundan ve ölçüm sonuçlarından emin olmak için Teflon (politetrafloroetilen) malzemenin ölçümü yapılarak dielektrik özelliklerinin literatürdeki sonuçlarla aynı olduğu görülmüştür.

WR90 dalga kılavuzu ile (TR) iletim/yansıma tekniği geniş band ölçümler için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu teknikte ölçüm düzeneği içerisindeki malzemeye doğru her bir porttan gönderilen 8-12GHz sinyalin bir kısmı geri yansıyacak, bir kısmı iletilecektir (Elmajid ve diğerleri, 2015). Ölçümde kullanılan test seti Şekil 4.5'de görülmektedir.



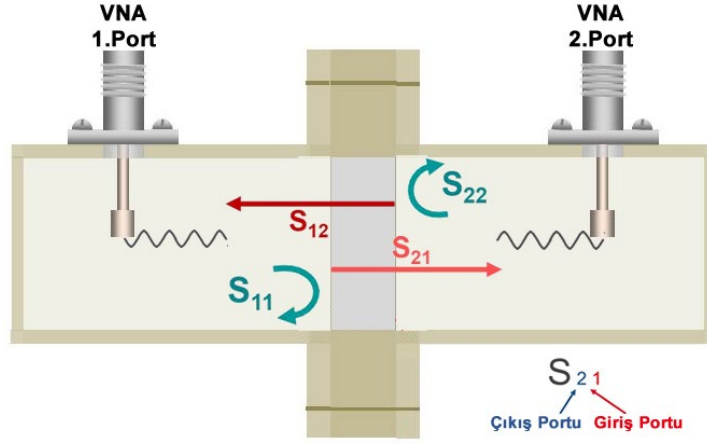
Şekil 4.5 : WR90 Dikdörtgen Dalga Kılavuzu Ölçüm Düzeneği.

4.3 Saçılma Parametreleri ve Nicholson Ross Weir Algoritması

Saçılma parametreleri, dış etkilerden yalıtılmış bir ölçüm ortamında numuneye gönderilen dalganın numuneden yansıyan ve numuneye nüfuz ederek iletilen elektromanyetik dalgaların gönderilen dalgaya oranındaki genlik ve faz değişim değerleridir (Kaşgöz, 2017).

S-parametreleri de denilen bu değerler port numarasına göre S_{11} , S_{21} , S_{12} ve S_{22} olacak şekilde ifade edilmektedir. İki bağlantı noktasına sahip bir aygıt için S-Parametrelerinin numaralandırılma kuralı S harfinden sonraki ilk numaranın sinyalin ortaya çıktığı port, ikinci numaranın ise sinyalin uygulandığı port olmasıdır. Örneğin S_{21} için 1.porttan gönderilen sinyalin 2. Porta iletilen değerine oranı olarak düşünebiliriz. Sayılar farklı olduğunda (örneğin S_{21} veya S_{12}) bir iletim ölçümü, sayılar aynı olduğunda ise (örneğin, S_{11} veya S_{22}), bir yansıma ölçümünü belirtir.

İletim ve yansımaya durumlarına göre S parametrelerinin dalga kılavuzu üzerindeki gösterimini Şekil 4.6 ile ifade edebilmiştir.



Şekil 4.6 : Dalga kılavuzu üzerinde saçılma parametreleri.

Saçılma parametrelerini kullanarak malzemenin elektriksel geçirgenliği (ϵ) ve manyetik geçirgenliği (μ) hesaplanabilir. Bu hesaplamalar için literatürde kullanılan birkaç yöntem mevcuttur. Bunlardan bazıları Short Circuit Line (SCL), New non-iterative, NIST Iterative ve Nicholson Ross Weir (NRW) yöntemleridir. Daha çok çeyrek dalga boyundaki malzemelerde, kısa hatlarda kullanılan yöntem Nicholson Ross Weir Algoritmasıdır (Yaw, 2012). Çalışmamızda NRW yöntemi kullanılmıştır.

NRW, S-parametreleri ile malzemeye ait elektriksel özelliklerin çıkarılmasında en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntemin avantajı hızlı olması ve yineleme gerektirmemesidir. Dalga kılavuzları ve koaksiyel hatlara rahatlıkla uygulanabilir. Dezavantajı ise yarım dalga boyu ve katlarına karşılık gelen düşük kayıplı malzemelerde, üretilen sonuçların belirsizliğinin artmasıdır. (Yaw, 2012)

Bu yöntem ile S-parametreleri kullanılarak öncelikle iletim katsayısı ve yansımaya katsayısı hesaplanır, daha sonra bu katsayılar kullanılarak malzemeye ait karmaşık elektriksel geçirgenlik ve manyetik geçirgenlik değerleri hesaplanır. (Durmuş ve diğerleri, 2018)

NRW yönteminde yansıma (Γ) ve iletim (T) katsayı hesabı aşağıdaki formüllere göre gerçekleştirilmektedir. Bu hesaplamalarda ara değişkenler kullanılmış olup daha sonra temel sonuçlara ulaşılmıştır.

X ara bir değişken olmak üzere, S_{11} ve S_{21} değerleriyle bağlantılı olarak şu şekilde hesaplarız.

$$X = \frac{(S_{11}^2 - S_{21}^2) + 1}{2S_{11}} \quad (4.1)$$

X değişkeni hesaplandıktan sonra Γ yansıma katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} \quad (4.2)$$

$|\Gamma| \leq 1$ şartına göre denklemin değerini pozitif veya negatif olarak seçeriz.

İletim Katsayısını (T) denklem 4.3'de belirtilen S parametrelerine ve yansıma katsayısı sonucuna göre hesaplarız.

$$T = \frac{(S_{11} + S_{21}) - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21})\Gamma} \quad (4.3)$$

Elektrik (ϵ) ve manyetik (μ) geçirgenlik sabitleri için, malzeme kalınlığına (L) bağlı olarak A ara değeri denklem 4.4'deki gibi hesaplanır.

$$\frac{1}{A^2} = - \left[\frac{1}{2\pi L} \ln \left(\frac{1}{T} \right) \right]^2 \quad (4.4)$$

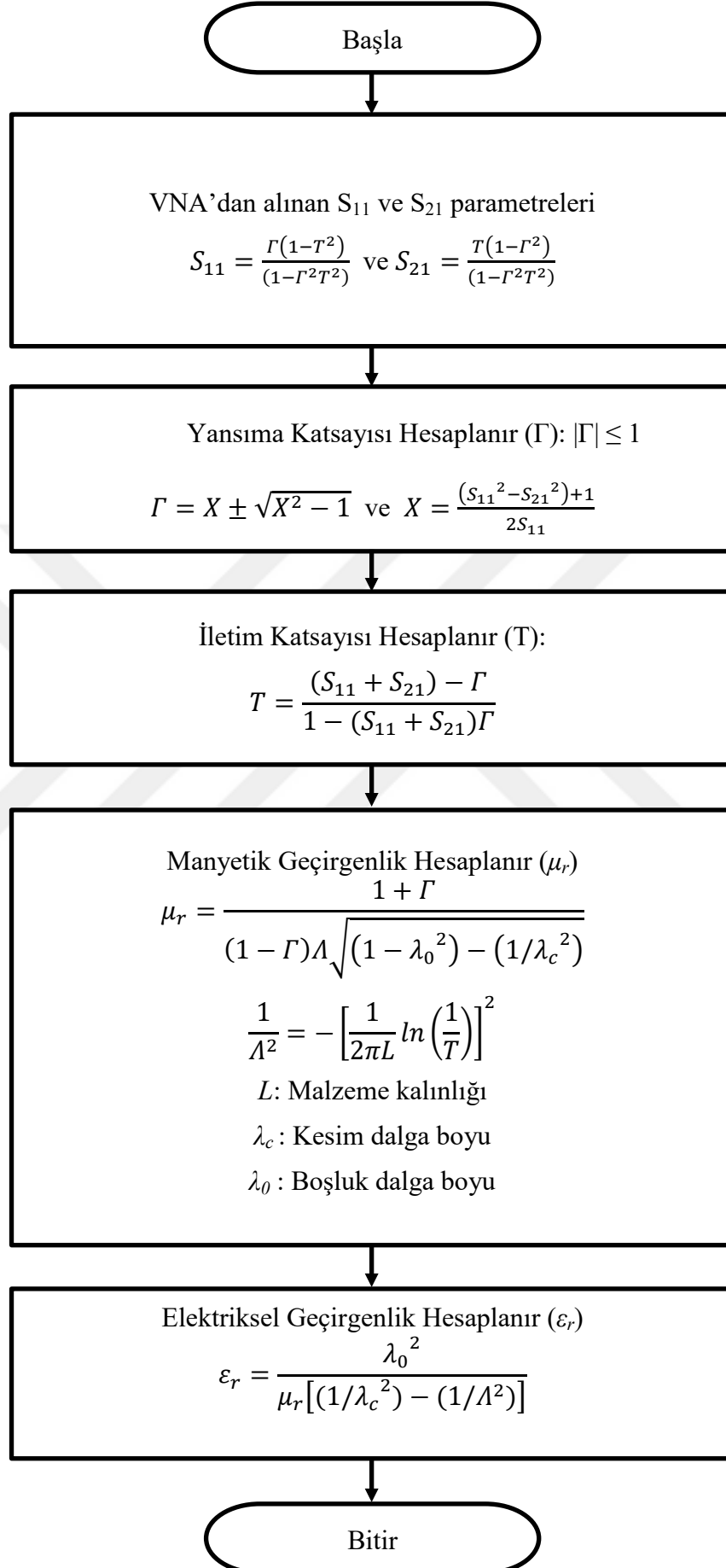
Denklem 4.4'de $L = \lambda_g / 4$, malzeme kalınlığı olmakla beraber, optimum çeyrek dalga boyunda kullanılmaktadır. WR90 dalga kılavuzu için $L = 9,7\text{mm}$ 'dir.

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma}{(1 - \Gamma)A \sqrt{(1 - \lambda_0^2) - (1/\lambda_c^2)}} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'de λ_0 serbest uzay çalışma frekansı olup, $\lambda_0 = c/f$ şeklinde tanımlanır, $\lambda_c = 6,557\text{GHz}$, WR90 x-band kesim dalga boyu frekansıdır. Son olarak denklem 4.6'yı kullanarak ϵ_r değerini, denklem 4.5'den μ_r değerini tespit ederiz.

