



**İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
NANOBİLİM VE NANOMÜHENDİSLİK
ANABİLİM DALI

**RF (RADYO FREKANS) ENERJİ SOĞURMADA YENİ
ETKEN MALZEME: GRAFEN İÇEREN KOMPOZİT
SOĞURUCULAR**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Ahmet GÜL

Ocak-2019



**İSTANBUL MEDENİYET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
NANOBİLİM VE NANOMÜHENDİSLİK
ANABİLİM DALI

**RF (RADYO FREKANS) ENERJİ SOĞURMADA YENİ
ETKEN MALZEME: GRAFEN İÇEREN KOMPOZİT
SOĞURUCULAR**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Ahmet GÜL

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Sevda AVCI

İkinci Danışman:

Dr. Öğr. Üyesi Bektaş ÇOLAK

Ocak-2019

ONAY

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, FEN Bilimler Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrencisi olan Ahmet GÜL'ün hazırladığı ve jüri önünde savunduğu "RF (RADYO FREKANS) ENERJİ SOĞURMADA YENİ ETKEN MALZEME: GRAFEN İÇEREN KOMPOZİT SOĞURUCULAR" başlıklı tez başarılı kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

[Doç. Dr Sevda AVCI]



Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

İkinci Danışman:

[Dr. ögr. Üyesi Bektaş ÇOLAK]

Kurumu: Alanya Alaaddin Keykubat
Üniversitesi



Üyeler:

[Doç. Dr. Murat KAZANCI]

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

[Dr. Öğr. Üyesi Cihat BOYRAZ]

Kurumu: Marmara Üniversitesi

[Dr. Öğr. Üyesi İbrahim GENÇ]

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi



Tez Savunma Tarihi: 02.01.2019

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Medeniyet Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü bünyesinde hazırladığım bu Doktora tezinin bizzat tarafımdan ve kendi sözcüklerimle yazılmış orijinal bir çalışma olduğunu ve bu tezde;

- 1- Çeşitli yazarların çalışmalarından faydalandığımda bu çalışmaların ilgili bölümlerini doğru ve net biçimde göstererek yazarlara açık biçimde atıfta bulunduğumu;
- 2- Yazdığım metinlerin tamamı ya da sadece bir kısmı, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmışsa bunu da açıkça ifade ederek gösterdiğimi;
- 3- Alıntılanan başkalarına ait tüm verileri (tablo, grafik, şekil vb. de dâhil olmak üzere) atıflarla belirttiğimi;
- 4- Başka yazarların kendi kelimeleriyle alıntıladığım metinlerini kaynak göstererek atıfta bulunduğum gibi, yine başka yazarlara ait olup fakat kendi sözcüklerimle ifade ettiğim hususları da istisnasız olarak kaynak göstererek belirttiğimi,

beyan ve bu etik ilkeleri ihlal etmiş olmam halinde bütün sonuçlarına katlanacağımı kabul ederim.

Ahmet GÜL

[İmza]



NEW MATERIAL FOR RF ENERGY ABSORPTION: COMPOSITE ABSORBERS INCLUDING GRAPHENE

ABSTRACT

EMC (Electromagnetic Compatibility) is defined as the ability of electronic systems to function at the intended efficiency in a prescribed electromagnetic environment. EMC has gained importance in recent years since electronic devices and electronic communicators have entered into every aspect of our lives.

To investigate electromagnetic interference (EMI) and EMC characteristics of electronic devices, test laboratories are implemented. One of the most featured test facilities in EMI/EMC world is anechoic chamber. Anechoic chambers include RF absorbers and these absorbers are usually manufactured basically on foams which are generally formed by impregnating carbon into together with the nonflammable solution. These foams are commonly called pyramids and hybrid radio frequency absorbing foams.

Thanks to advances in nanoscience, numerous experimental studies have been done on RF absorbers. However, graphene which is emerging point of nanoscience and one of the lower layers of graphite was not added to polyurethane absorber. The purpose of this study is to investigate the effect of graphene, which is composed of carbon atoms and is a good conductor, on EM wave absorption characteristics of foams when added to them.

Two methods have been utilized. In the first method, graphene and acetone has been mixed homogeneously and the mixture has been injected or sprayed into the foam in order to produce a composite absorber. The effects of graphene on the RF absorption characteristics of this foam was investigated.

In the second method, graphene-based ionic dye has been injected into the foam.

Finally, absorber foams in the market and the foams produced in this study are compared. As a result of this study, it has been shown that the composite foams obtained with a 6 nm graphene-acetone mixture have significantly better attenuation than the commercial ones.

Manufacturing absorbers with graphene does not require high technology. However, although it is simple to produce, high cost of graphene may cause this method not to be preferred. Nevertheless, it is expected that cost of graphene manufacturing will decrease with advances in nanoscience.

This study will be a good reference for future studies. Results obtained in here demonstrate utilizing that new methods and graphene with different thicknesses would end up in useful results.

Key words: Electromagnetic compatibility, Graphene, RF absorber pyramid foam, Graphene based ionic dye



RF (RADYO FREKANS) ENERJİ SOĞURMADA YENİ ETKEN MALZEME: GRAFEN İÇEREN KOMPOZİT SOĞURUCULAR

ÖZET

Yakın zamanda elektronik cihazların ve elektronik haberleşmenin hayatımızın her alanına girmesiyle önem kazanan EMC (Elektromanyetik uyumluluk), elektronik sistemlerin öngörülen bir elektromanyetik ortamda amaçlanan verimlilikte çalışabilmeleri ve işlevlerini yerine getirebilmeleri olarak tanımlanır. Elektronik cihazların birbirinden etkilenip etkilenmediğini anlamak için deney çalışmalarının yapıldığı laboratuvarlar vardır. Bu laboratuvarlarda bir anten yardımıyla cihaza verilen radyo frekans (RF) enerjisinin düzgün dağılımını sağlamak amacıyla soğurucu süngerler kullanılır. Bu süngerler genelde piramit ve hibrid radyo frekans soğurucu süngerler olarak adlandırılır. Radyo frekans soğurucu süngerler genel olarak yanmazlık solüsyonuyla birlikte süngere karbon yedirilerek oluşturulur.

Nanobilimin gelişmesiyle poliüretan RF soğurucu süngerler üzerinde çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ancak grafitin alt tabakalarından olan ve nanobilimin çıkış noktası olan grafen katkısız bir şekilde poliüretan RF soğurucu süngere eklenerek bir deneysel çalışma yapılmamıştır. Bu deneysel tez çalışmasının amacı grafinin karbon atomlarından oluşması ve elektrik iletkenliği iyi olması özelliklerinden dolayı RF soğurucu süngerlere eklenerek, bu süngerlerin EM dalgalarını soğurma özelliklerine etkisinin incelenmesidir. Bu doğrultuda iki farklı yöntem takip edilmiştir. Birinci yöntemde grafeni ve karbon siyahını aseton ile birlikte homojen olarak karıştırılıp süngere enjekte ederek veya yedirilerek kompozit bir soğurucu sünger üretilmiş ve grafinin bu süngerin RF soğurma özelliklerine etkisi incelenmiştir. İkinci deneysel yöntemde ise epoksi, grafen karıştırılarak oluşturulan boya süngere enjekte edilmiştir. Deneysel çalışmanın sonucunda piyasada bulunan soğurucu süngerlerle deneysel olarak çalıştığımız süngerler karşılaştırılacaktır. Bu çalışma sonucunda 6 nm 'lik grafen-aseton karışımıyla elde edilen kompozit süngerlerin çok daha iyi soğurma yaptığı gösterilmiştir. Yaptığımız bu deneysel tez çalışması ilerleyen zamanlarda bu konu üzerinde bilimsel çalışmalar yapanlar için iyi bir referans oluşturacaktır. Elde ettiğimiz sonuçlar farklı yöntemler veya farklı kalınlıklarda grafenler denenerek daha iyi sonuçlar alınabileceğini göstermiştir. Grafenle elde edilen soğurucuların üretim yöntemi yüksek teknoloji gerektirmemektedir. Ancak üretim yöntemi kolay olduğu halde, maliyet açısından grafinin yüksek maliyetli üretimine bağlı olduğu için henüz tercih edilen bir yöntem olmayabilir. Ancak nanobilimin gelişmeye devam etmesiyle grafen üretim maliyetinin de düşmesi beklenmektedir. Bu durumda grafenle soğurucu üretimi çok avantajlı olacaktır.

Anahtar sözcükler: Elektromanyetik uyumluluk, Grafen, RF soğurucu piramit sünger, Epoksi-grafen

TEŞEKKÜR

Tezim boyunca iyi niyeti, desteği ve değerli olan zamanımı bana ayırarak ilgilerini her daim hissettiğim tez danıőmanım olan Doç. Dr. Sevda AVCI hocama teşekkür ediyorum.

EMC konusunda bana bilgisiyle ve EMC laboratuvarı kullanılan ekipmanlar hakkında destek olan değerli arkadaőım Serdar BÜYÜK ve Dr. Öğr. Üyesi Bektaş Çolak hocama teşekkür ederim.

Birçok konuda yardım eden ve referans olan İSPARK kurumunda çalıőan Zafer Kavlak Bey'e teşekkür ederim.

Bu sıkıntılı süreçte desteklerini eksik etmeyen GÜL ailesine teşekkür etmek istiyorum

Ahmet GÜL

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT	i
ÖZET	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTROMAYETİK UYUMLULUK (EMC).....	3
2.1. Elektromanyetik girişim (EMI)	6
2.2. EMC tanım	11
2.3. EMC testleri ve laboratuvarları	14
3. EMC SOĞURUCU	17
3.1. Poliüretan Soğurucu Sünger	17
3.2. Poliüretan Soğurucu Sünger ile İlgili Bilimsel Araştırma	25
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	31
4.1. Süngerlerinin Ölçüm sistemi boyutunda Kesilmesi	32
4.2. Grafenin ve Karbon siyahının Deney için Belirli Ağırlıklarda Ölçülmesi	33
4.3. Belirli Ağırlıklarda Ayarlanan Grafenin ve Karbon Siyahının deneysel çalışması (Süngere Eklenmesi ve kurutulması ve fazlalıkların dökülmesi	35
4.4. Hazırlanmış Soğurucu Süngerin Soğurmasının Ölçülmesi	38
4.4.1 Yansıma Kaybı (RL) Formülleri	38
4.4.2 Ağ (Network) Analizörü.....	44
4.4.3 Ölçüm sonuçları ve Matlab programı.....	47
5. SONUÇ	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 1:** 1967 yılında Vietnam’da ABD Deniz Kuvvetlerine ait bir uçak gemisinde EMI sebebiyle meydana gelen kaza.4
- Şekil 2:** Sikorsky helikopteri.5
- Şekil 3:** Elektromanyetik dalgalar simülasyonu, Mavi renk manyetik alanı, kırmızı renk elektrik alan temsil etmektedir.6
- Şekil 4:** Otobüslerin fren sistemlerinin cep telefonundan etkilenmesi.8
- Şekil 5:** Elektromanyetik girişime örnek; Havadan ve şebeke üzerinden girişim. ..8
- Şekil 6:** a) Birinci tip numunenin “İletkenlik Yoluyla Emisyon” testi. b) İkinci tip numunenin “İletkenlik Yoluyla Emisyon” testi. c) iki tip numunenin aynı anda aynı şebeke üzerinde birlikte çalıştırılması sonucunda yapılan testin verileri.10
- Şekil 7:** EMC testleri; Bağışıklık ve Emisyon.12
- Şekil 8:** Otomotiv testleri için kurulmuş yansız oda 16
- Şekil 9:** TSE yansız oda.16
- Şekil 10:** TÜBİTAK açık alan test sahası.17
- Şekil 11:** 60'lı yılların başında geliştirilen EMC soğurucunun şematığı.19
- Şekil 12:** Kaynaktan soğurucuya maksimum güç aktarımı için koşul şematığı. ..20
- Şekil 13:** Şematik diyagram, soğurucu malzeme üzerinde gelen dalga.20
- Şekil 14:** Piramit soğurucu sünger.22
- Şekil 15:** Hibrid poliüretan soğurucu sünger.23
- Şekil 16:** Hibrid- Ferrit soğurucuları.23
- Şekil 17:** Mikrodalga soğurucunun boyut ve açısı (a) silindir esaslı dört köşeli piramit (b) dikdörtgen piramit (c) koni.....25
- Şekil 18:** $La_{0.8}Ba_{0.2}MnO_3$ yansıtma ve mikrodalga frekansı arasındaki ilişki26
- Şekil 19:** Ku banttı altında RAM tozunun nano kristallerinin redüksiyon kaybı özellikleri, 12.4-18 GHz (a) 'as-sentez') ve (b) 160, (c) 360, (d) 600 ve (e) 760 ...27

Şekil 20: Ku bandında (12.4-18 GHz) nano tozların mikrodalga soğurma özellikleri. (a) RAM, (b) EL Ni-P nanoglobulleri, (c) EL (Ni-P)/ RAM ve (d) tavllanmış EL (Ni-P)/ RAM	28
Şekil 21: Farklı CNT/polimerin 2-18 GHz' de soğurma özellikleri (1 mm ve 2 mm, kompozitlerin kalınlığını temsil eder).....	29
Şekil 22: CNT/vernüklerin 2-18 GHz' de soğurma özellikleri	29
Şekil 23: Grafen içerikli nano kompozit RF soğurucu süngerlerin üretimi ve RF soğurma özelliklerinin ölçümünde takip edilen yöntemin şematik gösterimi.....	31
Şekil 24: 5-6 mm kalınlığında kesilmiş poliüretan soğurucu sünger örneği.	33
Şekil 25: 3nm'lik Grafen gram ölçümü (Ölçüm için örnek).	34
Şekil 26: 3 nm' lik Grafen ölçümünün kap içinde görünümü.	34
Şekil 27: Saç kurutma makinasıyla kurutma işlemi.	36
Şekil 28: 6 nm' lik grafen- su karışımı örneği.	36
Şekil 29: a) Karbon siyahı- aseton karışımı örneği b) Karbon siyahı gram ölçümü örneği c) Aseton.	37
Şekil 30: Epoksi boya-Grafen karışımı örneği.....	38
Şekil 31: ZL ile sonlandırılmış sonlu iletim hattı.....	39
Şekil 32: Radar zayıflatıcı bir tek katmanlı panelin enine kesitine ait şematik gösterim.....	43
Şekil 33: Analizörün şematiği.	45
Şekil 34: İletim hattı yöntemi; dalga kılavuzu ve koaksiyel hat durumu.	46
Şekil 35: (a) Örneklerle koaksiyel 7 mm hava hattı ve (b) X-bandı dalga kılavuzu düz bölüm örnekleri.	47
Şekil 36: 3mm kalınlığında 3 nm grafen' den oluşan süngerin soğurması.	50
Şekil 37: 6 mm kalınlığında 3 nm grafen' den oluşan süngerin soğurması.....	51
Şekil 38: 10 mm kalınlığında 3 nm grafen' den oluşan süngerin soğurması.....	51
Şekil 39: Oluşturulan 3 nm poliüretan soğurucu sünger.	52
Şekil 40: 340 miligram 10 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Karbon siyahı; grafen- aseton, grafen -1; 3 nm' lik grafen- aseton grafen-2; 6 nm' lik grafen- aseton.	53