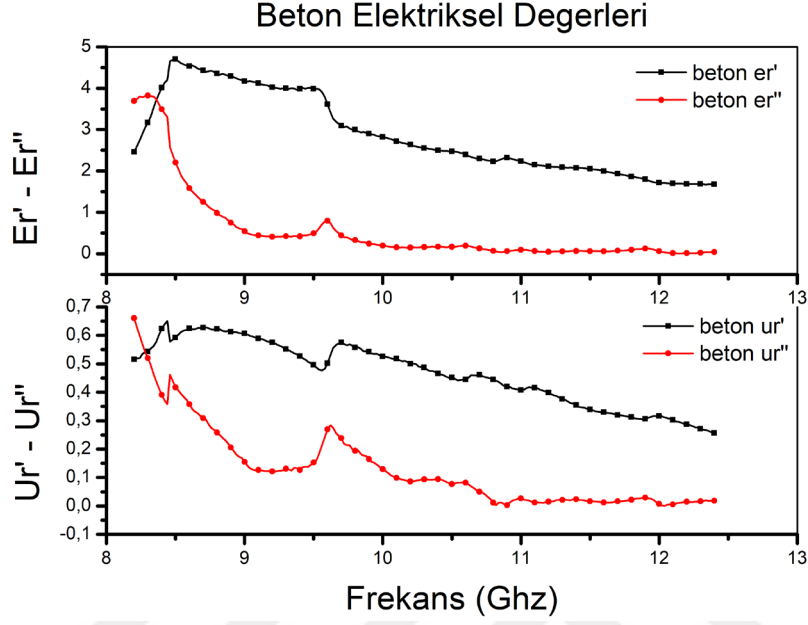
$$\epsilon_r = \frac{\lambda_0^2}{\mu_r [(1/\lambda_c^2) - (1/A^2)]} \quad (4.6)$$

Bu formüller ışığında matlab programında kodlamalar yapılmış olup, veri havuzunu oluşturacak 26 malzeme için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.7'de NRW yöntemine ait algoritma verilmiştir.



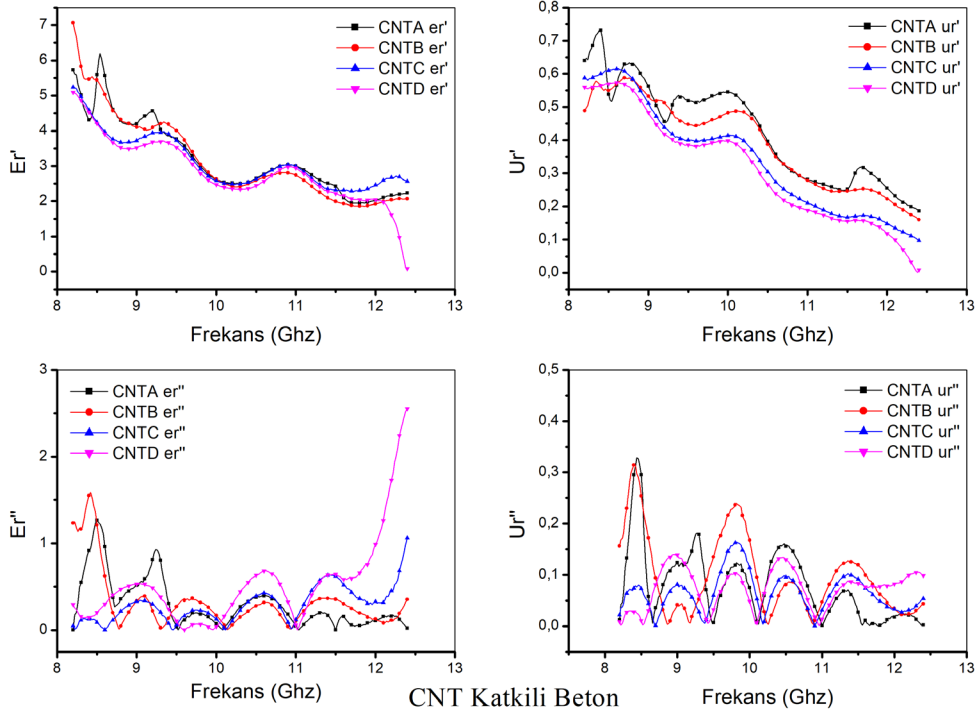
Şekil 4.7 : Nicholson-Ross Weir akış diyagramı.

Üretilen malzemelerin İletim/Yansınma ölçümleri Üniversitemiz Mikrodalga Anten ve Materyal Ölçüm Laboratuvarında yapılmış olup, ϵ ve μ değerleri elde edilmiştir. Katkısız betonun (%40 çimento, %60 kum) elektriksel özellikleri şekil 4.8’de verilmiştir.



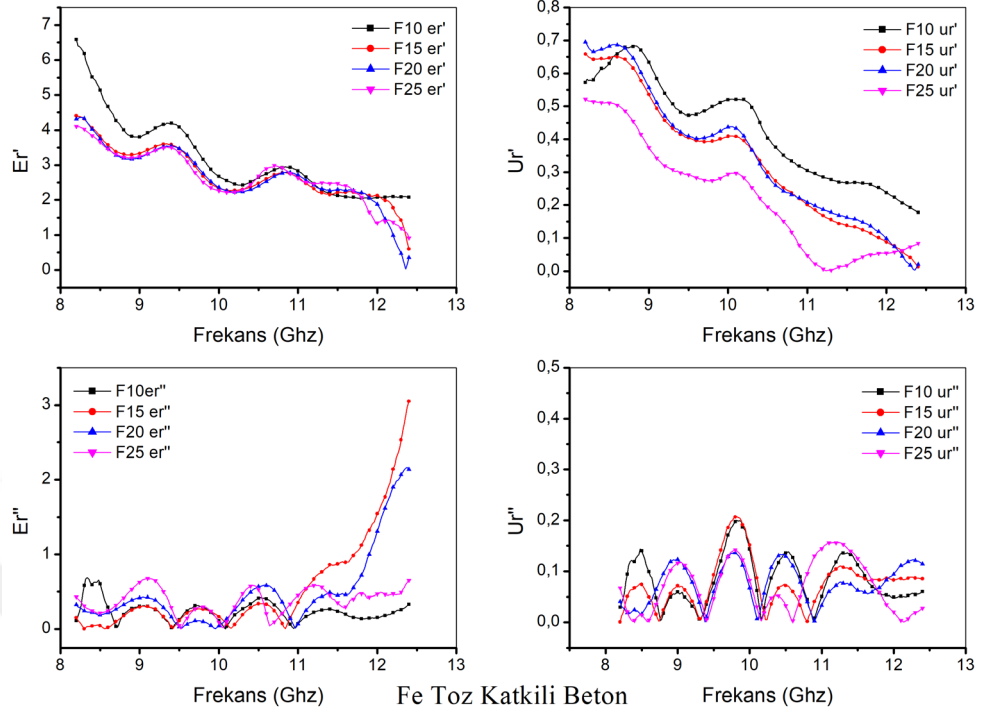
Şekil 4.8 : Katkısız betonun elektriksel özelliği.

CNT katkıli beton malzemesinin elektriksel değerleri Şekil 4.9’daki gibidir.



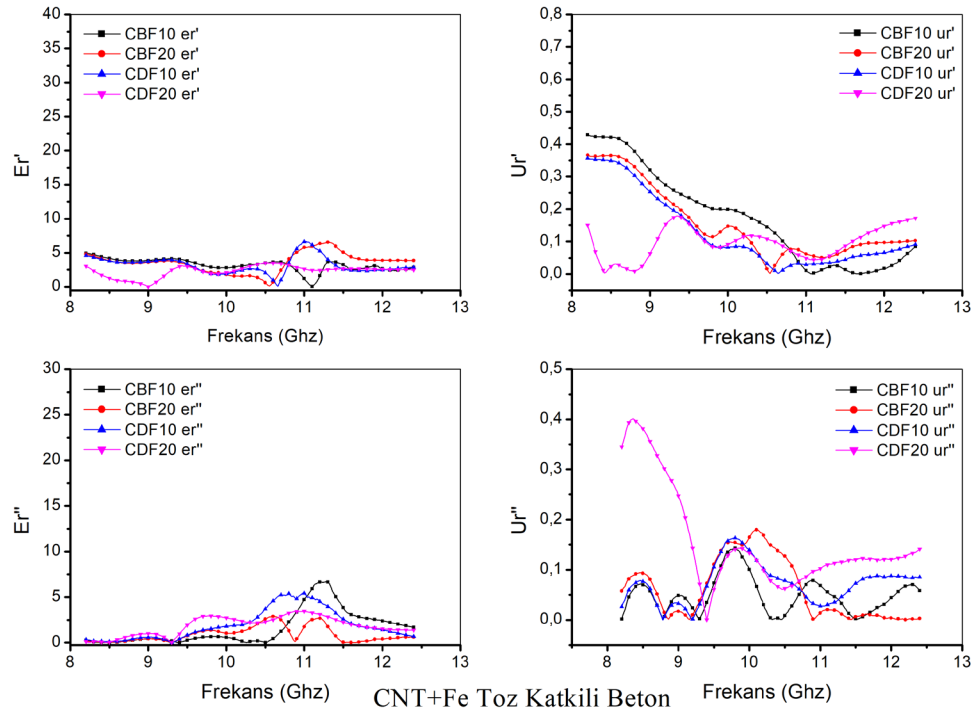
Şekil 4.9 : Karbon Nano Tüp (CNT) katkıli beton elektriksel özelliği.

Demir tozu (Fe) katkılı beton malzemesinin elektriksel değerleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



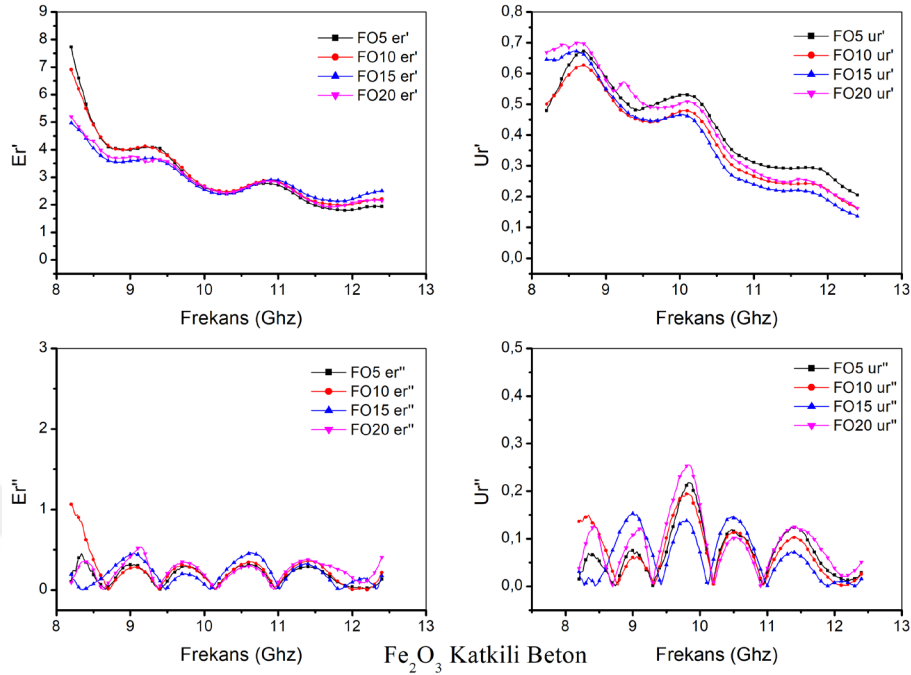
Şekil 4.10 : Demir tozu katkılı malzemenin elektriksel özelliği.

CNT+Fe tozu karışımı olarak oluşturulan malzemenin elektriksel özelliği şekil 4.11'de verilmiştir.