Şekil 41: 340 miligram 6 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Karbon siyahı; grafen- aseton, grafen -1; 3 nm' lik grafen- aseton grafen-2; 6 nm' lik grafen- aseton)	53
Şekil 42: 340 miligram 3 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Karbon siyahı; grafen- aseton, grafen -1; 3 nm' lik grafen- aseton grafen-2; 6 nm' lik grafen- aseton)	54
Şekil 43: 340 mg Karbon siyahı (Grafit) soğurucu sünger.....	54
Şekil 44: 340 mg 6 nm' lik Grafen soğurucu sünger.	55
Şekil 45: 150 mg ve 10 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Karbon siyahı; grafen- aseton, grafen -1; 3 nm' lik grafen- aseton grafen-2; 6 nm' lik grafen aseton).....	55
Şekil 46: 150 mg ve 6 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Karbon siyahı; grafen- aseton, grafen -1; 3 nm' lik grafen- aseton grafen-2; 6 nm' lik grafen- aseton).....	56
Şekil 47: 150 mg ve 3 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Karbon siyahı; grafen- aseton, grafen -1; 3 nm' lik grafen- aseton grafen-2; 6 nm' lik grafen- aseton).	56
Şekil 48: a)150 mg 3 nm' lik grafenle üretilmiş soğurucu sünger b)150 mg 6 nm' lik grafenle üretilmiş soğurucu sünger c)150 mg karbon siyahı (grafitle) üretilmiş soğurucu sünger..	57
Şekil 49: 200 mg 10 mm kalınlığında oluşturulmuş poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (EP grafen 1; 6nm'lik grafen-epoksi, EP grafen-2; 3nm'lik grafen-epoksi EP Carbon; karbon siyahı-epoksi).	58
Şekil 50: 200 mg 6 mm kalınlığında oluşturulmuş poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (EP grafen 1; 6nm'lik grafen-epoksi, EP grafen-2; 3nm'lik grafen-epoksi EP Carbon; karbon siyahı-epoksi).	58
Şekil 51: 200 mg 3 mm kalınlığında oluşturulmuş poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (EP grafen 1; 6nm'lik grafen-epoksi, EP grafen-2; 3nm'lik grafen-epoksi EP Carbon; karbon siyahı-epoksi).	59
Şekil 52 a) 200 mg 6 nm'lik epoksi grafen ile üretilmiş soğurucu sünger. b) 200 mg 3 nm'lik epoksi grafen ile üretilmiş soğurucu sünger c) 200 mg epoksi Karbon siyahı ile üretilmiş soğurucu sünger.	59

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1: Soğurucu odasında EMC uygulamaları için farklı mevcut soğurucu türlerinin elektriksel performansının karşılaştırılması.24



1. GİRİŞ

Mekanik cihazlar haricindeki diğer tüm cihazlar çalışırken çevreye bir miktar elektromanyetik enerji yayarlar. Bu elektromanyetik enerji cihazlar arasında bir elektromanyetik girişime (Electromagnetic Interference/ EMI) neden olur. Elektromanyetik girişim sonucunda cihazların performansı ile ilgili pek çok problemle karşılaşılabilir. Bu problemlerin yaşanmaması için elektrik ve elektronik cihazlara belirli standartlara göre elektromanyetik uyumluluk testleri uygulanır. Bu testlerin uygulanması için gerekli olan ekipmanlardan biri de testin gerçekleştirildiği oda olan yansız odalarda kullanılan poliüretan soğurucu süngerlerdir.

Nanobilimin ilerlemesi ile 2004 yılında keşfedilen ve grafitin alt tabakası olan sp^2 hibridize karbondan oluşan iki boyutlu bir tabaka olan grafen disiplinler arası birçok bilim insanının ilgisini çekmiş ve grafeni çeşitli alanlarda kullanmaya çalışmışlardır [1].

EMC (Electromagnetic Compatibility- Elektromanyetik Uyumluluk) alanında da özellikle cihazlar ve EMC testleri yapmak için kullanılan odalardaki ekipmanları geliştirmek ve revize edebilmek için çalışmalar başlamıştır. Grafenin grafitte göre çok farklı özellikler gösterdiği bilinmektedir. Bunlardan elektrik iletkenliği, esnek bir yapıda olması ve çelikten 30 kat daha güçlü olması yapmış olduğumuz çalışmada grafeni kullanmamıza iten ana etkenlerdir [2]. Bu özelliklerini kullanarak elektromanyetik girişimi engellemek için birçok çalışma yapılmış ve iyi derecede sonuçlar alınmıştır [3]. Ancak EMC yansız odalarında kullanılan ve yansız odanın vazgeçilmezi olan poliüretan soğurucu süngerler (Radyo frekans Soğurucuları) üzerinde grafenle ilgili çalışma yapılmamıştır. Bu tez çalışmasında EMC testleri için gerekli ekipman olan soğurucu süngerler ile nanobilimin olmazsa olmazı grafeni bir araya getirerek kompozit bir soğurucu sünger yapılmış ve bu süngerin RF soğurma özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında Nanografi firmasında alınan 6 nm ve 3 nm kalınlığındaki iki farklı grafen kullanılmıştır. Oluşturulan süngerler 6 mm kalınlığında olup ölçüm sonucunda aldığımız değeri MATLAB programı yardımı ile 3, 6 ve 10 mm kalınlıklarda soğurma değerleri bulunmuştur.

10 mm kalınlığındaki süngere 340 mg 6 nm' lik grafen ile aseton eklenerek oluşan poliüretan RF soğurucu sünger 10,5 GHz' de yaklaşık -25 dB soğurma yaptığı gözlemlenmiştir. Aynı kalınlıkta karbon siyahına aseton eklenerek oluşan RF poliüretan soğurucu sünger 10.5 GHz' de -5 dB soğurma yaptığı gözlemlenmiştir.

Yaptığımız bu deneysel tez çalışması ilerleyen zamanlarda bu konu üzerinde bilimsel çalışmalar yapanlar için iyi bir referans olacaktır. Elde ettiğimiz sonuçlar farklı yöntemler veya farklı kalınlıklarda grafenler denenerek daha iyi sonuçlar alınabileceğini göstermiştir.

Tez dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde elektromanyetik uyumluluğun (EMC) kısaca tarihi kullanıldığı alanlar ve önemi anlatılmıştır. İkinci bölümde poliüretan soğurucu süngerlerin tarihi gelişimi ve günümüzde radyo emici materyaller (RAM) üzerinde yapılan çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmaların detayları sunulmuştur. Kullanılan süngerlerin kesimi, kompozit süngeri oluşturmak için kullanılan malzemeler , (grafen, karbon siyahı ve aseton), oluşturulan grafen- aseton veya karbon siyahı- aseton karışımının nasıl süngere eklendiği ve RF soğurma ölçümlerinin nasıl yapıldığı hakkında bilgiler verilmiştir. Sonuç kısmında ise üretilen kompozit süngerlerin RF sönümlenme özellikleri değerlendirilerek gelecekte yapılacak araştırmalar için öneriler sunulmuştur.

2. Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)

1996 yılı başından itibaren elektrik, elektronik, bilgisayar ve haberleşme ürünleri piyasasında elektromanyetik uyumluluk (EMC) konusunda bir hareketlilik başladı. Aynı zamanda, birçok yeni ürün müthiş bir hızla günlük yaşantımıza girmiştir. (L.Sevgi, 2000). Mekanik cihazlar haricindeki diğer tüm cihazlar çalışırken çevreye bir miktar elektromanyetik enerji yayarlar. Bu elektromanyetik enerji cihazlar arasında bir elektromanyetik girişime (Electromagnetic Interference/ EMI) sebebiyet verir. Elektromanyetik girişim sonucunda cihazların performansı ile ilgili pek çok problemle karşılaşılabilir. Bu sebeple günümüzde EMC konusu çok önemli bir olgu olmuştur.

EMC, elektronik sistemlerin öngörülen bir elektromanyetik ortamda amaçlanan verimlilikte çalışabilmeleri ve işlevlerini yerine getirebilme olarak tanımlanır. Tanımından da anlaşılacağı üzere EMC doğrudan cihazların birbiriyle olan etkileşimini inceler. Fakat doğrudan olmasa da aslında EMC dolaylı olarak insan sağlığı için de önemlidir. Elektromanyetik enterferans (girişim) ve uyumluluk testleri uygulanmaması ölümcül kazaların meydana gelmesine sebep olur. Bu doğrultuda elektromanyetik uyumluluk (EMC) problemleri nedeniyle meydana gelen kazalara aşağıda örnekler verilmiştir.



Şekil 1:1967 yılında Vietnam’da ABD Deniz Kuvvetlerine ait bir uçak gemisinde EMI sebebiyle meydana gelen kaza [4].

Şekil 1’de 1967 yılında Vietnam’da ABD Deniz Kuvvetlerine ait bir uçak gemisinde meydana gelen kazaya ait bir görüntü gösterilmiştir. Uçak gemisinden kalkan F-4 Phantom modeli savaş uçağından elektromanyetik girişim (EMI) sonucunda ateşlenen bir roket, güvertede duran savaş uçağına isabet etmiştir ve savaş uçağında çıkan yangın, yakınındaki diğer uçaklara sıçramıştır. Uçak gemisinde meydana gelen kazada birçok kişi hayatını kaybetmiş, yüzlercesi ise yaralanmıştır [4].



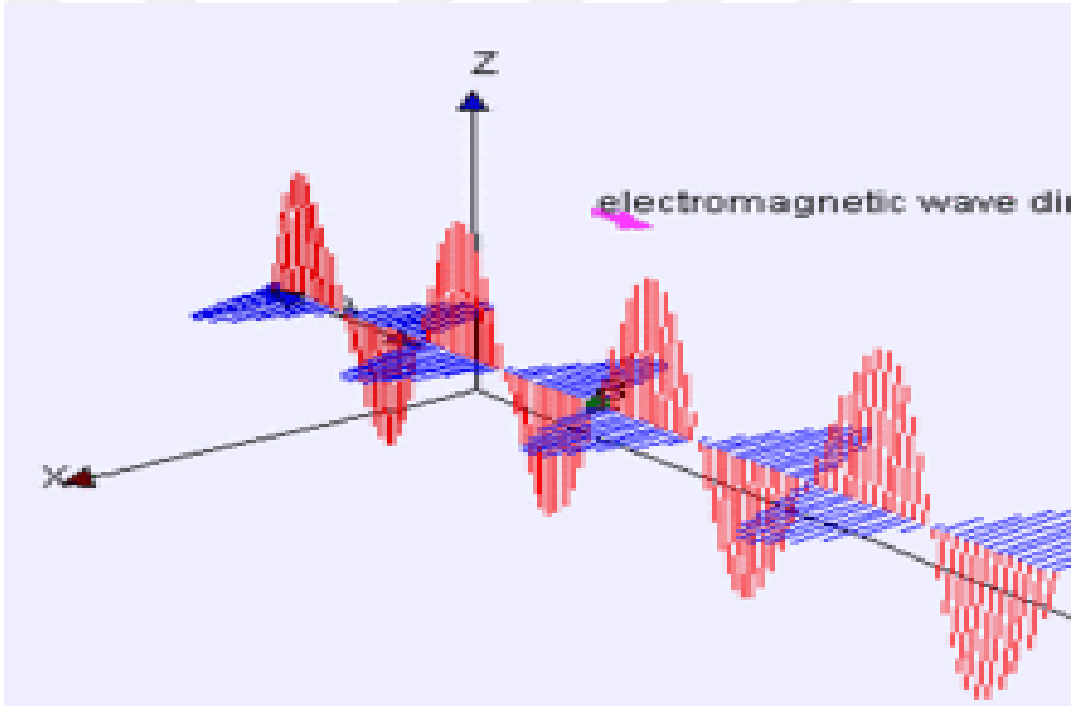
Şekil 2: Sikorsky helikopteri [4]

Şekil 2’ de 1987 yılında bir radyo istasyonunun yanından geçen Sikorsky tipi helikopterde ikaz ışıkları ve sesleri de aynı anda yanmaya başlamış ve arıza vermiştir. Yaşanan bu hadiseden sonra bilirkişi heyeti tarafından yapılan incelemede stabilatörün radyo istasyonundan yayılan ışınmıdan etkilenerek elektromanyetik girişim oluşturduğunu belirlenmiştir. Bu olaydan sonra ABD ordusu, dünya üzerindeki radyo istasyonlarını belirlemiş ve Sikorsky pilotlarını uyarmasına rağmen 1981-1987 yılları arasında beş adet Sikorsky tipi helikopter kaza geçirerek mürettebatın ölmesine neden olmuştur [4].

Örneklerde de görüldüğü üzere EMC konusu dolaylı olarak insan sağlığına ve hayatına etki etmektedir.

2.1 Elektromanyetik Girişim

Mekanik cihazlar haricinde diğer tüm cihazlar çalışırken çevreye istemsiz olarak elektromanyetik enerji çıkarırlar. Bu enerjinin ortaya çıkmasının sebebi elektromanyetik dalgalardan kaynaklanır. Elektromanyetik enerjiyi ortaya çıkartan elektromanyetik dalga kısaca maddede kendi kendine yayılan dalgalardır. Elektromanyetik dalgalar, yüklü bir parçacığın ivmeli hareketi sonucu oluşur. Şekil 3'te gösterildiği gibi dalgalar birbirine dik elektrik ve manyetik alan bileşeni içerir ve bu iki alanın oluşturduğu düzleme dik doğrultuda yayılır. Elektromanyetik dalgalar yayılmaları için ortam gerektirmeyen ve boşlukta c ışık hızı ile yayılan enine dalgalardır [5].



Şekil 3: Elektromanyetik dalgalar simülasyonu, Mavi renk manyetik alanı, kırmızı renk elektrik alan temsil etmektedir [5].

Elektromanyetik dalgaların oluşumu sırasında ortaya çıkan elektromanyetik enerjiden cihazların etkilenmesi sonucu oluşan olaya “Elektromanyetik Girişim” (Electromagnetic Interference, EMI) denir. Elektromanyetik girişim iki şekilde oluşabilir. Birincisi cihazların havaya yaydığı uzaysal ışığa ile gerçekleşen

girişim ve ikinci olarak cihazın içinden çıkan kablolardan iletkenlik yoluyla oluşan girişimdir.

Bir elektromanyetik girişim olayını anlamak için izlenilmesi gereken 3 adım vardır;

- Girişim oluşturacak sistem,
- Girişim yolu veya kuplaj yolu,
- Girişimden etkilenen sistemdir.

“Elektromanyetik Uyumluluk” (Electromagnetic Compatibility, EMC) ise, bir cihaz veya sistemin elektromanyetik ortamda, bir girişime neden olmadan ve bir girişimden etkilenmeden çalışmaya devam edebilme yeteneği olarak tanımlanabilir (L.Sevgi, 2000, Elektromanyetik uyumluluk ve Elektromanyetik kirlilik).

Başka bir ifadeyle elektronik sistemlerin öngörülen bir elektromanyetik ortamda amaçlanan verimlilikte çalışabilmeleri ve işlevlerini yerine getirebilmeleri olarak tanımlanır.

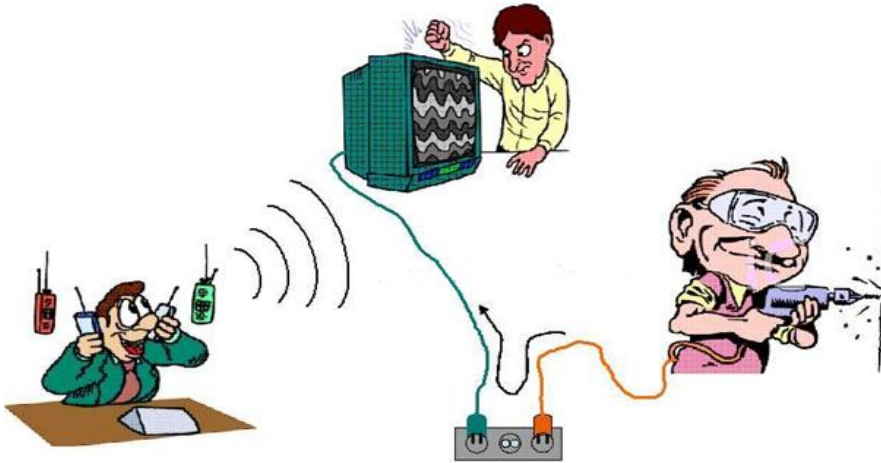
Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission, IEC) EMC standartlarını hazırlayan kuruluşun tanımına göre; sistem veya cihazın içinde bulunduğu EM ortamında fonksiyonlarının, bu ortamda telafi edilemez bir EM bozulma yapmaksızın yerine getirebilme yeteneğidir (L.Sevgi, 2000).

Elektromanyetik girişim problemini birkaç örnek üzerinde açıklamak gerekirse: bir cep telefonunun işlevini yerine getirirken, yani ses veya veri iletişimini sağlarken aynı ortamda bulunan otobüsün fren sistemini etkilemesi, diğer taraftan bakıldığında ise fren sisteminin cep telefonundan etkilenmesi bir elektromanyetik girişim sorunudur (Şekil 4). Bu problemde girişim oluşturacak sistem cep telefonu, kuplaj yolu hava, girişimden etkilenen sistem ise otobüsün fren sistemidir.



Şekil 4: Otobüslerin fren sistemlerinin cep telefonundan etkilenmesi.

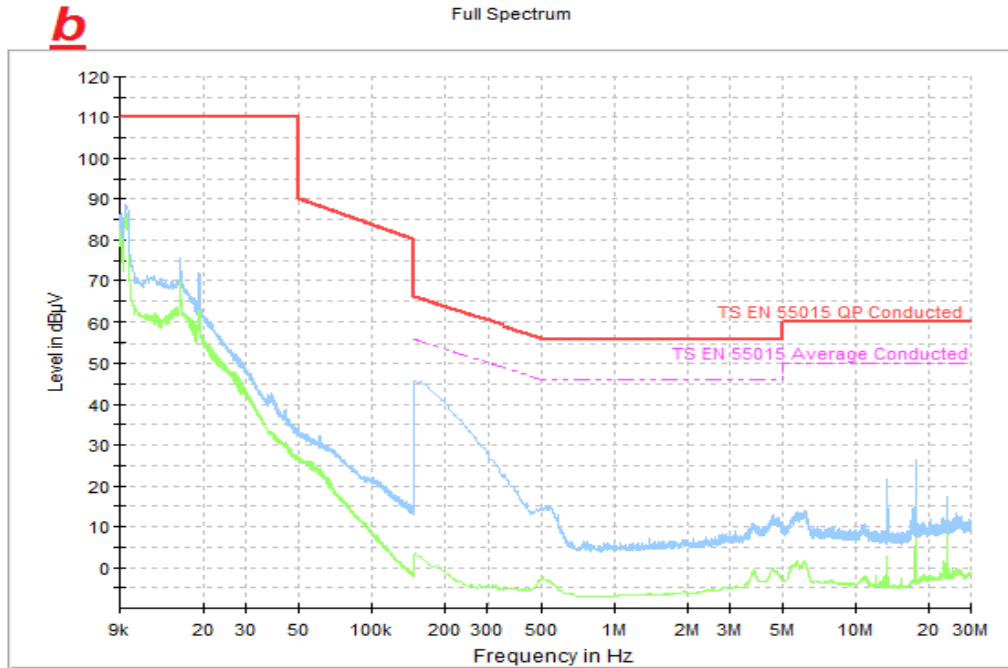
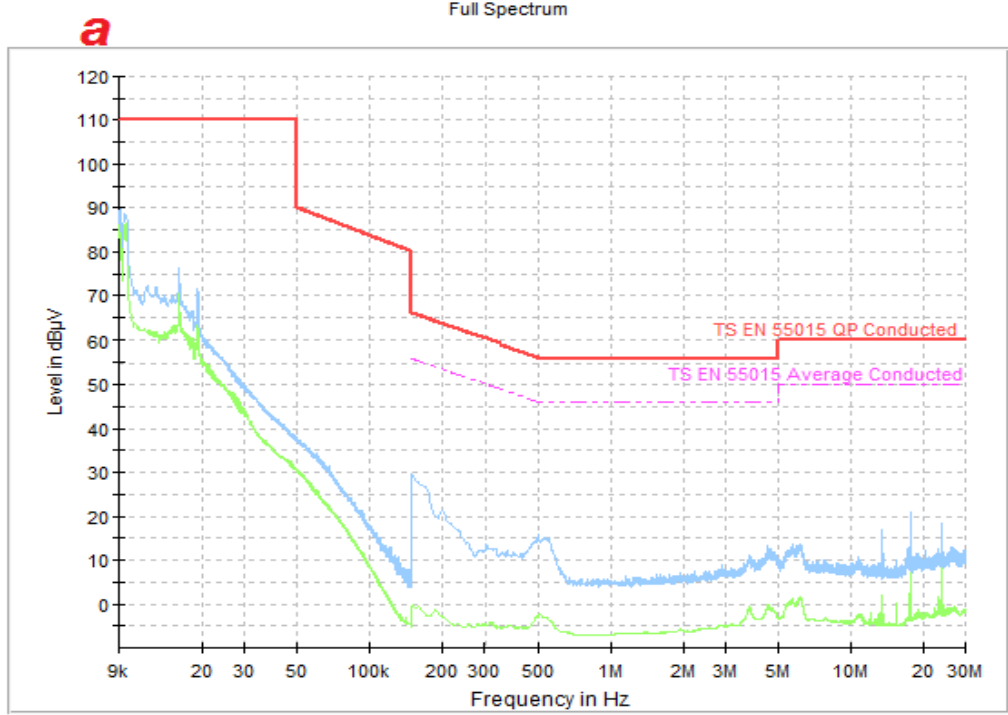
Başka bir örnekte aynı enerji şebeke hattından elektrik alan televizyon ile matkabın birlikte çalışması sonucunda oluşan girişim, iletkenlik yoluyla oluşan girişime örnek olarak verilebilir. Bu problemde girişimi oluşturan sistem matkaptır. Matkap şebeke hattını kullanıp, girişimden etkilenen sistem durumundaki televizyon ekranında parazitlenme ve sonuç olarak iki cihazında çalışmasında bozulma meydana getirmektedir (Şekil 5). Bu iki girişim örneğindeki cihazların aynı şebeke hattı üzerinde çalışırken birbirlerini etkilememiş olması durumunda, elektromanyetik uyumluluktan söz edilebilir.

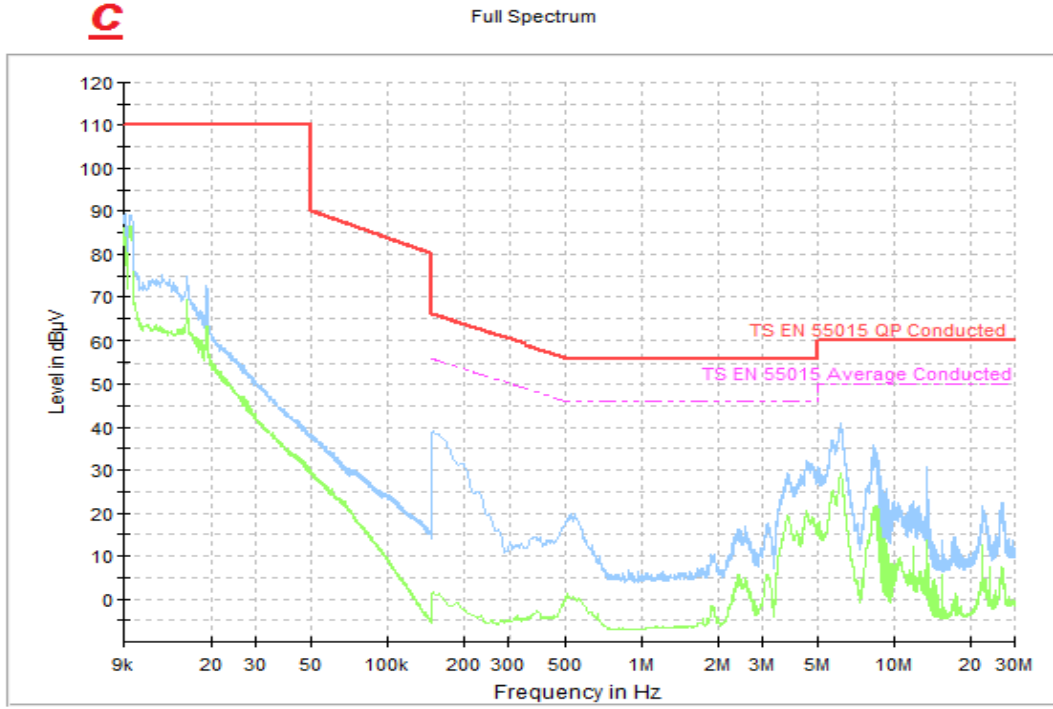


Şekil 5: Elektromanyetik girişime örnek; Havadan ve şebeke üzerinden girişim.

Elektromanyetik girişim problemleri konusunda son örnek ise bu tez için yapılmış olan deneysel çalışma ve bu deneysel çalışma sonucunda elde edilen elektromanyetik girişim verileridir (Şekil 6). Deneysel çalışmada iki farklı ampul numunesi “İletkenlik Yoluyla Emisyon” (Conducted Emission) testine tabi tutuldu. İletkenlik Yoluyla Emisyon test ekipmanına bir adet alıcı (receiver), bir adet yapay şebeke (LISN) ve EMC32 yazılımından oluşur. Numune ilk olarak LISN’ in üzerinde bulunan tek fazlı prize takıldı. LISN cihazının amacı şebekeden gelen farklı gürültüleri filtreleyerek temizlemektir. LISN’ a takılan numune daha sonra alıcı yardımıyla kablodan yayılan gürültüyü ölçer ve EMC32 programına bu verileri atar. EMC32 programı bu verileri grafik olarak ve sayısal veriler olarak çıktı verir (Şekil 6). Grafiklerde bulunan kırmızı ve pembe çizgiler ampuller için standarda belirtilen sınır değerleridir. Kırmızı çizgi standartta belirtilen sözde tepe (Quasi Peak) değeri, pembe çizgi ise ortalama (Average) gürültü değeridir. Grafikte bulunan mavi çizgi cihazın yaydığı gürültünün sözde tepe değerini, yeşil çizgi ise cihazın yaydığı gürültünün ortalama değeri gösterir. Sözde tepe ve ortalama gürültü değerinden kısaca bahsetmek gerekirse bir elektronik üründen yayılan elektrik/manyetik alan her an aynı düzeyde olmayabilir. Bu nedenle, elektronik ürünlerin elektrik/manyetik alan yaymak suretiyle neden olduğu elektromanyetik girişimi ölçmenin birden fazla yöntemi vardır. Askeri elektronik cihaz/sistemlerin sivil cihaz/sistemlerden daha hayati ve kritik olmaları nedeniyle, yayılan elektrik/manyetik alanın tepe değeri ölçülür. Tepe değeri ölçmek, ürünün herhangi bir anda ürünün neden olabileceği en yüksek girişimi tespit edebilmeyi sağlar. Ancak sivil cihaz/sistemler için tepe değeri yerine sözde tepe ve ortalama ölçümü yapılır. Sözde tepe ölçümü elektrik/manyetik alan ölçümü yapılan frekansta sürekli ve tekrarlanan bir girişim olup olmadığını tespit etmeyi sağlar. Eğer incelenen frekansta çok sık tekrarlanan bir değer varsa bu durumda sözde tepe değeri de tepe değerine yakın olacaktır. Sözde tepe ölçümü zaman göre ve frekans tarama sırasındaki komşu frekanslara göre değerlendirilirken, ortalama değer ise o frekanstaki ölçümlerin aritmetik ortalamasını almaktadır. Test edilen numunenin belirtilen sınır değerleri aşması durumunda olumsuz bir numune olduğunu gösterir. Seçilen ilk ampul numunesi İletkenlik Yoluyla Emisyon test ekipmanına takıldı ve Şekil 6a’ daki ölçüm alındı. Daha sonra seçilen ikinci ampul numunesi test ekipmanına takıldı ve Şekil 6b’ deki ölçüm alındı. Son olarak kullanılan iki tip numuneyi aynı şebeke hattı üzerinden

birlikte çalıştırmak için LISN da bulunan tek fazlı prize üçlü priz takıldı. Üçlü priz üzerinden tek bir şebeke oluşturuldu ve iki tip numune aynı anda üçlü prize takılarak ölçüm alındı. Grafiklerde de görüldüğü gibi iki tip numune aynı anda şebeke üzerinden 5 MHz- 30 MHz bandında bir girişim oluşturdu

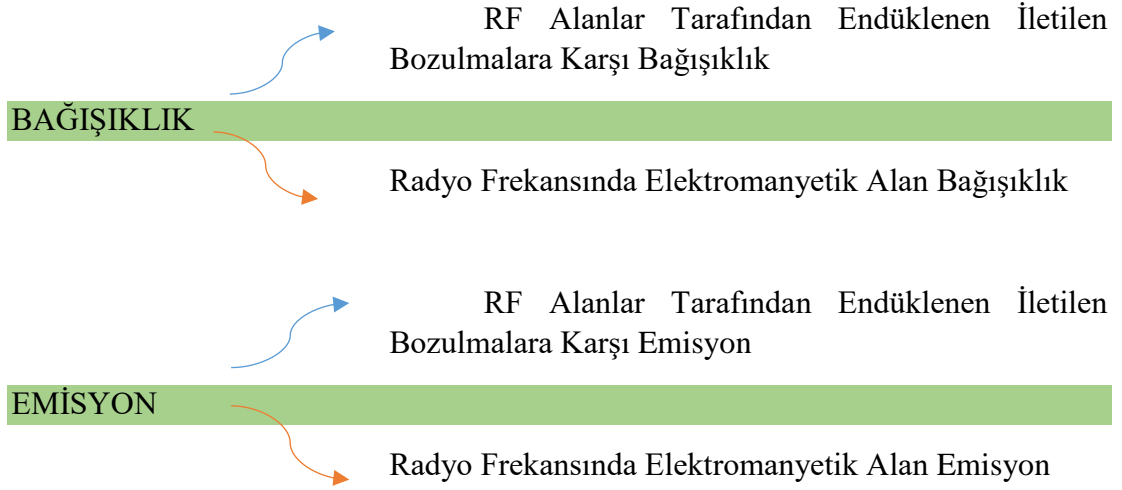




Şekil 6: a) Birinci tip ampul numunesinin “İletkenlik Yoluyla Emisyon” testi. b) İkinci tip ampul numunesinin “İletkenlik Yoluyla Emisyon” testi. c) iki tip ampul numunesinin aynı anda aynı şebeke üzerinde birlikte çalıştırılması sonucunda “İletkenlik Yoluyla Emisyon” testi verileri.