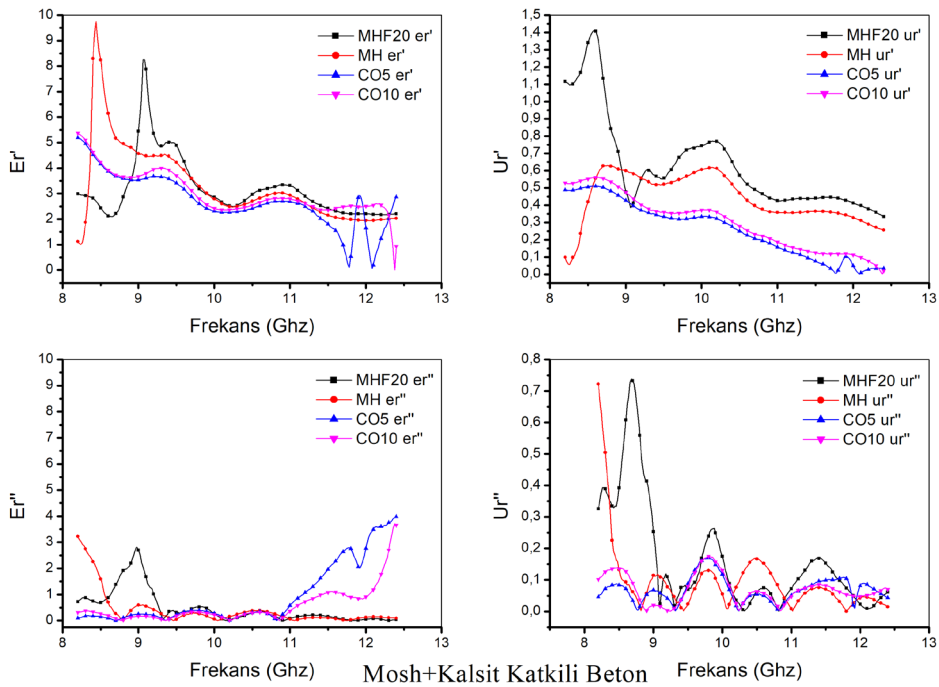
Şekil 4.11 : CNT+Fe tozu katkılı malzemenin elektriksel özelliği.

Kırmızı demir oksit (Fe_2O_3) katkılı malzemenin elektriksel özelliği şekil 4.12’de verilmiştir.



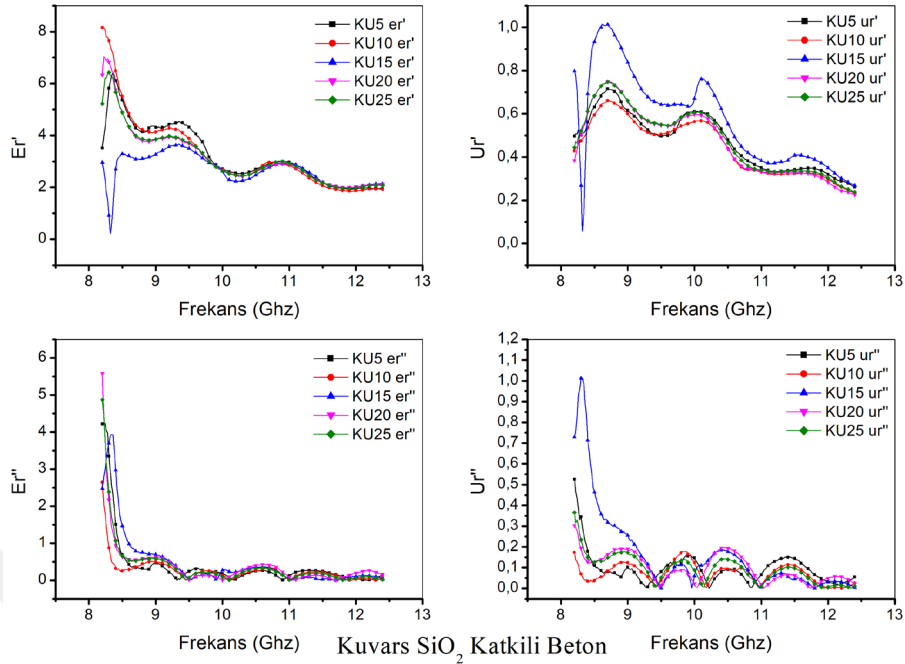
Şekil 4.12 : Kırmızı demir oksit (Fe_2O_3) katkılı malzemenin elektriksel özelliği.

Mohs sıvı seramik (SiO_2) katkılı ve Kalsit ($CaCO_3$) katkılı malzemenin elektriksel özelliği şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13 : Mohs (SiO_2) ve Kalsit ($CaCO_3$) katkılı malzemenin elektriksel özelliği.

Kuvars tozu (SiO_2) katkılı malzemenin elektriksel özelliği şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14 : Kuvars tozu (SiO_2) katkılı malzemenin elektriksel özelliği.

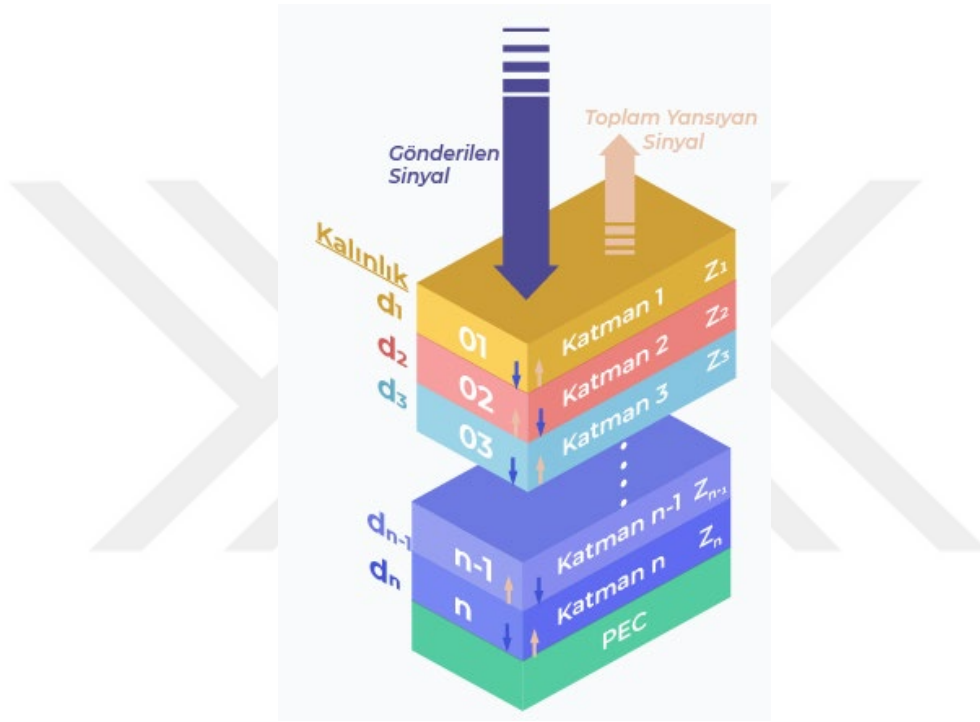
Grafiklerden de görüleceği üzere katkılanmış malzemelerin elektriksel ve manyetik geçirgenlik değerleri saf betonun değerlerine göre belli miktarlarda yükselmiştir.

Bu aşamada elde edilen sonuçlara göre veri havuzundaki malzemeler tek başına elektromanyetik dalgayı yeteri miktarda soğuracak yeteneğe sahip değildir. Eğer tek çeşit katkılama ile bir radar emici hazırlamak istenseydi yüksek oranda katkılama yapılması gerekebilirdi. Yüksek oranda katkılamanın ise birkaç dezavantajı mevcuttur. Bunlardan birisi CNT gibi pahalı malzemeler için maliyetin yüksek olması. Bir diğeri metal malzemelerin yüksek oranda katkılanmasıyla ağırlığın artması ve korozyonun yaratacağı sıkıntılardır. Son olarak çimento matrisli yapıdan uzaklaşılması ve kompozit dayanıklılığının azalması yüksek oranlı katkılamanın dezavantajlarını ortaya koymaktadır.

Tüm bu kıstaslar dikkate alındığında radar soğurucu malzemeyi çok katmanlı tasarlamak avantajlı olacaktır. Çok katmanlı tasarımda malzeme çeşitliliği sağlandığından farklı varyasyonlarda radar soğurucu malzemeler tasarlanabilir.

4.4 Çok Katmanlı Radar Soğurucu Malzeme Tasarımı Matematiksel Modeli

Çok katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yapı şekil 4.15’te gösterildiği gibi üst üste bindirilmiş malzemelerden oluşmaktadır. Çok katmanlı mikrodalga kalkanlayıcının amacı, dalganın (PEC) iletken katmana kadar çoklu iç yansıma ve iletim ortamına maruz kalması ve böylelikle enerjinin emilmesi, ilk katmanla birlikte hava empedansına uygun malzeme toplam empedansının sağlanması ve böylelikle yüksek yansıma kaybı elde edilmesidir.



Şekil 4.15 : Çok katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yapı.

Katmanlı tasarımın en önemli avantajlarından biri de malzemelerin farklı kalınlıklarda (d_i) olabilmesidir. Farklı katman sayılarında tasarımlar söz konusu olabilir. Katmanlarda kullanılan malzeme sıraları değişebilir. Her katmanın kendisine ait manyetik geçirgenlik (μ_i) ve elektriksel geçirgenlik (ϵ_i) değerleri söz konusudur. Son katman üzerine gelen dalgayı tamamen yansıtması için mükemmel iletken (PEC) seçilir. Elektromanyetik dalganın hava ortamından Katman1 üzerine dik olarak geldiği varsayılır.

Matematiksel olarak her katmanın içsel empedans değerini hesaplamak için denklem 4.7’yi kullanabiliriz.

$$Z_i = \sqrt{\frac{\mu_i}{\varepsilon_i}} \quad (4.7)$$

Denklem 4.7 kullanılarak sadece bir katmanın karakteristik empedansı hesaplanabilir, fakat çok katmanlı yapılarda yansımaya katsayısının hesaplanabilmesi için öncelikle matematiksel model oluşturulmalıdır. Burada dikkat edilecek husus her katman arasında yansımaya katsayısının hesaplanıyor olması ve bu hesaplamaların da bir sonraki katmandan gelen yansımaya katsayısı değerine bağlı olmasıdır. Son katman olan PEC malzemesi tamamen iletken olduğu için kısa devre görevi görecektir, PEC'in empedansı sıfır kabul edilir. İç içe tekrar eden formül yapısı denklem 4.8 ile gösterilmiştir.

$$(Z_{in})_T = Z_0 \frac{(Z_{in})_1 + Z_0 \tanh(\gamma_1 d_1)}{Z_0 + (Z_{in})_1 \tanh(\gamma_1 d_1)} \quad (4.8)$$

$$(Z_{in})_1 = Z_1 \frac{(Z_{in})_2 + Z_1 \tanh(\gamma_2 d_2)}{Z_1 + (Z_{in})_2 \tanh(\gamma_2 d_2)} \quad (4.9)$$

$$(Z_{in})_2 = Z_2 \frac{(Z_{in})_3 + Z_2 \tanh(\gamma_3 d_3)}{Z_2 + (Z_{in})_3 \tanh(\gamma_3 d_3)} \quad (4.10)$$

.....

$$(Z_{in})_{n-1} = Z_{n-1} \frac{(Z_{in})_n + Z_{n-1} \tanh(\gamma_{n-1} d_{n-1})}{Z_{n-1} + (Z_{in})_n \tanh(\gamma_{n-1} d_{n-1})} \quad (4.11)$$

$$(Z_{in})_n = Z_n \tanh(\gamma_n d_n) \quad (4.12)$$

Burada γ yayılma sabitidir ve denklem 4.13'te ifade edilmiştir.

$$\gamma_i = j\omega \sqrt{\mu_i \varepsilon_i} \quad (4.13)$$

Yayılma sabiti denkleminde (ω) açısal frekans, $\omega = 2\pi f$ olarak tanımlanır ve çalışılan frekansın (f) değerine göre hesaplanır. Denklem 4.8-4.12'de görüldüğü üzere her katman arayüzündeki giriş empedansı sonraki giriş empedansına bağlıdır. Son malzeme iletken materyal ile temasta olduğu için n . malzemenin empedansı bilinmektedir. $(Z_{in})_T$ materyalin toplam empedansını göstermektedir.