2.2 Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)

EMC gününüzde çok daha hassas şekilde üzerinde durulan bir konu haline gelmiştir. Askeri alanlar, tıp, endüstriyel uygulamalar ve otomotiv sektörüne kadar her kesim EMC gereklerinin bulunduğu standartları karşılamak zorundadırlar. EMC’ yi sağlamak için ulusal ve uluslararası birçok sivil ve askeri standartlar mevcuttur. Sivil standartlar altında bulunan ve otomotiv sektörü standarttı olan ISO 7637-2 veya askeri standartlardan olan MIL-STD-462 örnek verilebilir. Bu ve benzeri EMC standartlarında genel olarak sistemin çevresine yaydığı elektromanyetik enerjinin (emission) veya çevreden etkilenecek alınganlık (immunity) gösterdiği enerjinin düzeylerini belirtir. Buna göre standartlarca verilen test düzenekleri, istenilen değerler ve açıklanan yöntemlerle EMC testleri uygulanır. EMC testleri Şekil 7’ de gösterildiği gibi iki yönlü olarak toplam dört ana başlık altında gerçekleştirilir.



Şekil 7: EMC testleri; Bağışıklık ve Emisyon

“Radyo Frekansındaki Elektromanyetik Alanlara Bağışıklık” (Radiated Immunity) testlerinde, radyo frekans (RF) işaret üretici ile üretilen işaretin genliği yükseltici ile yükseltilir. Bu yükselticiler (amplifikatör) frekans aralığında kullanımları genelde 1 GHz frekansına kadar solid state (katı hal) yükselticiler ve 1 GHz üzerinde ise TWT (seyahat dalga tüpü / Travelling wave tube) olarak adlandırılan yükselticilerdir. Ancak yeni teknolojilerde 1 GHz üzerinde solid state yükselticiler üretilmektedir. Yükseltilen işaret yönlü bağdaştırıcı (direction coupler) yardımıyla bir taraftan antene işaret gönderirken diğer taraftan RF güç ölçere ölçümü iletilmektedir. Böylelikle iletilen ve yansıyan güç ölçülerek işaretin duran dalga oranı izlenmektedir.

$$\text{Duran dalga oranı} = \frac{\text{Toplam güç}}{\text{İletilen güç}} \quad \text{Denklem 1}$$

Deneylein sağlığı açısından Denklem 1’ de verilen duran dalga oranının belirlenmesi önemlidir. Duran dalga oranının 1’e yaklaştıkça işaretin iletimi ideal seviyede kabul edilir ve 1,5’ i geçmemesi gerekmektedir. Daha sonra üretilen işaret anten (Log periyodik anten) yardımı ile ışıma yapar ve elektrik alan üretilir. Üretilen elektrik alan içine yerleştirilen ürün test edilir. Test edilen cihazın çalışmasında herhangi bir bozulma olmaması gerekir. Anten yardımıyla elektrik alanın havadan verilmesinden dolayı bu teste “Radyo Frekansındaki Elektromanyetik Alanlara Bağışıklık” (Radiated Immunity) testi denir. Radyo Frekansındaki Elektromanyetik Alanlara Bağışıklık

testleri ürünlerin standartlarına göre 1 V/m, 3 V/m ve 10 V/m elektrik alanlarla 80 MHz' den başlayıp 18 GHz' e kadar yapılmaktadır.

RF Alanlar Tarafından Endüklenen İletilen Bozulmalara Karşı Bağışıklık (Conducted Immunity) testi ise; bir cihazın kablo vasıtasıyla bağlı olduğu şebekeden veya başka bir cihazdan, cihaza gelen bozucu gerilim işaretlerine karşı bağışıklık deneyidir. Cihazın kablosu üzerinde ortamdaki elektromanyetik alan nedeniyle de girişim oluşabilir. Bu gerilim bozulmalarını simüle etmek için bir işaret üretici bunun genliğini yükseltecek bir yükseltici yönlü kuplör ve bir kuplaj dekuplaj şebekesi (CDN) kullanılır. Cihaza bağlı hat CDN ile cihaza bağlanırken, üretilen bozucu işaret CDN üzerinden hatta bindirilerek cihaza uygulanır. CDN olarak adlandırılan sistem, test altındaki cihaza (EUT) uygulanacak bozucu işaret hangi porttan uygulanacaksa (besleme, veri gibi) o porta giren işaretle birleştirilerek, EUT'ye uygulayan ünedir. Örneğin bir cihaz/sistemin 220 V besleme portuna RF bozucu işaret uygulanacaksa CDN 220 V ile RF bozucu işareti birleştiren ve cihaza/ sisteme bağlanan ünedir ve bu işlem CDN'nin kuplaj işlemidir. Aynı zamanda bu ünite uygulanan bozucu işaretin besleme şebekesine geri dönerek şebekeyi bozmasını engeller ve bu da CDN dekuplaj işlemidir.

Radyo Frekansında Elektromanyetik Alan Emisyon testi (Radiated emission); Işımayla yayılım olarak ta adlandırılır. Bir cihazın mahfazasından etrafına yaydığı elektrik veya manyetik alanın ölçülmesi prensibine dayanır. Manyetik alan ölçümü nadiren gereklidir. Cihazdan yayılan alan uygun bir anten (Bikonik ve rod anten) vasıtasıyla bir spektrum analizör veya EMI alıcısı ile ölçülür. Ölçüm için genellikle mikrodalga soğurucularla donatılmış bir ekranlanmış oda (yansımaz oda) gereklidir. Girişimin fazla olmadığı bir açık alanda da ölçüm yapılabilir ancak açık hava test sahası anten ölçümleri hariç çok tercih edilmez. Sivil cihazlar için genellikle 20-30 MHz, askeri cihazlar için 100-150 KHz bandından başlayarak bir kaç GHz mertebesine kadar elektrik alan ölçümü yapılır.

RF Alanlar Tarafından Endüklenen İletilen Bozulmalara Karşı Emisyon testi (Conducted emission); Literatürde disturbance voltage (bozulmam gerilimi) olarak da geçen bu olgu, bir cihaz/sistemin besleme şebekesine veya kablo vasıtasıyla bağlı olduğu bir sisteme kablo üzerinden yaptığı elektromanyetik girişimdir. Cihazın

normalde bağı olduğu şebekeyi simüle eden bir devre üzerinden beslenir. Bu devre şebeke empedansını simüle eder ve cihazın oluşturduğu bozucu gerilimi ölçmek için genelde bir BNC tipi port içerir. Bu uçtan alınan işaret bir spektrum analizörü veya EMI alıcısı ile ölçülür. Sivil cihazların çoğunda 150 kHz ile 30 MHz arasında gerilim işareti ölçülür. Ölçülen değerler ürünün ilgili standartında belirtilen sınır değerlerin altında olmalıdır

EMC konusunda özellikle ülkemizde üretilen veya ithal edilen ürünlere Türk Standartları Enstitüsünde (TSE), EMC alanındaki kontroller yapılmaktadır. Bu kontrollerin ve EMC testlerinin gerçekleştirildiği dört farklı test ortamı bulunmaktadır. Bu test ortamlarından yani laboratuvarlardan aşağıdaki başlıkta bahsedilmiştir.

2.3 EMC TEST ORTAMLARI

EMC test ortamları standartlarda belirtilen değerleri sağlamak için kurulan ortamlardır. EMC konusunda elektromanyetik alanlar üzerinde çalıştığı için bu test ortamları yani laboratuvarlar elektromanyetik alanları istenilen değerlerde tutmak için dizayn edilir.

Üretilen bir ürünün Ar-ge çalışmalarını üreten firma kendi imkânlarıyla EMC testlerini gerçekleştirebilir. Ancak ürünü piyasaya sürebilmek için akredite kuruluşlardan onay alması gerekmektedir. Bu akredite kuruluşları ülkemizde TÜRKAK olarak bilinen 'Türk Akreditasyon Kurumu'ndan onaylanmış laboratuvarları olan kuruluşlardır. Bu kısa bilgiden sonra piyasaya sürülecek olan bir ürünün EMC testleri dört farklı test ortamı (laboratuvarı) kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu test ortamları;

Ekranlı Oda, Fizik alanında 'Faraday kafesi' adıyla da bilinen ekranlı oda dizaynı gereği dışarıdan içeriye ve içeriden dışarıya elektromanyetik alanı geçirmeyen test ortamlarıdır. Faraday kafesi dizayn edilirken iletken metallerle kaplanır ve çok iyi derecede topraklanır. Bu sayede ortamın elektromanyetik alanını dışarıya vermez ve dışarıdan bir alan almaz. Ekranlı odalarda kullanılan iletken malzeme, uygulama alanına göre çelik, alüminyum, bakır, kurşun, nikel vb. bir malzeme olabilir [6].

Ekranlı odalar EMC test ortamını oluşturan ana odalardır. Yansımatsız odalar ekranlı odalardan yapılır. Yukarıda da belirtildiği gibi ekranlı odaların ve dolayısıyla yansımatsız odaların elektromanyetik alanı dışardan içeri veya içeriden dışarıya sızma

yapmaması gerekir. Sızma yapıp yapmadığını oda kurulduğunda ve laboratuvarların isteğe göre senede bir kere ekranlama etkinliği (Shielding effectiveness) denilen bir takım testlere tabi tutulur. Ekranlama etkinliği MIL-299 ve EN 50147-1 standartında belirtilen değerlere göre yapılır.

Tam/Yarı Yansımaz Oda, Yansımaz odalar “Radyo Frekansındaki Elektromanyetik Alanlara Bağışıklık” ve “Radyo Frekansında Elektromanyetik Alan Emisyon” testlerinin gerçekleştirilmesi için gereken EMC test odalarıdır. Genel olarak Faraday kafesi (Ekranlı oda) olarak dizayn edilmiş odalardır. Dizaynı gereği dışarıdan içeriye ve içeriden dışarıya elektromanyetik alanın geçirmemesi daha kısa tabirle elektromanyetik yalıtımı olması gerekir. Test ortamının duvarlarında ferrit karolar ve yan duvarlarında dik bir şekilde yerleştirilmiş poliüretan soğurucu süngerler (RF soğurucular) döşenmiştir. Bu soğurucular iki nedenle döşenmiştir: anten yardımıyla verilen elektrik alanı doğrusal olarak cihaza direk olarak verebilmek ve oda içerisinde oluşan yansımaları ya da farklı işaretlerin engellenmesidir.

Yarı Yansımaz Oda: Faraday kafesi yapısında zemin hariç diğer tüm duvarlarında yansımazlık özelliği bulunan test ortamıdır.

Tam Yansımaz Oda: Faraday kafesi yapısında zemin dâhil tüm duvarların yansımazlık özelliği bulunan ayrıca iç duvarları ferrit ve RF soğurucu süngerlerle kaplanmış elektromanyetik yalıtımı olan test ortamıdır (Şekil 8 ve Şekil 9).

Açık Saha Test Alanı: Standartlarda belirtilen zemini düzgün bir toprak düzende bulunan adından da anlaşılacağı üzere açık bir alanda bulunan test ortamına açık hava test sahası olarak adlandırılır. Anten testleri ve Radiated testleri için kullanılır. Kontrol odası açık hava test sahasına belirli bir mesafede kurulur. Çok tercih edilen bir test ortamı değildir (Şekil 10).



Şekil 8: Otomotiv testleri için kurulmuş yansımaz oda



Şekil 9: TSE yansımaz oda



Şekil 10: TÜBİTAK açık alan test sahası

3. EMC SOĞURUCU

3.1 Poliüretan Soğurucu Sünger

Yukarda bahsedildiği gibi, EMC testleri için anten yardımıyla cihazın üzerine gönderilen elektrik alanı veya cihazın yaydığı emisyonu ölçmek için test ortamlarına ihtiyaç duyulur. Bu ihtiyaç doğrultusunda dışardan içeriye ve içerden dışarıya elektromanyetik alan çıkışı olmayacak şekilde dizayn edilmiş bir test odası Siemens'in merkezi araştırma laboratuvarı tarafından Almanya'da kurulmuştur [7].

Bu odalar ilgili standartlarda belirtildiği gibi 30 MHz' den başlayıp 18 GHz' e kadar çıkan radyo frekansı aralığında EMC testi gerçekleştirmek için gerekli olan alanı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

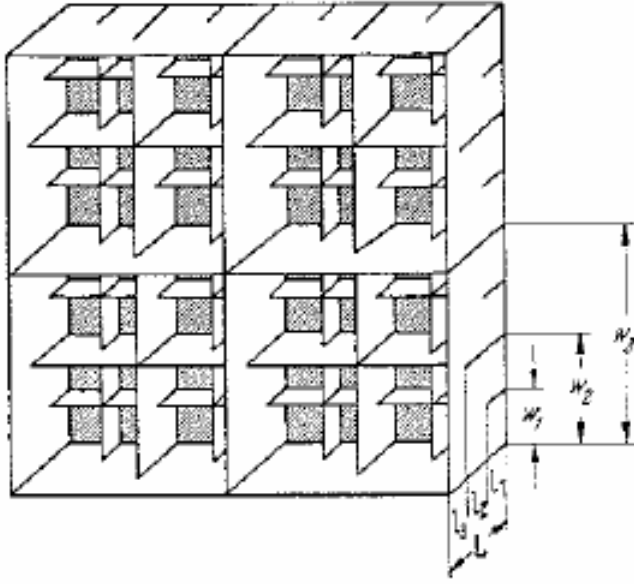
Bu sebeple yansız odalarda kullanılmak üzere Siemens, "Schacht Soğurucu" olarak adlandırılan Avrupa'daki ilk EMC soğurucularını geliştirmiştir [7].