Bölüm 3'te belirtildiği üzere yansımaya katsayısının sıfıra yakın olması mikrodalga soğurucu özelliğın başarılı olduğunu ifade etmektedir. Genel olarak çok katmanlı tasarımın yansımaya katsayısı formülü denklem 4.14 ile gösterilir.

$$\Gamma = \frac{(Z_{in})_T - Z_0}{(Z_{in})_T + Z_0} \quad (4.14)$$

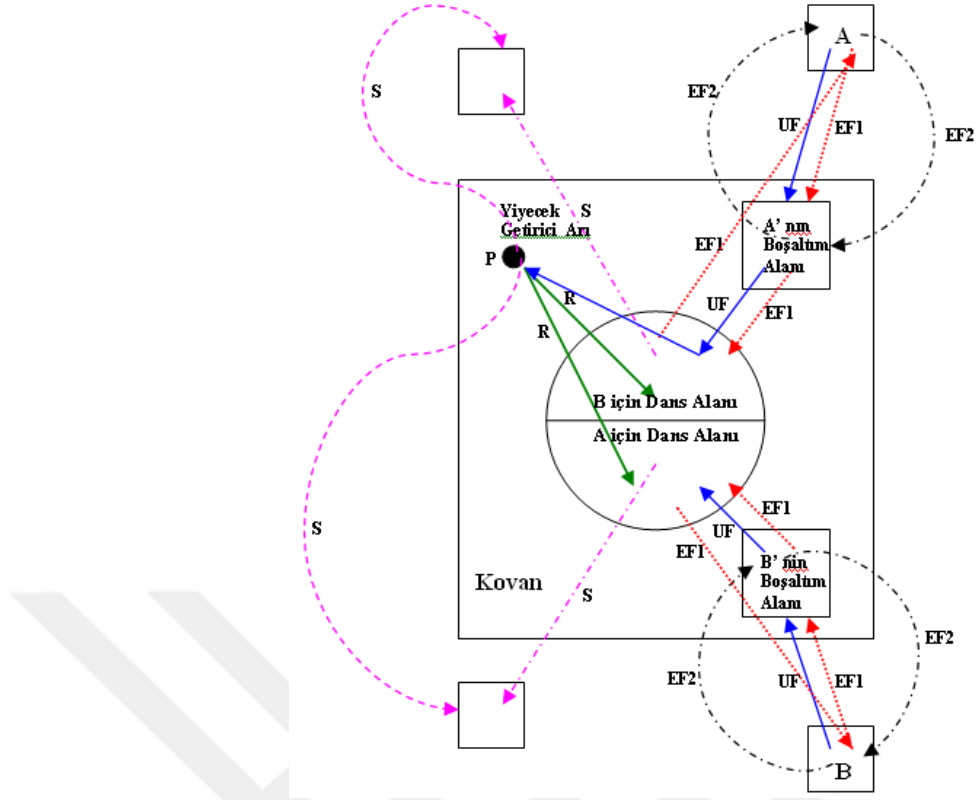
ÇKMK materyal için dalga Emilimi, ölçüm yapılan frekansa (çalışmamızda X band), katman sayısına ve katmanların kalınlıklarına (d) bağlı olarak değişmekte, toplam empedans hesaplaması iç içe geçmiş formüllerle karmaşık bir problem oluşturmaktadır. Malzemeye ait μ_i , ε_i ve d_i parametreleri kullanılarak en düşük yansıma katsayısına sahip materyali oluşturmak için gerekli matematiksel model, ters (inverse) problemidir. Bundan dolayı ÇKMK tasarımının matematiksel hesaplamalarında sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır.

4.5 Yapay Arı Koloni Algoritması

Bu çalışmada sürü zekasına dayalı sezgisel optimizasyon algoritmalarından Yapay Arı Koloni algoritması ile ÇKMK malzeme tasarımı yapılmıştır.

Yapay arı koloni (YAK) algoritması Karaboğa (2005) tarafından literatüre kazandırılmış bir optimizasyon algoritmasıdır. Bal arılarının yiyecek kaynağı arama davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiştir. Çok modlu ve çok değişkenli problemler için uygun çözümü tespit etmede oldukça başarılıdır.

YAK Algoritmasının çalışması şekil 4.16'da modellenmiştir. Üç farklı görevi temsilen işçi arılar ($EF1, EF2, UF$), gözcü arılar (R) ve kâşif arılar (S) söz konusudur. İşçi arılar hafızalarında var olan bir yiyecek kaynağını tüketirken, aynı zamanda kovan içerisindeki dans alanında yiyeceğin konumu ve değeri hakkında bilgi paylaşımında bulunurlar. İşçi arıların dans figürlerini izleyen gözcü arılar en değerli yiyecek kaynağı bilgisine göre tüketilecek kaynağı seçerler. Başlangıçta tanımlanan limit değerine kadar daha faydalı yiyecek kaynağı seçilemiyorsa kâşif arılar diğer arıların tecrübe ve bilgilerinden faydalanmaksızın yeni yiyecek kaynakları bulur ve tüketmeye başlarlar. Görevlerine işçi arı olarak devam ederler. Arı kolonisi işçi ve gözcü arılarla var olan yiyecek kaynaklarını tüketirken, kâşif arılarla da yeni kaynakların tespitini gerçekleştirmiş olur. Böylelikle koloni yeni durumlardan haberdar olur (Görkemli, 2015).



Şekil 4.16 : Yapay arı koloni algoritması yiyecek arama yapısı

YAK Algoritmasında bazı kabuller söz konusudur. Her kaynağın nektarını sadece bir arı taşır, işçi arıların sayısı toplam yiyecek kaynağı sayısına eşittir. Yiyecek kaynaklarının yerleri problemin olası çözümünü, kaynakların nektar miktarları ise çözümün kalitesini gösterir. Algoritma en fazla nektar miktarına sahip kaynağı tespit etmeye çalışarak probleme ait maksimum ya da minimum değeri tespit eder (Akay, 2009).

YAK Algoritmasının başlangıç aşamasında problemin boyutu ve popülasyon sayısı belirtilir. Popülasyon sayısına göre işçi ve gözcü arı sayısı belirlenir. Başlangıçta işçi arılar kâşif arıdır ve çözüm noktalarını içeren rasgele bir matrisi oluştururlar. Matrisin boyutunu optimizasyon probleminin boyutu ve popülasyon sayısı belirler. Nektar kaynakları işçi arılar tarafından tüketilmekte ve başlangıçtakilere komşu yeni nektar pozisyonları araştırılmaktadır. Mevcut çözümler etrafında yeni çözüm setleri belirlenir ve daha sonra bu aşamada her bir çözümün uygunluk değeri hesaplanır. Hesaplanan uygunluk değerlerine göre başlangıç çözümü ve aday çözüm arasında açgözlü seçim uygulanır. Değiştirilmeyen çözümler için deneme sayaç değeri bir artırılır.

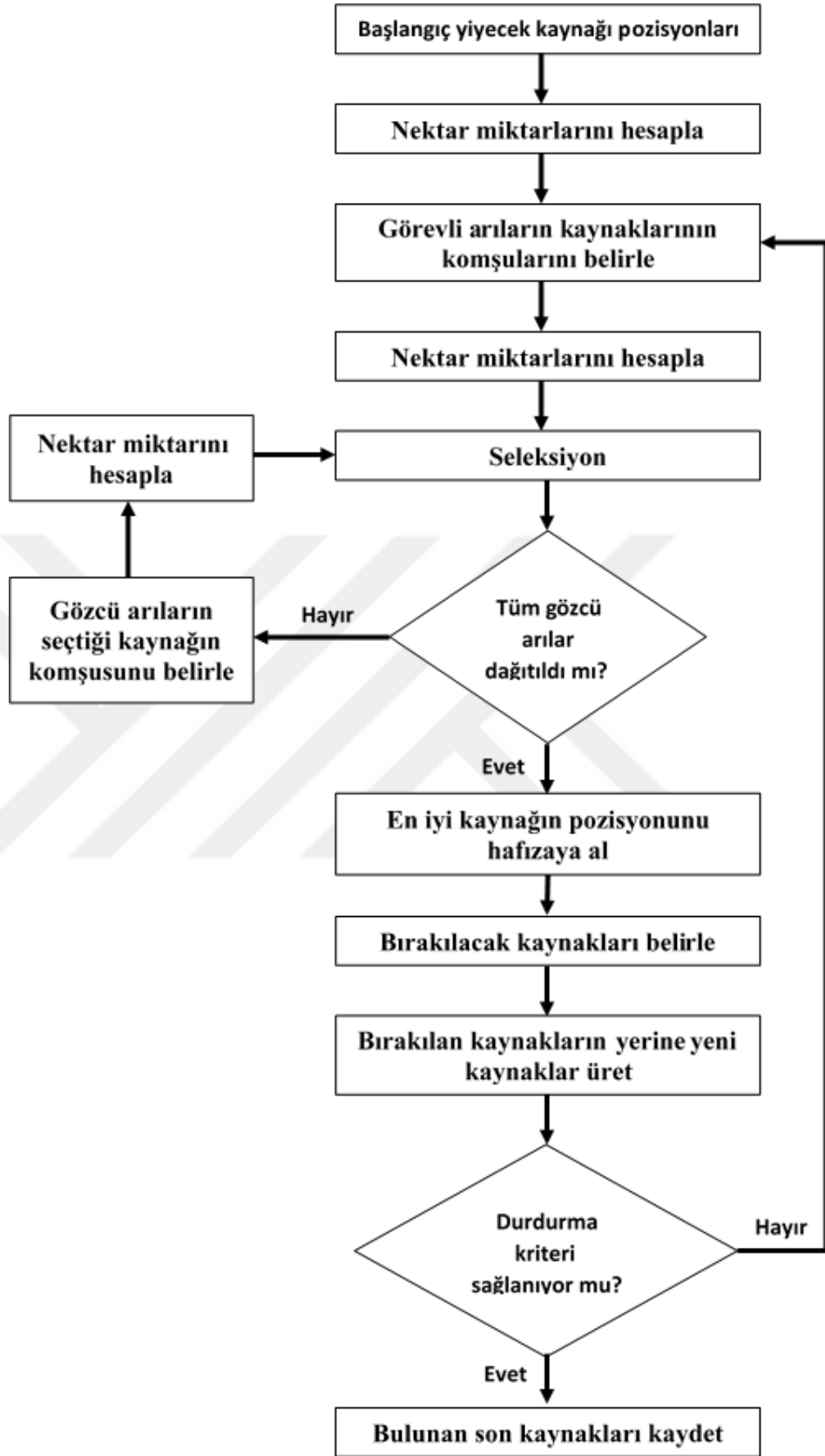
Algoritmanın gözcü arı aşamasına geçmeden önce uygunluk değerleri kullanılarak seçilme olasılık değerleri hesaplanır. Gözcü arı fazında bilgi paylaşımı dikkate alınarak aday çözümler üretilir ve çözümler değerlendirilir. Bir önceki çözümlerle arasında açgözlü seçim uygulanır. En iyi çözüm değerleri hafızaya kaydedilir (Toktas ve diğerleri, 2018).