Radyo frekans soğurucular, verilen bir elektromanyetik dalgayı soğurarak elektromanyetik dalganın enerjisi azaltan soğuruculardır. Radyo frekans soğurucular, bir sistemin çalışmasını etkileyebilecek, istenmeyen elektromanyetik girişimi ortadan kaldırmak için çeşitli alanlarda kullanılır. Soğurucular, genel olarak üç amaç için kullanılabilirler;

- i. İletimi azaltmak için harici olarak kullanılabilir.
- ii. Aynı zamanda kavite rezonansının neden olduğu salınımları azaltmak için dâhili olarak kullanılabilir.
- iii. Ayrıca, yansız odadaki yansımaları ortadan kaldırarak düzgün bir alan ortamı oluşturmada kullanılabilirler.

Soğurucular esnek elastomerler, köpük, sert epoksi ve plastikler dâhil olmak üzere farklı yapılarda üretilebilirler. Soğurucular genellikle dolgu malzemesi içeren yapılardır. Piyasada bulunan soğurucularda yanmaz kimyasalla birlikte homojen bir şekilde karıştırılan karbon siyahından üretilirler. Soğurucu malzeme, fiziksel özellikleri (sıcaklık direnci, hava koşullarına dayanıklılık, vb.) göre seçilir.

Poliüretan soğurucu süngerler çeşitli şekillerde kesilerek üretilebilir ancak en çok kullanılan piramit kare olarak kesilmiş süngerlerdir. Bu soğurucu süngerler standartta belirtilen frekans aralığını karşılayacak şekilde üretilmelidirler. Şekil 11'de, 60'lı yılların başında geliştirilen geniş bant EMC soğurucunun şematiği görülmektedir [7].



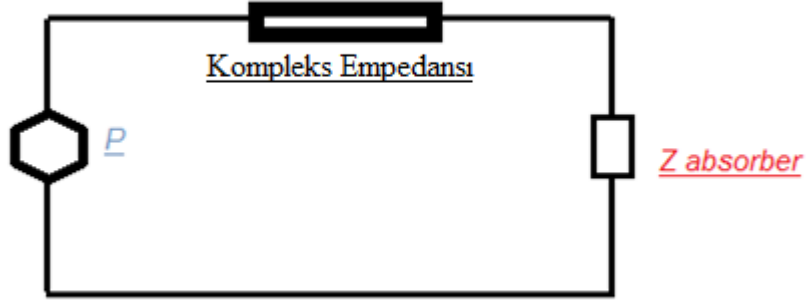
Şekil 11: 60'lı yılların başında geliştirilen geniş bant EMC soğurucunun şematiği [8].

Radyo frekans soğurucular üzerinde yapılan araştırmalar 60' lı yıllardan sonra devam etmiş ve ihtiyaç doğrultusunda doksanlı yılların başında, EMC testlerinde kullanılmak üzere RF poliüretan soğurucu sünger üretilmiştir. Bu üretilen radyo frekans soğurucu 30 MHz' den 40 GHz' e kadar olan bir frekans aralığında çalışabilen içi boş bir piramidal soğurucudur. Daha sonra poliüretan soğurucu süngerlerin geliştirilmesi sonucunda yeni bir EMC test ortamı (yansımatsız oda) kurulma ihtiyacı duyulmuştur. 1988 yılında Avrupa'nın en büyük yansımatsız odası Greding'de 1,8 m uzunluğundaki poliüretan piramit soğurucu (RF soğurucular) duvarlara yapıştırılarak kurulmuştur. Bu tarihlerde düşük frekanslarda iyi soğurma yeteneğine sahip olan ferrit karoların ve hibrid RF soğurucular henüz keşfedilmemiş olması sebebiyle süngerlerin boyutu uzun olarak tasarlanmıştır. Devam eden araştırmalar sonucunda 1994 yılı ortalarında Şekil 15' de bulunan hibrid tipi RF poliüretan soğurucu süngerler geliştirilmiş ve piyasaya sürülmüştür [9].

RF soğurucular (Poliüretan soğurucu sünger), yutucu eşleştirme ilkesi çerçevesinde serbest alan dalgası, soğurucunun empedansı ile eşleştirilmelidir. Şekil 12'de görüldüğü gibi kaynak empedansı soğurucu empedansı ile eşleştirildiğinde, yani

$$Z^* \text{ absorbe edici} = Z \text{ kaynak} \quad \underline{\text{Denklem 2}}$$

gereksinimi yerine getirilirse, maksimum güç iletimi mümkündür [7].



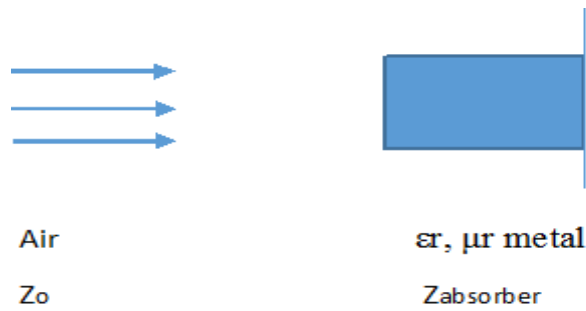
Şekil 12: Kaynaktan soğurucuya maksimum güç aktarımı için koşul şematığı [7].

Soğurucu empedansı, gelen dalganın empedansına uymalıdır. Özellikle geniş frekans aralığında (30 MHz - 18 GHz), ideal bir soğurucu olmadığı bilinmektedir. Bu yüzden ideale en yakın olanı keşfetmek için çalışmalar sürdürülmektedir [7].

Şekil 13'te gösterildiği gibi bir dalga, metal malzemeden yapılmış ek soğuruculardan oluşturulmuş soğurucuya çarpar. Burada soğurucu, üreticinin uygun malzeme parametreleri ϵ_r (dielektrik sabiti), μ_r (kompleks geçirgenlik) olan uygun malzemeleri seçmesi gerekir. Buda meşakkatli bir hesaplama gerektirir.

Z_o : boş alan empedansı

$Z_{soğurucu}$: absorbe edicinin giriş empedansı $f(\epsilon_r, \mu_r)$



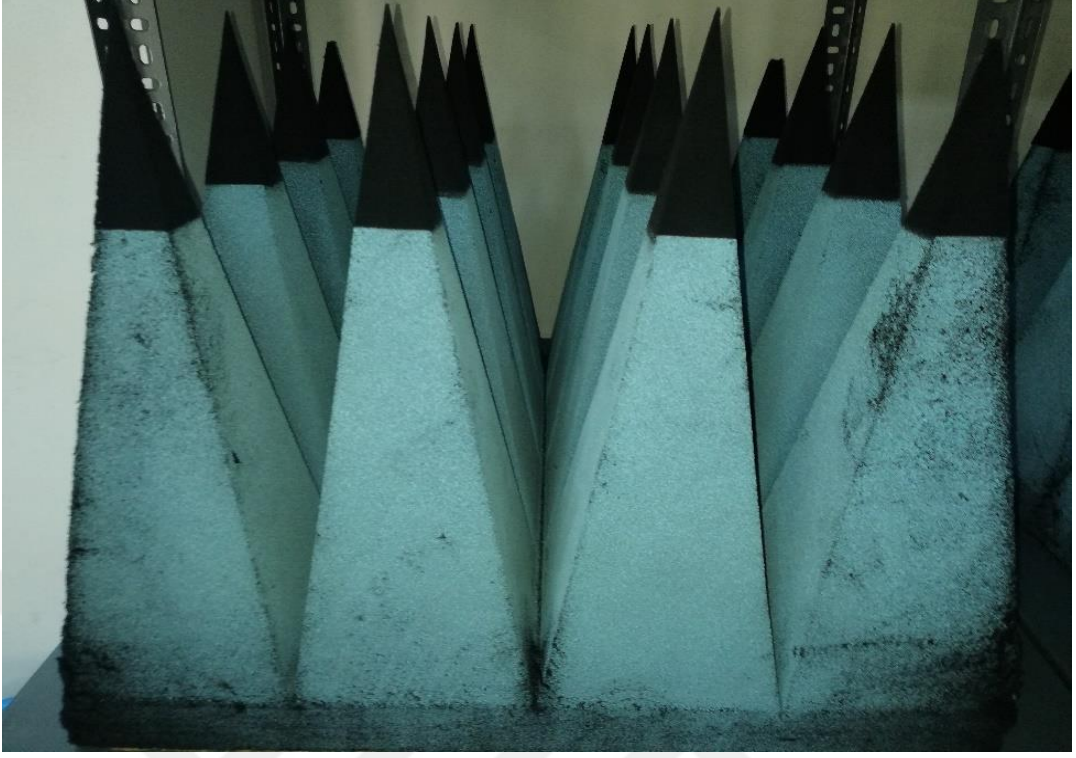
Şekil 13: Şematik diyagram, soğurucu malzeme üzerinde gelen dalga [7].

Soğurucu üreticisinin hedefi, dönüş kaybı -20 dB' den daha az olan geniş bant soğurucu üretmektir. Bu minimum geri dönüş kaybı, ölçüm siteleri için CISPR A (CISPR 25, 12 vb.) standartlarını yerine getirmek için soğurucu odaları oluşturmak için gereklidir [7].

Piyasada bulunan çeşitli RF soğurucular (poliüretan RF soğurucu sünger) farklı şekilde kesilerek piramidal, eğik ve kıvrık olarak üretilmiştir. Piramit RF soğurucu(soğurucu) diğer şekillere kıyasla yansız odalarda en çok kullanılan soğurucudur. Bunun sebebi, piramit RF soğurucu kullanılma amacı, gönderilen dalga piramit şeklinde kesilen yapının içerisine girer ve dalganın yaptığı sıçramalar piramit yapının dizaynından dolayı en üst düzeye keser. Piramit yapının içinde bulunan dalgaların her bir sıçrayışı dalganın enerji kaybetmesine sebep olur ve daha düşük işaret gücü ile çıkmasını sağlar.

Piramit RF soğurucu; üçgen, kare, dörtgen, beşgen, altıgen, heptagonal, sekizgen ve köşegen olmak üzere sekiz çokgen tabanlı piramidal şekil olarak üretilmiş ve kaç dB zayıflattığı test edilmiştir.

Soğurucular, yansız odanın ilgili standartlara uygunluğu için yukarıda da bahsedildiği gibi minimum geri dönüş kaybına sahip olmalıdır. Soğurucu en iyi performansını 30 MHz' den itibaren vermelidir. Soğurucu tasarımları içinde, piramidal poliüretan soğurucu süngerler en iyi zayıflatan soğuruculardır. Şekil 14' de piramit soğurucunun fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 14: Piramit soğurucu sünger.

Piramit soğurucu süngerler kadar olmasa da bağışıklık testlerinde piramit soğurucuların yanı sıra kullanılan hibrid soğurucu süngerler vardır (Şekil 15). Bu süngerlerin uçları Şekil 15’ de görüldüğü gibi kesiktir. Hibrid süngerler Ferrit karolar ile birlikte kullanılır ve EMC testlerde ürünlerin daha düşük frekanslarda test edilebilmesini sağlar (Şekil 16).



Şekil 15: Hibrid poliüretan soğurucu sünger.



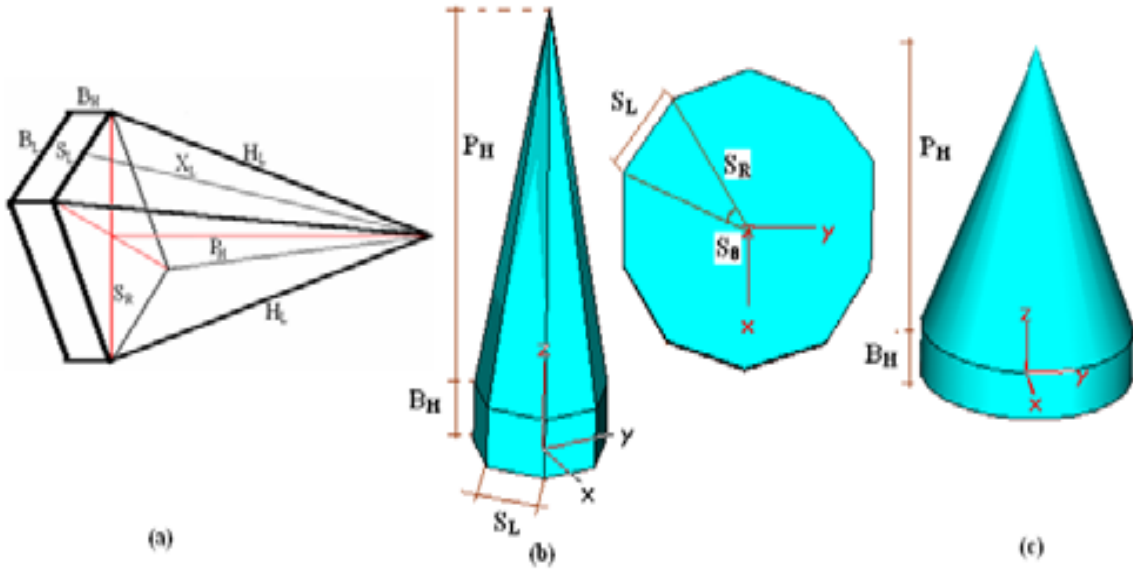
Şekil 16: Hibrid- Ferrit soğurucu.

Mevcut soğurucuların birçoğu, yansız oda maliyetleri göz önünde bulundurularak EMC frekans aralığı için optimize edilmiştir. Tablo 1' de, farklı bir absorbe edici yansız odada içerisinde 3 m ve 10 m mesafe uzaklığı için farklı mevcut soğurucuların soğurma performansları karşılaştırılmıştır.

Tablo 1: Soğurucu odasında EMC uygulamaları için farklı mevcut soğurucu türlerinin soğurma performansı karşılaştırılması [7].