Her çözüm için kullanılan deneme sayaç değeri belirtilen limit değerine ulaşırsa nektar tükenmiş varsayılır ve yeni bir çözüm için kâşif arı fazı uygulanır. Limit değeri popülasyon büyüklüğü ve problem boyutu (katman sayısı) ile ilişkilidir. Bu fazlar, maksimum döngü sayısı tamamlanıncaya kadar devam eder.

ÇKMK tasarımında katman sayısı, her katmanın minimum ve maksimum kalınlıkları giriş verisi olarak yapay arı kolonisi algoritmasına verilmiştir. Popülasyon büyüklüğü ve iterasyon sayısı verilen algoritma her bir iterasyon için katman sayısınca ve işçi arı sayısına göre oluşturduğu matrisi rasgele kalınlık değerleri ve rasgele katman sıraları ile doldurarak nektarı oluşturur. Benzer bir durum gözcü arılar için de geçerlidir fakat gözcü arıların nektar değerleri işçi arıların komşuluk değerleriyle ilişkilidir. Daha sonra seçim işlemleri uygulanarak en faydalı nektar değeri hafızada tutulur. Nektarın bırakılması ise limit değerine ulaşıldığının gösteresidir. Neticade elde edilecek veri, katmanlarda hangi malzemelerin kullanıldığı, bu malzemelerin kalınlıklarının kaç mm olduğu ve bunlarla birlikte toplam yansıma kaybı değeridir. Yansıma kaybının değeri uygunluk değeri olarak ifade edilirken, kalınlık ve katman sıraları nektarın özellikleridir.

Her katmanın kalınlığı minimum ve maksimum aralıkta değişeceğinden katmanların toplam kalınlığı hesaplamalar sonucunda elde edilir. Veri havuzunda malzemelerin ε ve μ değerleri her bir frekans için tanımlıdır. Çalışma frekansı, minimum ve maksimum frekansın ara değerleri veri havuzunda belirtilmiştir.

Bu çalışmada 8.2-12.4 GHz frekans aralığında 0.2GHz aralıklarla tespit edilmiş 211 frekans noktası, 26 farklı malzeme için bağıl elektriksel geçirgenlik (ε_r) ve bağıl manyetik geçirgenlik (μ_r) değerleri kullanılmıştır. Katman sayısı olarak 1'den 7'ye kadar çok katmanlı tasarımlar çalışılmıştır. Algoritmanın çevrim sayısı, malzeme kalınlıklarının minimum ve maksimum değerleri ve popülasyon sayısı değiştirilerek minimum yansıtıcılığa sahip tasarım elde edilmeye çalışılmıştır. YAK algoritma yapısı şekil 4.17'de verilmiştir.



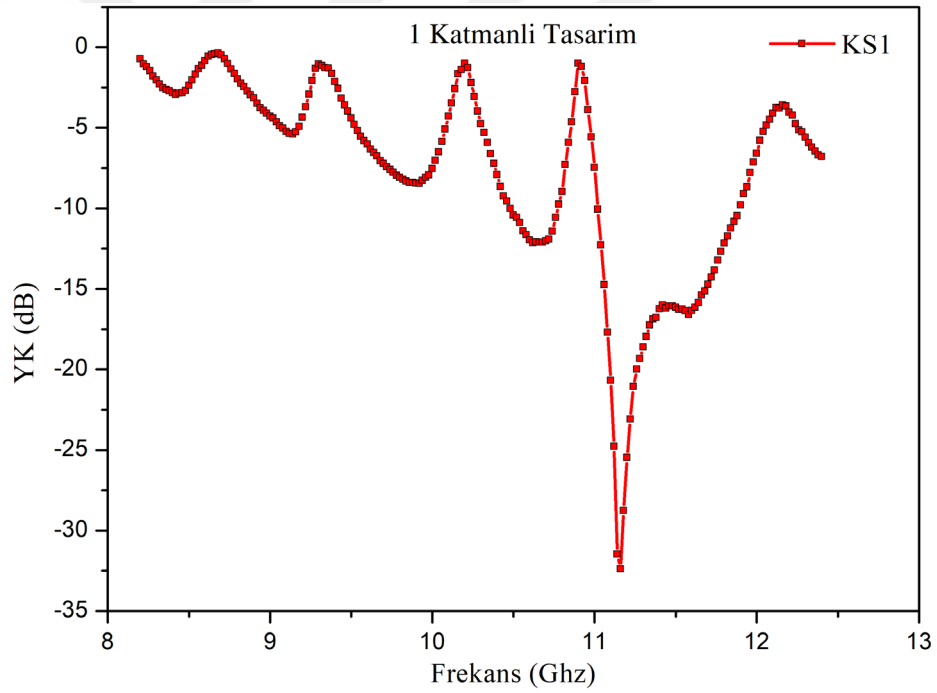
Şekil 4.17 : Yapay arı kolonisi algoritması akış şeması.



5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Tek Katmanlı Tasarım

Yapay arı koloni algoritması ile oluşturulan tek katmanlı tasarım neticesinde beton temelli 26 malzeme arasından en verimli MHF20 malzeme seçilmiştir. Malzeme tasarımında optimizasyon algoritması 5000 iterasyon boyunca çalıştırılmış kalınlık miktarı 0.5mm ile 10mm arasında tutulmuştur. Farklı kalınlık aralıklarında daha verimli sonuçlar tespit edilemediğinden bu aralık baz alınmıştır. Şekil 5.1’de tek katmanlı tasarıma ait yansıma kaybı grafiği sunulmuştur.



Şekil 5.1 : Tek katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.

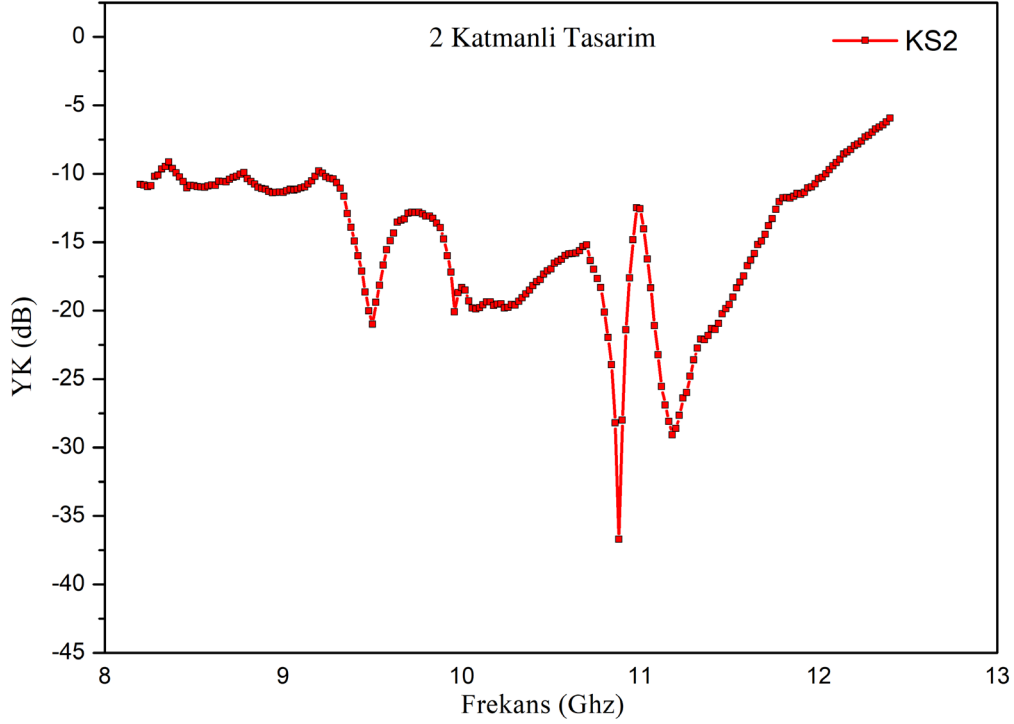
Tek katmanlı tasarımda kalınlık 5,55mm olarak hesaplanmıştır. Ortalama, maksimum ve minimum yansıma kaybı, standart sapma çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Tek katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı verisi.

Katman Sayısı	T. Kalınlık	Maks. YK	Min. YK	Ortalama YK	Std. Sp. YK
1	5,55	-32,37	-0,38	-7,60	6,09

5.2 İki Katmanlı Tasarım

Katmanlı tasarım özelliklerini yansıtacak ilk örnek şekil 5.2’de verilmiş olan iki katmanlı tasarımdır. Bu tasarımda iterasyon sayısı 1500 olarak belirlenmiş, katman kalınlıkları 0,5mm ile 20mm arasında sınırlandırılmıştır. İki katmanlı tasarımda optimizasyon algoritması tarafından KU15 ve CDF10 malzemeleri seçilmiştir. İki katmanlı tasarıma ait yansıma kaybı grafiği şekil 5.2’de sunulmuştur.



Şekil 5.2 : İki katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.

İki katmanlı tasarım, tek katmanlı tasarıma oranla oldukça başarılı bir başlangıç kayıp noktası sergilemekte ve daha istikrarlı bir kayıp sunmaktadır. İki katmanlı tasarımın toplam kalınlık değeri 19,77mm olarak tespit edilmiş olup tek katmanlı tasarıma göre nispeten daha kalın olsada, kabul edilebilir bir değer olarak görünmektedir. Ortalama, maksimum ve minimum yansıma kayıp değerleri ve standart sapma değeri çizelge 5.2’de verilmiştir.

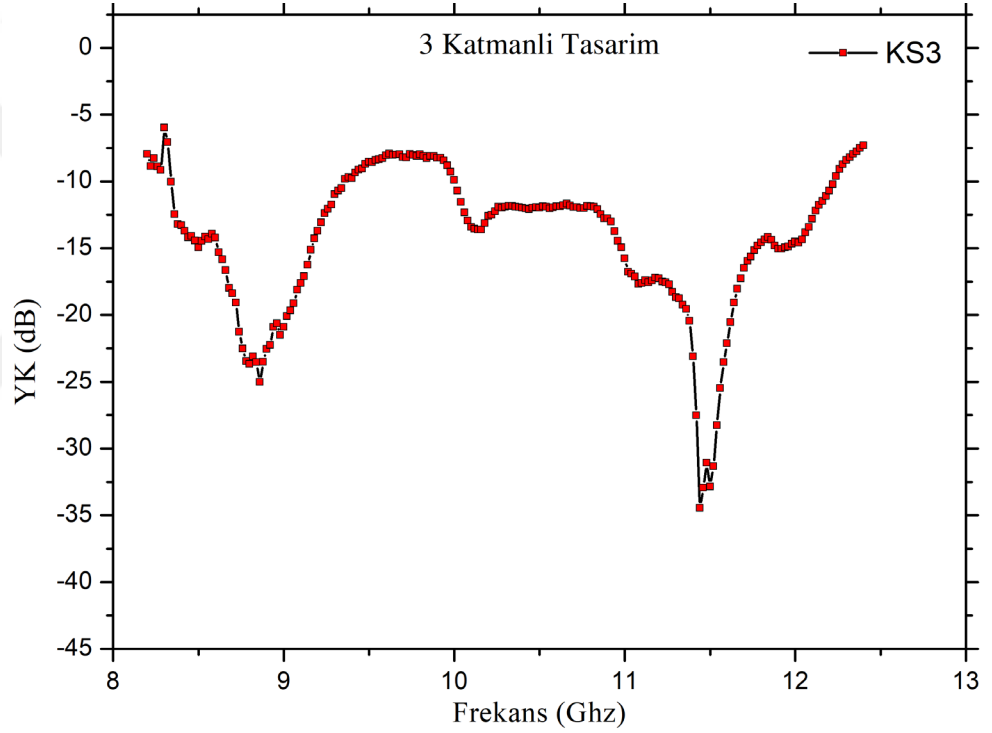
Çizelge 5.2 : İki katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayı verisi.