Yarı Yansız Odanın mesafe ölçümü	10 m		3m	
	30–1000 MHz	1-18 GHz	30–1000 MHz	1-18 GHz
Soğurucu tipi				
Piramit içi boş soğurucu 2.5 m uzunluk	Çok iyi	Mükemmel	Çok iyi	Mükemmel
Piramidal soğurucu 2.5 m uzunluk	Çok iyi	Mükemmel	Çok iyi	Mükemmel
Hibrid soğurucu 0.75 m uzunluk	İyi	İyi	İyi	İyi
Hibrid soğurucu 0.3 m uzunluk	--	--	İyi	İyi
Hibrid melez soğurucu 0.75 m uzunluk	Tatmin edici	İyi		
Hibrid melez soğurucu 0.5 m uzunluk			Tatmin edici	İyi
Ferit	Verimsiz	Kullanılamaz halde	Tatmin edici	Kullanılamaz halde

Şekil 17' de çokgen piramit mikrodalga soğurucunun boyutunu ve açısını göstermektedir. Tüm şekiller sabit boyut poligon yüksekliği, taban yüksekliği ve yan yarıçapı olan tasarıma sahiptir. Her bir şekil için farklı boyutlara sahip olan parametre yan uzunluk ve yanal açıdır. Bu iki parametre, her şekil için kaç taraf olduğuna bağlı olarak değişir [9].



Şekil 17: Mikrodalga soğurucunun boyut ve açısı (a) silindir esaslı dört köşeli piramit (b) dikdörtgen piramit (c) koni [9].

EMC test ortamı için gerekli poliüretan soğurucularla ilgili bilgiler bu şekilde özetlenebilir. Bölüm 3.2’ de bu süngerlerin RF soğurma özelliklerini artırmak amacıyla yapılmış olan bilimsel çalışmalar özetlenmiştir.

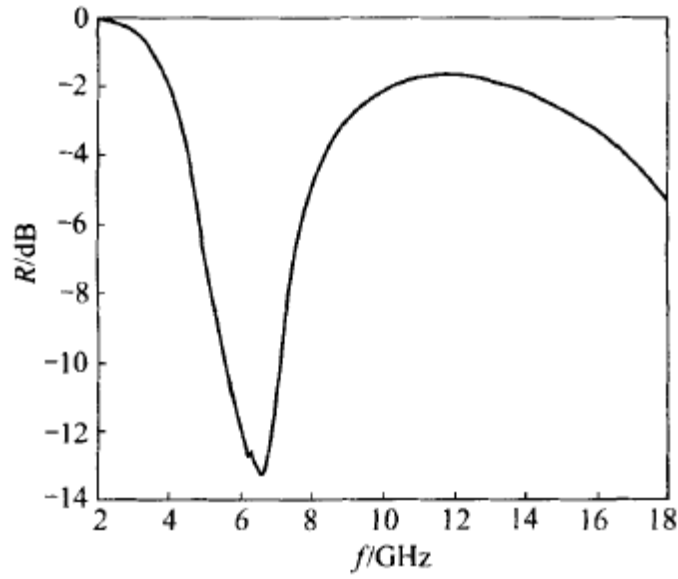
3.2 Poliüretan Soğurucu Sünger ile İlgili Bilimsel Araştırma

Piyasada ticari olarak kullanılan poliüretan soğurucular karbon siyahı emdirilerek (ekleyerek) oluşturulmaktadır. Nanobiliminin keşfedilmesi ve gelişmesiyle birlikte Radyo frekans soğurucu materyaller (RAM) üzerinde de nano boyutlarda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda Nano-yapılandırılmış Radyo frekans soğurucu materyaller(RAM), toplu ya da mikro boyutlu muadillerine kıyasla daha fazla RF absorbe etme özelliği göstermiştir.

- Nanokristal RAM
- Çekirdek kabuk nanokompozit RAM
- Nanoyapılı RAM'ler

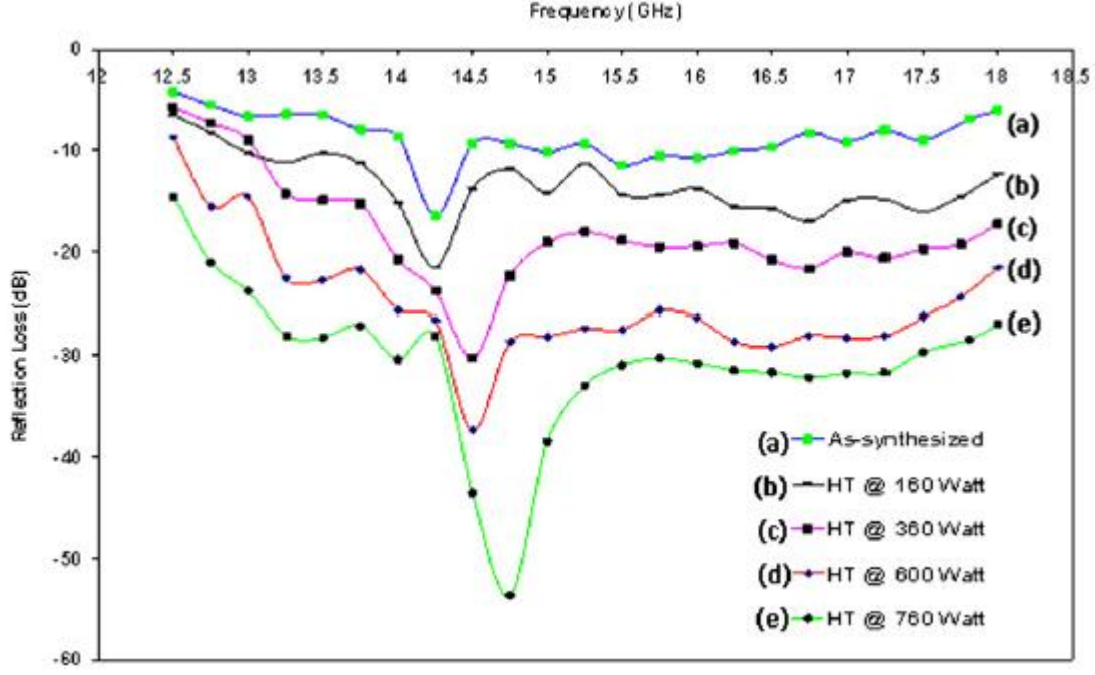
Nanokristal Radyo frekans soğurucu materyaller (RAM); Bu üretilen soğurucu (absorbe) nanokristallerdeki parçacık boyutuna bağlıdır. Yapılan çalışmalarda nanokristalin yüzey alanı ve sarkan bağ atom sayısına bağlı olarak zayıflama yeteneği ölçülmüştür.

2-18 GHz aralığında $\text{La}_{0.8}\text{Ba}_{0.2}\text{MnO}_3$ nano partikülleri (yaklaşık 80 nm), hem düşük hem de yüksek frekans bandında mikrodalga soğurma özelliği vardır. Düşük frekans bandındaki mikrodalga soğurma değeri, yüksek frekanstaki değerden daha büyüktür. 2,6 mm kalınlığındaki nano partikülün 6.7 GHz' de mikrodalga soğurması 13 dB' dir [10].



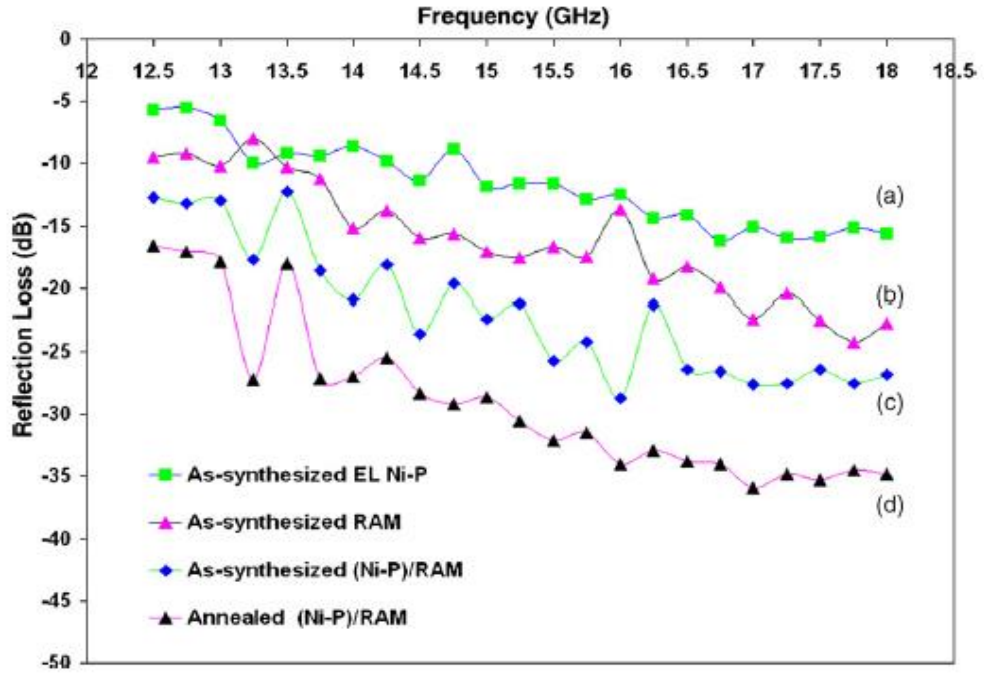
Şekil 18: $\text{La}_{0.8}\text{Ba}_{0.2}\text{MnO}_3$ yansıtma ve mikrodalga frekansı arasındaki ilişki [10]

Nanokristallerin morfolojisi ve büyüklüğü nanokristallerin mikrodalga yansıtma kaybında (RL) çok önemli rol oynamaktadır. 160 ila 760 watt arasında döngüsel mikrodalga ışınması altında sentezlenen nanokristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ RAM'ler için Ku bandında minimum ve maksimum frekanslarda sırasıyla -4.21 ila -14.45 dB ve -15.20 ila -53.69 dB yansım kaybı görülmüştür. Piramidal yüzeyin tamamıyla büyütülmüş nanokristallerin en yüksek RL (yansıtma kaybı) -53.69 dB' ye 14.75 GHz' de ulaşmıştır [11].



Şekil 19: Ku bantı altında RAM tozunun nano kristallerinin redüksiyon kaybı özellikleri, 12.4-18 GHz (a) 'as-sentez') ve (b) 160, (c) 360, (d) 600 ve (e) 760 [11].

Çekirdek-Kabuk Nanokompozit RAM'ler; Saf dielektrik veya manyetik malzemeler gelen ışının enerjisini soğurmak için yetersizdir. Bu sebeple uygun dielektrik ve manyetik özelliklere sahip çekirdek-kabuk nanokompozit soğurucular üretilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda Ku bandında (12.4-18 GHz) elektrolizsiz oluşturulan (Ni-P) / BaNi_{0.4}T_{0.4}Fe_{11.2}O₁₉ nanokompozit tozun yansımaya kaybı (RL), elektrolizsiz Ni-P nanoglobülleri ile karşılaştırılmış ve (Ni-P) / BaNi_{0.4}T_{0.4}Fe_{11.2}O₁₉ nanokompozit tozunun soğurmasının - 28.70 dB' ye çıktığı görülmüştür. Daha sonra (Ni-P) / BaNi_{0.4}T_{0.4}Fe_{11.2}O₁₉ nanokompozit tozunun 400 °C' de 4 saat süreyle tavlanmış ve ölçüm alınmıştır. Tavlanmış (Ni-P) / BaNi_{0.4}T_{0.4}Fe_{11.2}O₁₉ nanokompozit tozunun – 35,90 dB soğurma gerçekleştirmiştir [12].

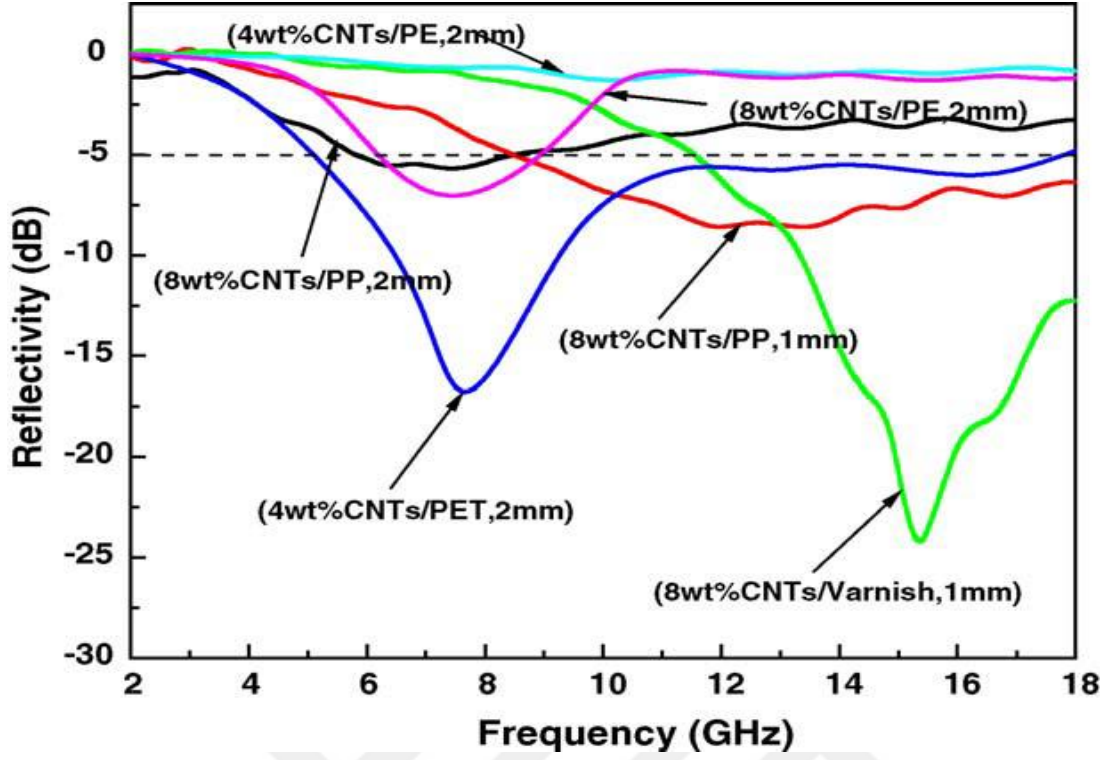


Şekil 20: Ku bandında (12.4-18 GHz) nano tozların mikrodalga soğurma özellikleri. (a) RAM, (b) EL Ni-P nanoglobulleri, (c) EL (Ni-P) / RAM ve (d) tavllanmış EL (Ni-P) / RAM [12].

Bir başka deneysel çalışmada; $MnFe_2O_4$, TiO_2 ile tamamen kaplandığında oluşan $MnFe_2O_4-TiO_2$ nano-kompozitleri, $MnFe_2O_4$ nano parçacıklarından ve süperiletken TiO_2 nano partiküllerine göre soğurmasında artış olduğu bildirilmiştir. $MnFe_2O_4$ ve $MnFe_2O_4-TiO_2$ kompozitlerinin 2-10 GHz mikrodalga frekans aralığında soğurma özellikleri karşılaştırılmış ve $MnFe_2O_4-TiO_2$ kompozitlerinin $MnFe_2O_4$ ' ye kıyasla daha iyi soğurma özelliği gösterdiği belirtilmiştir [13].