Katman Sayısı	T. Kalınlık	Maks. YK	Min. YK	Ortalama YK	Std. Sp. YK
2	19,77	-36,71	-5,95	-14,88	5,31

İki katmanlı tasarım tek katmanlı tasarıma göre çok daha yüksek ortalama emilim sağlamaktadır. Bununla birlikte standart sapma değerinin düşmüş olması sonuçların ortalama değer etrafında yoğunlaştığının bir göstergesidir.

5.3 Üç Katmanlı Tasarım

Üç katmanlı tasarım, iki katmanlı tasarımla benzer sonuçlar ortaya koymuştur. Bu tasarımda iterasyon sayısı 5000 olarak belirlenmiş, katman kalınlıkları 0,5mm ile 10mm arasında sınırlandırılmıştır. Üç katmanlı tasarımda optimizasyon algoritması tarafından KU15, CDF10 ve CNTD malzemeleri seçilmiştir. Üç katmanlı tasarıma ait yansımaya kaybı grafiği şekil 5.3'te sunulmuştur.



Şekil 5.3 : Üç katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansımaya katsayısı.

Üç katmanlı tasarımda toplam kalınlık 26.73mm olarak tespit edilmiştir. Ortalama, maksimum ve minimum yansımaya kayıp değerleri ve standart sapma değeri çizelge 5.3'te verilmiştir.

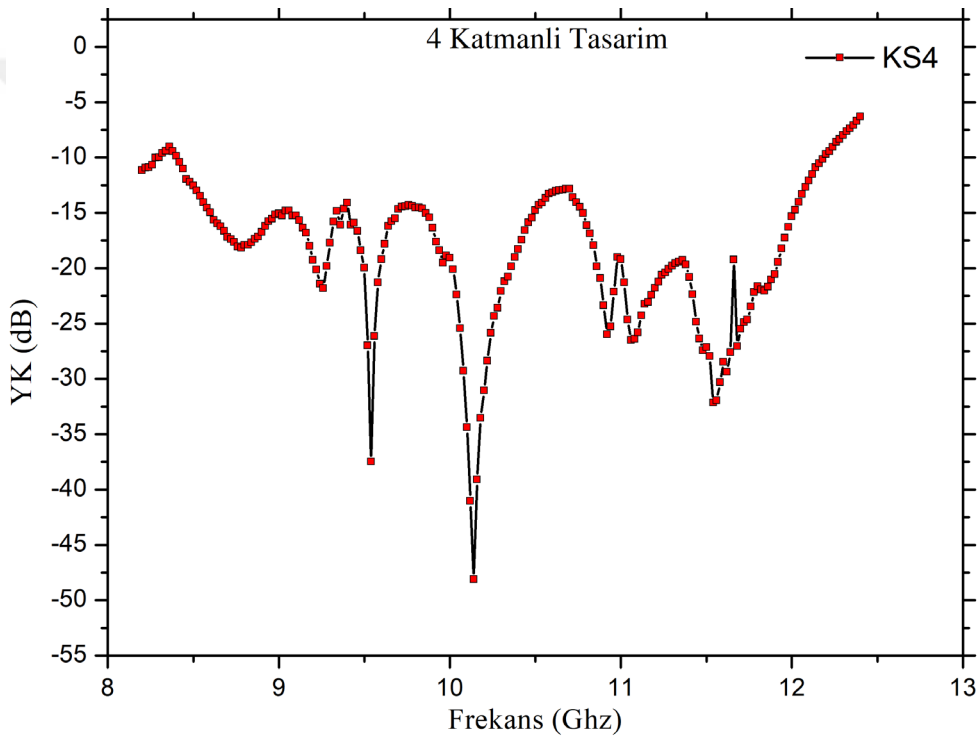
Çizelge 5.3 : Üç katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansımaya katsayısı verisi.

Katman Sayısı	T. Kalınlık	Maks. YK	Min. YK	Ortalama YK	Std. Sp. YK
3	26,73	-34,44	-5,97	-14,21	5,32

5.4 Dört Katmanlı Tasarım

Dört katmanlı tasarıma ait yansıma kaybı grafiği şekil 5.4’de gösterilmiştir. Bu tasarımda toplam kalınlık 31.12mm dir. Hesaplama da kullanılan döngü sayısı 5000 olarak belirlenmiştir. Her katmana ait kalınlık değeri 0,5mm ile 10mm arasında sınırlandırılmıştır. Dört katmanlı tasarım için seçilen malzemeler sırasıyla KU15, CDF10, CBF20 ve KU5 şeklindedir.

İki ve üç katmanlı tasarıma göre yansıma kaybı değerlerinin birçok noktada zirve yaptığı açıkça görülmektedir. Ayrıca dört katmanlı tasarımda ortalama değer iki ve üç katmanlı tasarımdan belirgin bir farkla yüksektir.



Şekil 5.4 : Dört katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.

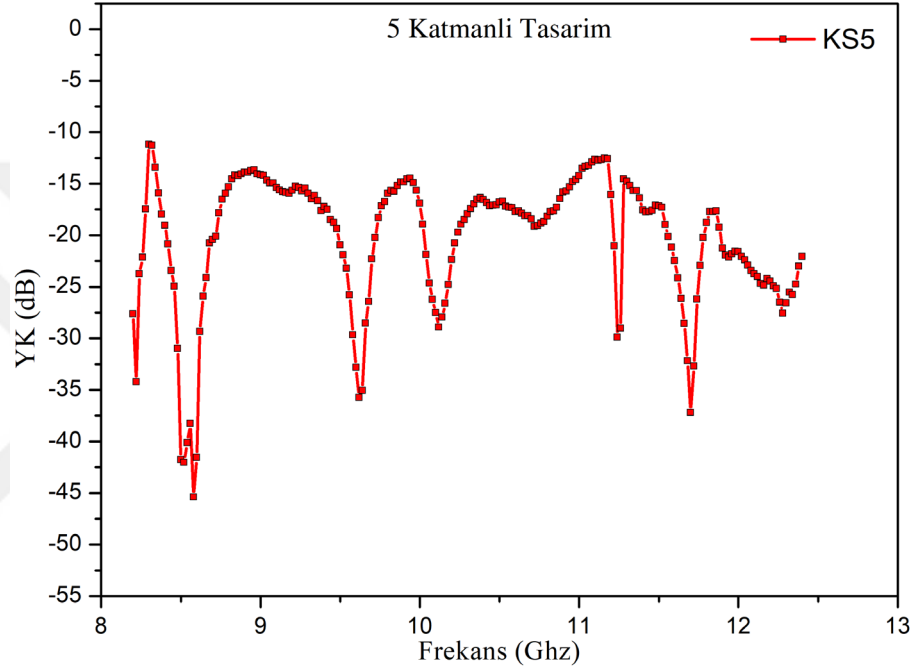
Çalışmamızda en verimli tasarımlardan birisi olarak ortaya çıkan dört katmanlı yapı, neredeyse tüm frekans aralığında -10dB değerinin altında bir yansıma kaybı sunmaktadır. Ortalama, maksimum ve minimum yansıma kaybı değerleri ve standart sapma değeri çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Dört katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı verisi.

Katman Sayısı	T. Kalınlık	Maks. YK	Min. YK	Ortalama YK	Std. Sp. YK
4	31,12	-48,10	-6,30	-18,26	6,48

5.5 Beş Katmanlı Tasarım

Ortalama yansıma kayıp değerinin en düşük olduğu tasarım şekil 5.5'te gösterilen beş katmanlı tasarımdır. Tasarımın toplam kalınlığı 30.05mm'dir. Bu kalınlık literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde kabul edilebilir bir ortalama değerdir. Her bir katman için kalınlık 0.5mm ile 10mm arasında sınırlandırılmıştır. Algoritma 5000 iterasyon boyunca çalıştırılmış sonuç olarak sırasıyla KU15, MH, CBF10, F25 ve MHF20 malzemeleri seçilmiştir.



Şekil 5.5 : Beş katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.

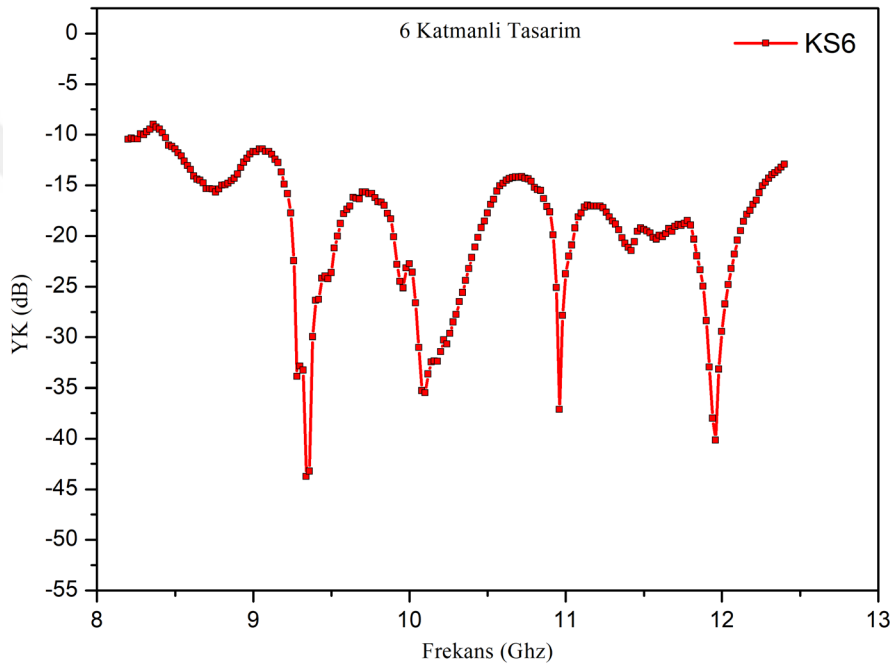
En verimli olarak niteleyebileceğimiz beş katmanlı tasarım minimum yansıma kaybının ve ortalama yansıma kaybının en düşük olduğu tasarımdır. Beş katmanlı tasarım malzeme çeşitliliği bakımından seramik, demir ve karbon içeriklerinin tamamını ihtiva etmektedir. Bu açıdan çimento temelli kompozit malzeme tasarımı için seçilen katkı malzemelerinin doğru tercih olduğu söylenebilir. Ortalama, maksimum ve minimum yansıma kayıp değerleri ve standart sapma değeri çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Beş katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı verisi.