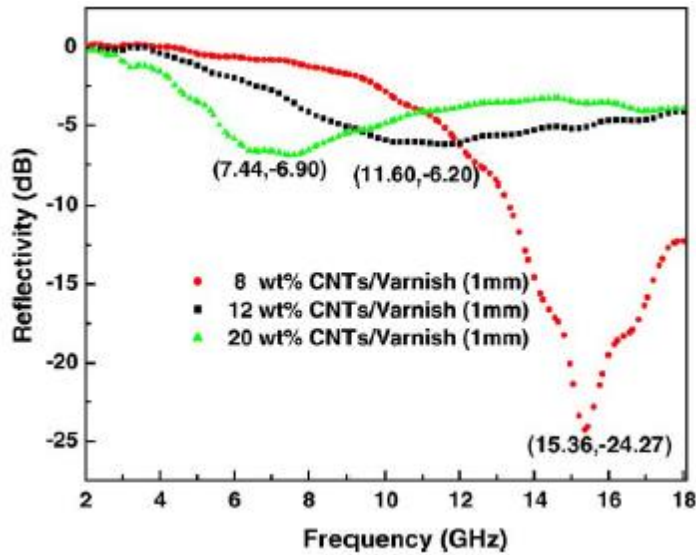
Nanoyapılı Karbon ve Polimer RAM Nano kompozitlerinde ise; İletken dolgu maddesi olarak karbon nano tüpleri (CNT'ler), hafifliği ve 1-18 GHz frekans aralığındaki yüksek absorpsiyon yapmasından dolayı üzerinde yoğun çalışmalar yapılmıştır [14].

Deneysel çalışmalarda CNT/polimer (PET, PP, PE ve vernik) kompozitten oluşturulan soğurucu süngerler, 5 GHz ve 18 GHz arasında maksimum -17.61 dB soğurma değerine ulaşmıştır [12].



Şekil 21: Farklı CNT/polimerin 2-18 GHz' de soğurma özellikleri (1 mm ve 2 mm, kompozitlerin kalınlığını temsil eder) [15].

Bir başka çalışmada CNT/vernük kompozitinin maksimum soğurma değeri - 24.27 dB' ye ulaşmıştır.



Şekil 22: CNT/vernüklerin 2-18 GHz' de soğurma özellikleri [15].

Sonuç olarak bahsetmiş olduğumuz bu üç soğurucu sünger ya da radyo soğurucu materyallerden, Nanokristal RAM'lara ait mikrodalga yansıma kaybı (RL) da çok önemli roller oynamaktadır ve kristalinite derecesi arttıkça, RL' de sistematik artış gözükmemektedir. Uygun dielektrik ve manyetik özelliklere sahip çekirdek-kabuk nanokompozit RAM'lerin manyetik-dielektrik zayıflatıcıları, sıfırdan farklı kompleks geçirgenlik nedeniyle yüksek verimliliğe sahiptir. CNT' lerin ve polimer RAM' lerin nano kompozitleri için, yansıma zirvesi pozisyonu daha düşük bir frekansta hareket eder ve kompozitlerin kayıp faktörleri artan CNT konsantrasyonları ile birlikte artar [15].

Bu bölümde yapılan literatür taramasında nano malzemeler kullanılarak oluşturulmuş bazı RF soğurucu materyallerin soğurma değerlerine ve bu materyalleri üretmek için ne tür kompozit malzemeler kullanıldığını özetlenmiştir. Ancak bu materyallerle RF soğurucu sünger elde edilmemiştir.

Bu tez kapsamında, hem hal-u hazırda kullanılan soğurucu süngerlerin soğurma özelliklerini daha da iyileştirmek hem de, literatürde sunulan pahalı ve meşakkatli kompozit malzemelere daha ekonomik ve kolay hazırlanabilen bir alternatif sunmak amacıyla grafen katkılı nanokompozit RF soğurucu süngerler üretilmiş ve bu süngerlerin RF soğurma özellikleri belirlenerek ticari süngerlerin özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR



Şekil 23: Grafen içerikli nano kompozit RF soğurucu süngerlerin üretimi ve RF soğurma özelliklerinin ölçümünde takip edilen yöntemin şematik gösterimi

Soğurucu sünger üretimi için deneysel olarak izlenen yolları Şekil 18’ de şematik olarak gösterildi. İlk olarak deneysel çalışmada kullanılan süngerler 6 mm kalınlığında ölçüm sistemine uygun boyutlarda kesildi. İkinci adımda grafenler ve karbon siyahları belirli ağırlıklarda hassas terazide ölçüldü. Üçüncü adımda belirli ağırlıklarda belirlenen grafen ve karbon siyahı numune kabına aseton ekleyerek karışım oluşturuldu. Oluşturulan karışımın içine 6 mm kalınlığındaki sünger atılıp yeteri kadar emmesi sağlandı ve daha sonra kurutuldu. Kurutma işlemi gerçekleştikten sonra süngerin boşluklarına tutunamayan grafen ve karbon siyahı el yardımı ile döküldü. Dördüncü ve son aşamada ise hazırlanan RF soğurucu sünger ölçüm sistemine yerleştirilip zayıflatma verileri alındı. Alınan veriler MATLAB’ hazırlanan programa girildi ve zayıflatma ölçümü grafiği alındı. Deneysel çalışmada bahsedilen adımlar bu bölümde geniş bir şekilde anlatılmıştır.

4.1 Poliüretan Süngerlerin Kesimi

Süngerin ana hammaddesi olan doğal latexin piyasadaki sünger talebini karşılayamaması neticesinde Alman bilim adamı Otto Bayer tarafından poliüretan sentezlenmiştir[16].

Poliüretan sünger üretiminde poliöl, izosiyanat ve su ana madde olarak kullanılır. Diizosiyanatın bir kısmı poliöl ile polimerleşirken, küçük bir kısmı da su ile reaksiyona girerek gözenekli poliüretan yapıyı meydana getirir. Bunlara ek olarak; spesifik özellikler elde etmek için, istendiğinde, boya ve alev geciktirici gibi katkı maddeleri de formülasyona ilave edilebilmektedir.

Süngerle ilgili iki önemli nicelik yoğunluk ve sertliktir. Poliüretan süngerin RF enerji soğurma kapasitesi, süngerin yoğunluğu ile doğru orantılıdır.

Bu tezin deneysel çalışmasında işlenmemiş (ham) esnek poliüretan süngerler kullanılmıştır. Bunun sebebi herhangi bir işlev kazandırmak amacıyla işlenmiş süngere (Akustik vb.) farklı bir amaç için tekrar müdahale edilemiyor olmasıdır. Tekrar müdahale edilemiyor olmasının sebebi işlenmiş süngerlerde hava geçirgenliğini sağlayan açık hücrelerin bulunmamasıdır. Temin edilen poliüretan süngerleri Network analizörüne adapte edebilmek için 5-6 mm kalınlığında yaklaşık olarak 26 mm uzunluğunda ve 10 parça olarak kesildi. Kesme işlemi sırasında

boyutlara azami derecede önem verildi. Kesilen 10 adet poliüretan süngerlerin her birinin ağırlığı yaklaşık olarak 25,5 miligram olarak ölçüldü.



Şekil 24: 5-6mm kalınlığında kesilmiş poliüretan soğurucu sünger örneği

4.2 Grafenin ve Karbon siyahının Ağırlıklarının Ölçümü

Hazırlanan 10 farklı numune için hassas terazi yardımı ile Nanografi firmasından temin edilen iki farklı grafen (3 nm ve 6 nm kalınlıklarında) ve EMC Test ve Kontrol Hizmetleri A.Ş firmasından temin edilen karbon siyahı önceden belirlenen miktarlarda Şekil 19 ve Şekil 20’ de görüldüğü gibi hassas terazi yardımı ile ölçülerek hazırlandı.

İlk deneysel çalışmada kullanmak için;

- 300 miligram 3 nanometrelik grafen
- 300 miligram karbon siyahı

İkinci deneysel çalışmada kullanmak için;

- 340 miligram 3 ve 6 nanometre grafen
- 340 miligram karbon siyahı

Üçüncü deneysel çalışmada kullanmak için;

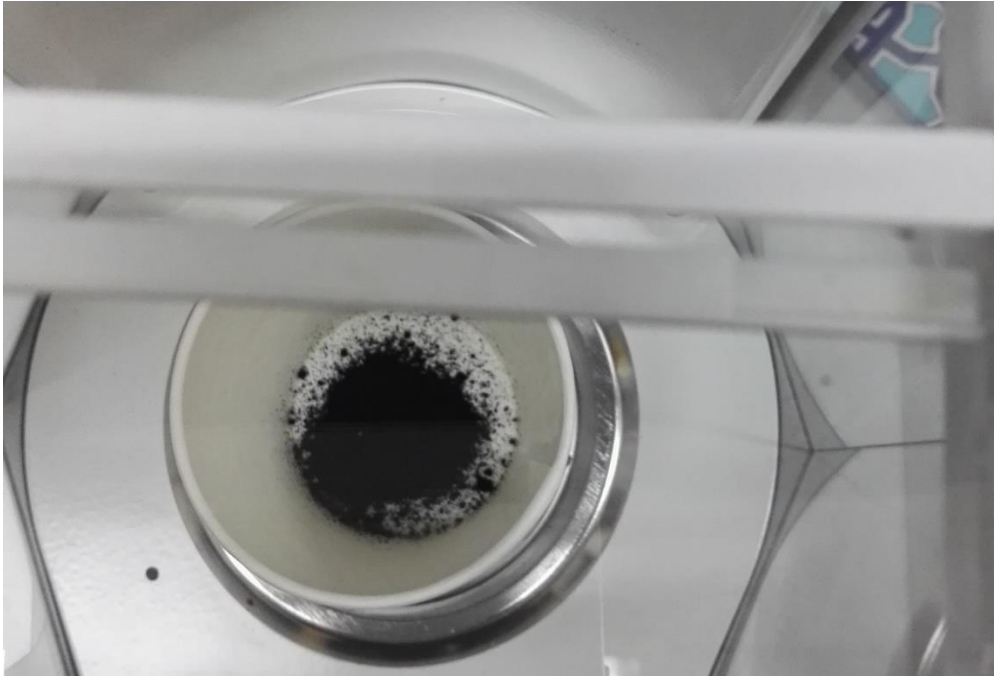
- 150 miligram 3 nanometrelik grafen
- 150 miligram 6 nanometrelik grafen ve
- 150 miligram Karbon siyahı

Dördüncü ve son deneysel çalışmada kullanmak için;

- 200 miligram 3 nanometrelik grafen
- 200 miligram 6 nanometrelik grafen ve
- 200 miligram karbon siyahı ölçülerek kullanıma hazır hale getirildi.



Şekil 25: 3nm' lik grafen gram ölçümü (Ölçüm için örnek)



Şekil 26: 3 nm' lik grafen ölçümünün kap içinde görünümü

4.3 Belirli Ağırlıklarda Hazırlanan Grafenin ve Karbon Siyahının Süngere Eklenmesi

Ağırlığı ölçülmüş olan grafen ve karbon siyahının süngere eklenmesi sürecinde izlenmiş olan yöntem emdirme yöntemidir. Emdirme yöntemi birkaç aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak numune kabının içine grafen ve karbon siyahının konulur ve daha sonra belirlenmiş kimyasal ile karıştırılır. Numune kabı içinde homojen karışım elde edilir. İkinci olarak bu karışımın içine kesilen sünger konularak çubuk veya el yardımı ile sünger doygunluk derecesine ulaşana kadar emdirilir.

Her bir deneysel çalışmada yapılan aşamalar aşağıda detaylandırılmıştır.

Birinci deneysel çalışmada ilk olarak hazırlanan 300 miligram 3 nanometrelik grafen ve 300 miligramlık karbon siyahı su ile karıştırılıp poliüretan süngere emdirildi. Deneysel çalışmadaki üretim sürecinde su kullanılmasının iki ana nedeni vardır. Birinci nedeni suyun kimyasal sıvılardan daha ucuz olması, ikinci nedeni ise sağlık açısından kimyasal sıvılara göre tehlikesiz olmasıdır.

İlk olarak 300 miligramlık grafen numune kabına konulup su ile karıştırıldı. Oluşturulan karışımın içine poliüretan sünger yerleştirilip yeteri kadar emdirildi. Daha sonra kurumak için dışarı çıkarıldı ve saç kurutma makinası ile kurutuldu.

Kurutulan poliüretan süngerin boşluklarına tutunamamış olan grafen el ile sıkılarak süngerden ayrılması sağlandı. Bu işlemden sonra RF soğurucu süngerin soğurma değerini bulmak için ağ analizörü cihazı ile ölçüm alındı. Ölçüm sonuçları bölüm 4.4’te verilmiştir.

Karbon siyahı ise su ile karışmadığı için deney gerçekleştirilemedi.



Şekil 27: Saç kurutma makinasıyla kurutma işlemi



Şekil 28: 6 nm' lik grafen- su karışımı örneği

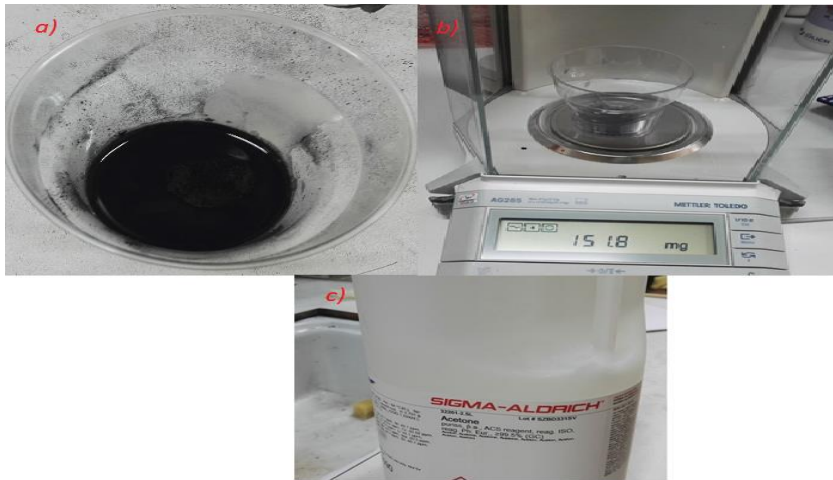
İkinci deneysel çalışmada; hazırlanan 340 miligram grafenler (3 nm ve 6 nm' lik) ve 340 miligramlık karbon siyahı numune kabına konuldu. Bundan sonraki tüm deneysel çalışmalarda karışım oluşturmak için aseton kullanıldı.