Katman Sayısı	T. Kalınlık	Maks. YK	Min. YK	Ortalama YK	Std. Sp. YK
5	30,05	-45,39	-11,19	-20,17	6,28

5.6 Altı Katmanlı Tasarım

Altı katmanlı tasarım, beş katmanlı tasarımla benzer sonuçlar ortaya koymuştur. Toplam kalınlığı literatürdeki gibi yaklaşık 30mm civarında tutmak için herbir katman kalınlığı 0.1mm ile 8mm arasında sınırlandırılmıştır. Tasarımın toplam kalınlığı 29.94mm'dir. Algoritma 5000 iterasyon boyunca çalıştırılmıştır. Katmanlar sırasıyla KU15, MH, CDF10, CBF20, FO10 ve KU15 malzemelerinden seçilmiştir. KU15 malzemesi ilk ve son katmanda kullanılmıştır. Şekil 5.6'da altı katmanlı tasarıma ait yansıma kayıp grafiği verilmiştir.



Şekil 5.6 : Altı katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.

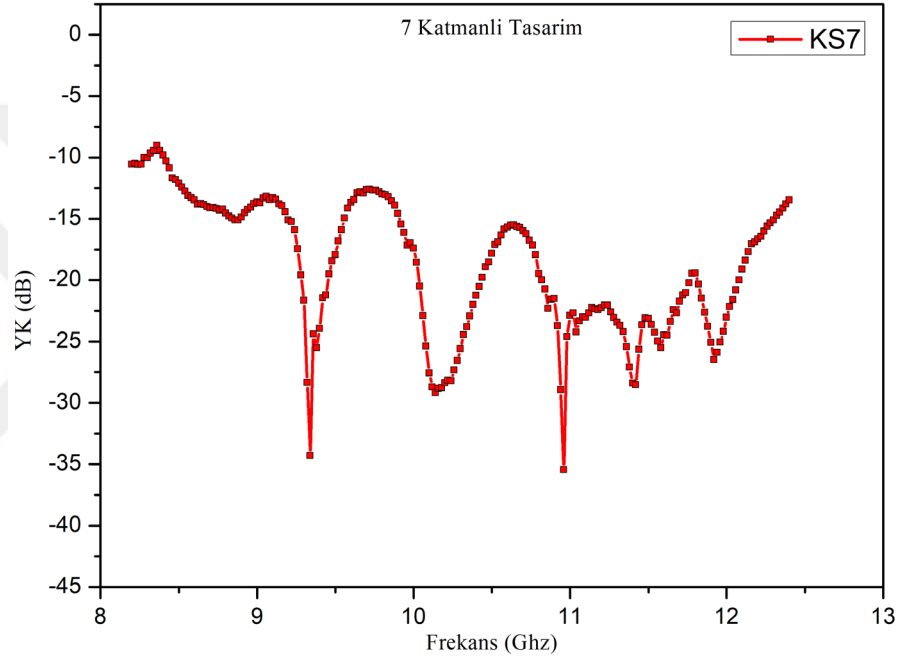
Beş ve altı katmanlı tasarımların grafikleri birlikte incelendiğinde kayıp miktarları yakın olmasına rağmen beş katmanlı tasarımın yedi noktada zirve kayıp verdiği altı katmanlı tasarımın ise dört noktada zirve kayıp sağladığı görülmektedir. Bu durum altı katmanlı tasarımın beş katmanlı tasarıma göre daha istikrarlı olduğunun bir göstergesidir. Ortalama, maksimum ve minimum yansıma kayıp değerleri ve standart sapma değeri çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Altı katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı verisi.

Katman Sayısı	T. Kalınlık	Maks. YK	Min. YK	Ortalama YK	Std. Sp. YK
6	29,94	-43,74	-8,98	-19,18	6,82

5.7 Yedi Katmanlı Tasarım

Yedi katmanlı tasarım için yansımaya kayıp değerleri şekil 5.7’de verilmiştir. Bu tasarımda iterasyon sayısı 5000 ‘dir. Seçilen malzemelerin her biri için 0.1mm ile 8mm değerleri alt ve üst sınır olarak belirlenmiştir. Tasarımın toplam kalınlığı 30.97mm’dir. Beş ve altı katmanlı tasarımlarla benzer verimlilik sunmaktadır. Tasarımda seçilen malzemeler sırasıyla KU15, CDF10, CBF20, CBF20, MH, CBF20, FO5 şeklindedir. Katman sayısının artması algoritmanın verimli sonuç aldığı malzemeleri tekrar seçmesini sağlamıştır.



Şekil 5.7 : Yedi katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansımaya katsayısı.

Beş, altı ve yedi, katmanlı tasarım grafikleri birlikte incelendiğinde zirve nokta diye düşüneceğimiz yüksek kayıp noktalarının beş katmanlıda yedi tane, altı katmanlıda dört tane ve yedi katmanlıda iki tane olması daha istikrarlı kayıp değerlerinin yedi katmanlı tasarımda yakalandığını göstermektedir. Ortalama, maksimum ve minimum yansımaya kayıp değerleri ve standart sapma değeri çizelge 5.7’da verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Yedi katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansımaya katsayısı verisi.

Katman Sayısı	T.Kalınlık	Maks. YK	Min. YK	Ortalama YK	Std. Sp. YK
6	30,97	-43,74	-8,98	-19,18	6,82

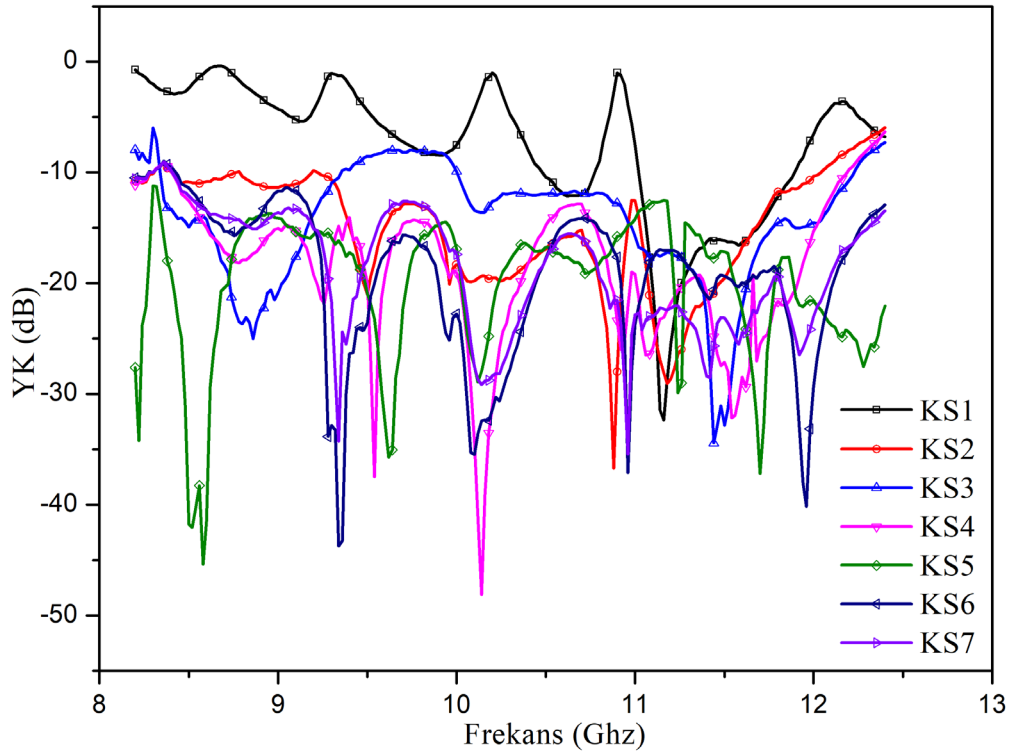
5.8 Çok katmanlı Tasarım Verileri

Tüm tasarımlar için katman kalınlıkları ve sıraları çizelge 5.8'de sunulmuştur.

Çizelge 5.8 : Çok katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı beton katman kalınlık verileri.

Tasarım Adı	Katman Sıra No	Malzeme Adı	Kalınlık (mm)	Maksimum Yansıma Kaybı (dB)	Toplam Kalınlık (mm)
KS-1	1	MHF20	5,5563	-32,376	5,55
KS-2	1	KU15	6,3651	-36,7107	19,77
	2	CDF10	13,4124		
KS-3	1	KU15	6,7387	-34,4444	26,73
	2	CDF10	10		
	3	CNTD	10		
KS-4	1	KU15	6,1109	-48,1036	31,12
	2	CDF10	5,0091		
	3	CBF20	10		
	4	KU5	10		
KS-5	1	KU15	4,4936	-45,3901	30,05
	2	MH	2,3252		
	3	CBF10	4,8208		
	4	F25	10		
	5	MHF20	8,4142		
KS-6	1	KU15	4,8322	-43,7449	29,94
	2	MH	1,8515		
	3	CDF10	4,1008		
	4	CBF20	3,7355		
	5	FO10	7,4229		
	6	KU15	8		
KS-7	1	KU15	6,1074	-35,4465	30,97
	2	CDF10	3,2379		
	3	CBF20	3,5263		
	4	CBF20	6,3093		
	5	MH	3,2501		
	6	CBF20	1,8693		
	7	FO5	6,6718		

Çalışmamızın özeti olarak şekil 5.8'de tüm tasarımların yansıma kayıp değerleri sunulmuştur.



Şekil 5.8 : Çok katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı yansıma katsayısı.

Çalışmamızda dört katmanlı tasarımdan itibaren 18dB'lik ortalama bir yansıma kaybı söz konusudur. Bu durum katmanlı tasarımın başarısını göstermektedir. İki ve üç katmanlı tasarımlar üretim kolaylığı açısından tercih edilebilir olsalar da üretim kolaylığı ve performansla birlikte değerlendirildiğinde dört katmanlı tasarım ön plana çıkmaktadır. Bu çalışma neticesinde dört katmanlı kalkanlayıcıyı önermekteyiz. Şekil 5.9'da ürün olarak gerçekleştirmeyi hedeflediğimiz tasarım sunulmaktadır.



Şekil 5.9 : 4 katmanlı mikrodalga kalkanlayıcı.



6. SONUÇLAR

Bu çalışma çimento bazlı malzemeler üzerine odaklanmıştır. Çimento temel olarak çok az miktarda iletkenlik özelliği gösteren bir yapı malzemesidir. Kullanım alanı oldukça geniş olan çimento malzemesi elektromanyetik dalga yayılımını engellemeye yönelik alternatif bir kalkanlama malzemesi olabilir.

Çalışmamızın temelinde SiO_2 , CNT ve Fe bileşenlerini içeren çimento temelli beton malzemeler bulunmaktadır. Kuvars ve Mohs (SiO_2) katkılması, elektromanyetik dalganın malzeme içerisine alınmasına (uyum katmanı) katkı sunmaktadır. CNT katkılmasının amacı hafif ve hacimce geniş bir materyal olmasındandır. Böylelikle kompozit içerisinde oluşacak iletim hattı genişletilmiş olur. Fe katkılama malzemenin manyetik özelliklerini etkilemekte, EM dalganın beton içerisinde iletimine ve ısıya dönüşmesine yardımcı olmaktadır.

Tek katmanlı tasarım için 26 farklı malzeme içerisinden seramik(SiO_2) ve metalin(Fe) birlikte katkıldığı MHF20 kompozitinin seçilmesi zengin katkılamanın radar emici özellik üzerinde olumlu etkisini gösterir. Tek katmanlı tasarımın sonuçları düşünüldüğünde çalışmamızın çok katmanlı tasarım üzerine odaklanması, bu alanda verimli sonuçlar üretilmesine kaynak oluşturacaktır.

İki katmanlı ve üç katmanlı tasarımlarda mikrodalga soğurucu özelliğın arttığı açıkça görülmektedir. İki katmanlı tasarımda optimizasyon algoritması tarafından seçilen malzemeler, Zhang ve Sun (2010)'ın iki katmanlı tasarımında kullandığı SiO_2 ve Fe içerikleriyle aynı sırada ve benzer içeriktedir. Üç katmanlı tasarımda algoritma tarafından seçilen malzemeler (Zhang ve Sun, 2012b)'ın üç katmanlı tasarımında kullandığı kauçuk, Fe ve karbon materyalleriyle içerik olarak çok yakın ve aynı sıralamadır. Bu durum göstermektedir ki algoritmamız doğru çalışmakta ve uygun sıralamada seçimler yaparak en verimli sonuçlara yönelik hareket etmektedir.

Dört katmanlı tasarımda seçilen Fe, CNT, SiO₂ malzeme üçlüsü, metal, karbon ve seramik bazlı malzemelerin birlikte kullanılmasının başarılı sonuçlar üretebileceğini ortaya koymaktadır.

Dört katmanlı tasarımdan itibaren %90 ve üzerinde soğurucu özellikten söz edilebilir. Altı ve yedi katmanlı tasarımların yansıma kayıp değerleri her frekansta dengeli bir dağılım göstermesi bakımından önemlidir.

Tüm katmanlı tasarımlarımızın ortak noktası herbirinin KU15 katmanı ile başlıyor olmasıdır. KU15 malzemesi SiO₂ içeren kuvars tozudur. Algoritma tarafından başlangıç katmanı olarak seçilmesi EM dalgayı içerisine alma kapasitesinin yüksek olduğunun bir göstergesidir. (Zhang ve Sun, 2010) yaptıkları çalışmalarında iki katmanlı kalkanlama malzemesi tasarlarken %10 SiO₂ içeren katmanı 5mm ve 10mm kalınlıklarında uyum katmanı olarak, %10, %30 ve %50 Fe içeren katmanı emilim katmanı olarak seçmişlerdir. Bizim çalışmamızda %15 Kuvars (SiO₂) tozu içeren KU15 malzememizin de uyum katmanı olarak görev yaptığını söylememiz mümkündür.

Dört katmanlı tasarımdan itibaren katman sayısının artmasıyla birlikte orta katmanlarda birbirlerine benzer malzemelerin seçildiğini ve bu malzemelerin Fe ve CNT ağırlıklı olduğunu söyleyebiliriz. EM dalga başlangıç katmanı ile malzeme içerisine alınmakta, sonra orta katmanlar ile dalga kayıba uğratılmaktadır.

Bu çalışmada beton malzemeler hazırlanırken %25'lik içerik katkılanması maksimum oran olarak düşünülmüş, çimento temelinden çok fazla uzaklaşmamış, farklı materyallerle malzeme havuzu zenginleştirilmiştir. Malzeme katkılarının daha yoğun kullanıldığı betonlarla farklı sonuçlar elde edilebilir. Laboratuvar imkânları X-band ölçüm sistemine uygun olduğu için 8-12GHz frekansında çalışılmıştır. Aynı yöntem kullanılarak farklı ölçüm sistemleri ile farklı frekanslarda çalışmalar yürütülebilir.

Çalışmamızda yüksek katkılama oranlarına başvurmadan, beton temelli malzeme yapısından uzaklaşmadan nispeten uygun maliyetli koruyucu malzemeler üretilebilir. Ayrıca korozyon, bağlanma ve ağırlık gibi kıstaslara sahip olan betonun böyle bir çalışmayla uygun sınırlarda uzun ömürlü olacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Akay, B. (2009). *Nümerik optimizasyon problemlerinde yapay arı kolonisi (Artificial bee colony) algoritmasının performans analizi*. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=CwVIqqBuz1VkysVpueogAcOHzs9-k6veYtOxAPT_k_HcY_YrnuZZIf2eaBdVK3ak adresinden erişildi.
- Baoyi, L., Yuping, D., Yuefang, Z. ve Shunhua, L. (2011). Electromagnetic wave absorption properties of cement-based composites filled with porous materials. *Materials and Design*, 32(5), 3017–3020. doi:10.1016/j.matdes.2010.12.017
- Cakir, M., Kockal, N. U., Ozen, S. ve Kocakusak, A. (2017). Investigation of electromagnetic shielding and absorbing capabilities of cementitious composites with waste metallic chips, 7823(April). doi:10.1080/08327823.2017.1300118
- Dai, Y., Sun, M., Liu, C. ve Li, Z. (2010). Electromagnetic wave absorbing characteristics of carbon black cement-based composites. *Cement and Concrete Composites*, 32(7), 508–513. doi:10.1016/j.cemconcomp.2010.03.009
- Dallenbach, W., & Kleinstuber, W. (1938). Reflection and absorption of decimeter-waves by plane dielectric layers. *Hochfreq. u Elektroak*, 51, 152-156.
- Du Toit, L. J. (1994). The design of Jauman absorbers. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 36(6), 17–25. doi:10.1109/74.370526
- Durmuş, M., Salman, A. O. ve Yildirim, T. Ş. (2018). Kocaeli Üniv ersitesi Fen Bilimleri Dergisi NRW Metodu ile Malzemelerin Elektromanyetik Parametrelerinin Bulunması Finding Electromagnetic Parameters of Materials by NRW Method, 1(1), 7.
- Elmajid, H., Terhzaz, J., Ammor, H., Chaïbi, M. ve Mediavilla, A. (2015). A new method to determine the complex permittivity and complex permeability of dielectric materials at X-band frequencies. *International Journal of Microwave and Optical Technology*, 10(1), 34–39.

- Görkemli, B. (2015). *Yapay arı koloni programlama (ABCP) yöntemlerinin geliştirilmesi ve sembolik regresyon problemlerine uygulanması / Developing new artificial bee colony programming (ABCP) methods and symbolic regression applications. Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı*. Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Guan, B., Ding, D., Wang, L., Wu, J. ve Xiong, R. (2017). The electromagnetic wave absorbing properties of cement-based composites using natural magnetite powders as absorber. *Materials Research Express*, 4(5). doi:10.1088/2053-1591/aa7025
- Guan, H., Liu, S., Duan, Y. ve Cheng, J. (2006). Cement based electromagnetic shielding and absorbing building materials. *Cement and Concrete Composites*, 28(5), 468–474. doi:10.1016/j.cemconcomp.2005.12.004
- Guan, H., Liu, S., Duan, Y. ve Zhao, Y. (2007). Investigation of the electromagnetic characteristics of cement based composites filled with EPS. *Cement and Concrete Composites*, 29(1), 49–54. doi:10.1016/j.cemconcomp.2006.08.001
- Karaboga, D. (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization (Vol. 200, pp. 1-10). Technical report-tr06, Erciyes university, engineering faculty, computer engineering department.
- Kaşgöz, A. (2017). *Elektromanyetik dalga kalkanlama özelliğine sahip polimer kompozitlerin geliştirilmesi ve yapı-performans ilişkilerinin incelenmesi*. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=71OJX8w_8PRQU1mSHU6-jvudGLoZXBsiS7nhTOZhklUAQOtoVW7zTDdsvvER8NBs adresinden erişildi.
- Khushnood, A. R., Ahmad, S., Savi, P., Tulliani, J., Giorcelli, M. ve Ferro, A. G. (2015). Improvement in electromagnetic interference shielding effectiveness of cement composites using carbonaceous nano / micro inerts. *Construction and Building Materials*, 85, 208–216. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.03.069
- Micheli, D., Vricella, A., Pastore, R., Delfini, A., Bueno Morles, R., Marchetti, M., ... Donnini, J. (2017). Electromagnetic properties of carbon nanotube reinforced concrete composites for frequency selective shielding structures. *Construction and Building Materials*, 131, 267–277. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.11.078

- Özüm, S. (2016). *α -Fe₂O₄ spinel tipi nanoparçacıkların manyetik ve mikrodalga soğurma özelliklerinin incelenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı.*
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=cbOXH84ZayrLjc0tI-QXKqeLPs3jco82Z3-e8xIY5WNzPRtu6u1uNV0voL7idflF> adresinden erişildi.
- Salisbury, W. W. (1952). Absorbent body for electromagnetic waves. Unated States of America.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/a4/50/b8/42878dce8897dd/US2599944.pdf> adresinden erişildi.
- Singh, A. P., Gupta, B. K., Mishra, M., Govind, Chandra, A., Mathur, R. B. ve Dhawan, S. K. (2013). Multiwalled carbon nanotube/cement composites with exceptional electromagnetic interference shielding properties. *Carbon*, 56, 86–96. doi:10.1016/j.carbon.2012.12.081
- Toktas, A., Ustun, D., Yigit, E., Sabanci, K. ve Tekbas, M. (2018). Optimally Synthesizing Multilayer Radar Absorbing Material (RAM) Using Artificial Bee Colony Algorithm. *Proceedings of International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory, DIPED, 2018-Septe(September)*, 237–241. doi:10.1109/DIPED.2018.8543261
- Wang, B., Guo, Z., Han, Y. ve Zhang, T. (2013). Electromagnetic wave absorbing properties of multi-walled carbon nanotube/cement composites. *Construction and Building Materials*, 46, 98–103. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.04.006
- Wen, S. ve Chung, D. D. L. (2004). Electromagnetic interference shielding reaching 70 dB in steel fiber cement. *Cement and Concrete Research*, 34(2), 329–332. doi:10.1016/j.cemconres.2003.08.014
- Xu, W., & Yang, Y. Zhang, B. (2003). Primary research on ferrite concrete based composite material for microwave absorption. *Ordnance Mater Sci Eng*, 26(6), 6-9.
- Yaw, K. C. (2012). *Measurement of dielectric material properties application note. Rohde & Schwarz.*
- Zhang, X. ve Sun, W. (2010). Cement & Concrete Composites Microwave absorbing properties of double-layer cementitious composites containing Mn – Zn ferrite.

Cement and Concrete Composites, 32(9), 726–730.
doi:10.1016/j.cemconcomp.2010.07.013

Zhang, X. ve Sun, W. (2012a). Preparation and microwave absorbing properties of three-layered cement-based composites. *Procedia Engineering*, 27(2011), 348–356. doi:10.1016/j.proeng.2011.12.462

Zhang, X. ve Sun, W. (2012b). Preparation and microwave absorbing properties of three-layered cement-based composites. *Procedia Engineering*, 27, 348–356. doi:10.1016/j.proeng.2011.12.462