Deneysel çalışmada aseton kullanılmasının sebebi, organik olması ve çözücü özelliğe sahip olmasıdır [16]. Petrol ürünü olan aseton, karbon bazlı ürünleri çözmek için yaygın olarak kullanılan kimyasaldır. Tezde üretmek istediğimiz poliüretan soğurucu sünger için kullanılan grafen karbon bazlı olduğu için aseton kullanıldı.

340 miligram numune kabı içine konulan grafen ve karbon siyahına aseton eklendi ve bir sıvı karışım oluşturuldu. Hazırlanan (6 mm kalınlığında) poliüretan sünger grafen-aseton ve karbon siyahı-aseton karışımlarının içine atıldı. Daha sonra emdirme yöntemi kullanılarak poliüretan süngerin oluşturulan karışımı emmesi sağlandı.

Sonraki işlemde emdirilen poliüretan sünger numune kabından çıkartıldı ve kuruması için oda sıcaklığında bekletildi. Kurutmak için ısıtıcı kullanılmamasının sebebi asetonun uçucu olması ve hızlı bir şekilde kuruyabilmesidir. Son aşamada poliüretan süngere tutunamayan grafen ve karbon siyahının süngerden ayrılması sağlandı ve ağ analizörü cihazı ile ölçüm alındı. Ölçüm sonuçları bölüm 4.4' te verilmiştir.

Üçüncü deneysel çalışmada ise; 150 miligram grafenler (3 nm ve 6 nm' lik) ve 150 miligramlık karbon siyahının bulunduğu numune kaplarına aseton eklenip 3 nanometrelik grafen-aseton, 6 nanometrelik grafen-aseton ve karbon siyahı-aseton karışımları oluşturuldu. Hazırlanan (6 mm kalınlığında) poliüretan süngerler oluşturulan karışımların içine atıldı. Daha sonra emdirme yöntemi kullanılarak poliüretan süngerin oluşturulan karışımı emmesi sağlandı. Sonraki adımda oluşturulan poliüretan süngerler oda sıcaklığında bekletildi. Hazırlamış olduğumuz üç numune içinde poliüretan süngere tutunamayan grafenler ve karbon siyahının dökülmesi işlem yapıldı ve ağ analizörü cihazı ile soğurma özellikleri belirlendi. Ölçüm sonuçları bölüm 4.4' te verilmiştir.



Şekil 29: a) Karbon siyahı-aseton karışımı örneği b) Karbon siyahı gram ölçümü örneği c) Aseton

Son deneysel çalışmada ise; 300 miligram (3 nm ve 6 nm) grafen ve aynı miktarda karbon siyahının bulunduğu numune kabına epoksi boya eklenip 6 nm epoksi-grafen, 3 nm epoksi-grafen ve epoksi-karbon siyahı karışımları oluşturuldu. Sonraki süreçte, oluşturulan karışımların bulunduğu kaba poliüretan sünger konuldu ve yeteri kadar emdirildi. Daha sonra oda sıcaklığında bekletildi. Kuruyan epoksi-grafen ve epoksi-karbon siyahı sünger numuneleri sertleştiği için dökme işlemi gerçekleştirilemedi ve RF soğurma özellikleri belirlendi. Ölçüm sonuçları bölüm 4.4' te verilmiştir.



Şekil 30: Epoksi boya- grafen karışımı örneği

4.4 Hazırlanmış Soğurucu Süngerin Soğurmasının Ölçülmesi

4.4.1 Yansıma Kaybı (RL) Formülleri

İki ortam arasındaki (örneğin, hava ve metal kalkan) yansıma kaybı, bir empedansın uyumsuzluk kaybı olarak düşünülebilir ve dalga empedansın bir kalkanın yalın empedansına oranıdır. Düzlem dalgaları için, dalga empedansı yayılım ortamının karakteristik empedansına eşittir. Serbest alanın karakteristik empedansı (Gooch, J., vd. 2007);

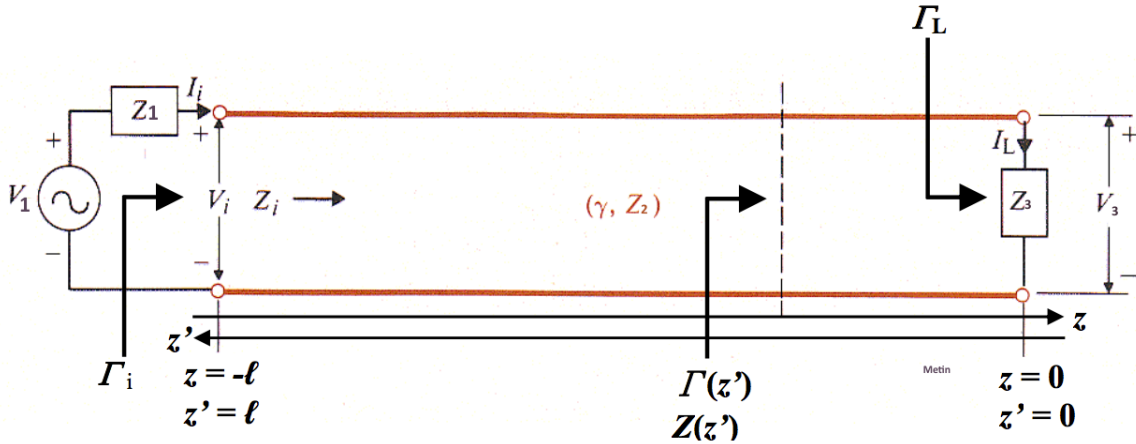
$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$$

Denklem 3

Burada, μ_0 serbest alanın manyetik geçirgenliği ($4\pi 10^{-7} H/m$) ve ϵ_0 ise serbest alanın dielektrik ($8.854 \cdot 10^{-12} F/M$) sabitidir. Böylece dalga empedansı (örneğin, elektrik alan kuvvetinin manyetik alan kuvvetine oranı) serbest alandaki düzlem dalgalarının yayılması için de 377Ω . Empedans uyumsuzluğundan ötürü, gelen dalgaların büyük kısmı yansırken bir kısmı iletilmektedir. Hat empedansı (Z_2) ve yük empedansına (Z_3) sahip bir sonlu iletim hattı Şekil 31' de verilmiştir. Şekilde hat uzunluğu $l(d)$, voltaj kaynağı V_1 ve kaynak empedans da Z_1 olarak gösterilmiştir. Bu durumda;

$$Z_3 = \left(\frac{V}{I}\right)_{z=d} = \frac{V_3}{I_3}$$

Denklem 4



Şekil 31: ZL ile sonlandırılmış sonlu iletim hattı

Burada, V_2^+ , V_2^- , I_2^+ ve I_2^- gibi dört bilinmeyen vardır. Bunlar $z = 0$ ve $z = d$ olarak sınırlandırılmıştır. $z = d$ durumunda;

$$V_3 = V_2^+ e^{\gamma_2 d} + V_2^- e^{\gamma_2 d}$$

Denklem 5

$$L_3 = \frac{V_2^+}{Z_2} e^{-\gamma_2 d} - \frac{V_2^-}{Z_2} e^{\gamma_2 d}$$

Denklem 6

Denklem 5 ve Denklem 6 eşitlikleri çözümlendiği zaman;

$$V_2^+ = \frac{1}{2}(V_3 + I_3 Z_2) e^{\gamma_2 d}$$

Denklem 7

$$V_2^- = \frac{1}{2}(V_3 - I_3 Z_2) e^{-\gamma_2 d}$$

Denklem 8

$$V_2(z) = \frac{I_3}{2} [(Z_3 + Z_2) e^{\gamma_2(d-z)} + (Z_3 - Z_2) e^{-\gamma_2(d-z)}]$$

Denklem 9

$$I_2(z) = \frac{I_3}{2Z_2} [(Z_3 + Z_2) e^{\gamma_2(d-z)} - (Z_3 - Z_2) e^{-\gamma_2(d-z)}]$$

Denklem 10

Bir z noktasında yükten o noktaya olan mesafe d-z olarak tanımlanır. Bu durumda d-z = z' olarak tanımlansın.

$$V_2(z') = \frac{I_3}{2} [(Z_3 + Z_2) e^{\gamma_2 z'} + (Z_3 - Z_2) e^{-\gamma_2 z'}]$$

Denklem 11

$$I_2(z') = \frac{I_3}{2Z_2} [(Z_3 + Z_2)e^{\gamma_2 z'} - (Z_3 - Z_2)e^{-\gamma_2 z'}] \quad \text{Denklem 12}$$

Yukarıdaki eşitlikleri basitleştirmek amacıyla hiperbolik fonksiyon kullanıldığında, $e^{\gamma_2 z'} + e^{-\gamma_2 z'} = 2\cosh \gamma_2 z'$ ve $e^{\gamma_2 z'} - e^{-\gamma_2 z'} = 2\sinh \gamma_2 z'$, olarak yazılabilir. Buradan;

$$V_2(z') = I_3(Z_3 \cosh \gamma_2 z' + Z_2 \sinh \gamma_2 z') \quad \text{Denklem 13}$$

$$I_2(z') = \frac{I_3}{2Z_2} (Z_3 \sinh \gamma_2 z' + Z_2 \cosh \gamma_2 z') \quad \text{Denklem 14}$$

Bir z' mesafesinde, yükten iletim hattına doğru bakıldığında $V_2(z')/I_2(z')$ oranı empedansı verir ve şu şekilde yazılır;

$$Z_2(z') = Z_2 \frac{Z_3 \cosh \gamma_2 z' + Z_2 \sinh \gamma_2 z'}{Z_3 \sinh \gamma_2 z' + Z_2 \cosh \gamma_2 z'} \quad \text{Denklem 15}$$

$z' = d$ durumunda giriş empedansı ($Z_{2(\text{in})}$);

$$Z_{2(\text{in})} = Z_2 \frac{Z_3 + Z_2 \tanh \gamma_2 z'}{Z_2 + Z_3 \tanh \gamma_2 z'} \quad \text{Denklem 16}$$

$$Z_2 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \sqrt{\frac{\mu_{r2}}{\epsilon_{r2}}} \text{ burada } \epsilon_{r2} = \frac{\epsilon' - i\epsilon''}{\epsilon_0} \text{ ve } \mu_{r2} = \frac{\mu' - i\mu''}{\mu_0} \quad \underline{\text{Denklem 17}}$$

$$\gamma = jk_0 k_{r2} \quad \underline{\text{Denklem 18}}$$

$$k_0 = \frac{2\pi f}{c} \text{ ve } k_{r2} = \sqrt{\mu_{r2} \epsilon_{r2}} \quad \underline{\text{Denklem 19}}$$

Burada; f: frekans, c: dalga hızını belirtmektedir.

Bu durumda ($z' = d$) noktasında kaynak empedansının (Z_1) göreceği sonlandırma empedansı Z_3' ün taşınmış hali olan $Z_{2(in)}$, ile elde edilmiş oldu. Hattın girişinde, ($z' = d$) noktasında (Z_1 ve $Z_{2(in)}$) empedanslarından dolayı bir süreksizlik mevcuttur ve yansıma ortaya çıkacaktır. Dolayısıyla bu noktadaki yansıma katsayısı, (S_{11}),

$$S_{11} = \frac{Z_{2(in)} - Z_1}{Z_{2(in)} + Z_1} \quad \underline{\text{Denklem 20}}$$

olarak elde edilir. Burada Z_1 girişteki empedans olup,

$Z_1 = Z_0$ (karakteristik empedans, $Z_0 = 377\text{Ohm}$) durumunda;

$$S_{11} = \frac{Z_{2(in)} - Z_0}{Z_{2(in)} + Z_0} \quad \underline{\text{Denklem 21}}$$

Genel bir transmisyon hattındaki üç adet empedans değeri kullanılarak (Z_3 , Z_2 , ve Z_1) bu eşitlik elde edilmiş oldu. Elde edilen bu eşitlik en genel duruma aittir. Bunun özel durumları için şu değerlendirilmeler yapılabilir.

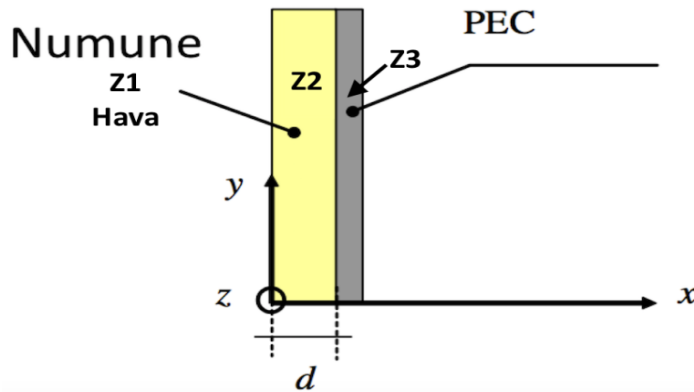
1. Sonlandırma empedansı, Z_3 , eğer kısa devreye eşit olan 0 değerine sahip ise bu noktada tam yansıma olacak ve $z' = d$ noktasına kadar hattın uzunluğu boyunca Z_2 empedansı ile taşınarak giriş empedansı olan Z_1 değeri ile karşılaşacak ve bu noktada S_{11} olarak ölçülecektir. Ölçülecek olan bu değer, kısa devre sonlandırma durumunda hattın sonundaki yansıma değerinin ne kadar zayıflatıldığını ifade eden bir değerdir ve yansıtma kaybı (R_L) olarak tarif edilir. Bu durumda numunenin arkasında bir mükemmel elektriksel iletken metal (PEC) olduğu kabul edilir (Şekil 26) ve $Z_3 = 0$ olarak alınır. Yansıma kaybı (dB) cinsinden,

$$R_L(\text{dB}) = 20 \log [S_{11}]$$

Denklem 22

olarak elde edilir.

2. İletim hattındaki 3. Ortam da hava ortamı olarak kabul edilirse $Z_3 = Z_0$ olur. Sonlandırma değeri kısa devre değil de kaynak direnci ile aynı olursa bu durumda hat empedansı nedeniyle oluşan yansıtma katsayısı elde edilmiş olur.



Şekil 32: Radar zayıflatıcı bir tek katmanlı panelin enine kesitine ait şematik gösterim

Bir iletim/yansımaya metodunda, numune dalga kılavuzu veya koaksiyel gibi iletim hattına yerleştirilir. Numunenin dielektrik (permittivity) ve manyetik (permeability) geçirgenlikleri ile ilgili eşitlikler kullanılarak malzemenin elektromanyetik özellikleri tespit edilmiş olunur (Chen, L., 2004). Bir numunenin dalga geçirgenliği boş alanda yansımaya ve/veya iletim katsayısına bağlı olarak ölçülür. Bu metotlar genelde numunenin kalınlık değeri ve dalga frekansları ile değişim göstermektedir. Geçirimsizlik ve yansımaya verimsizlikleri artan frekans değerleri ile daha net ve yüksek değerlere erişmektedir (Dawei Hu, 2010).

4.4.2 Ağ (Network) analizörü

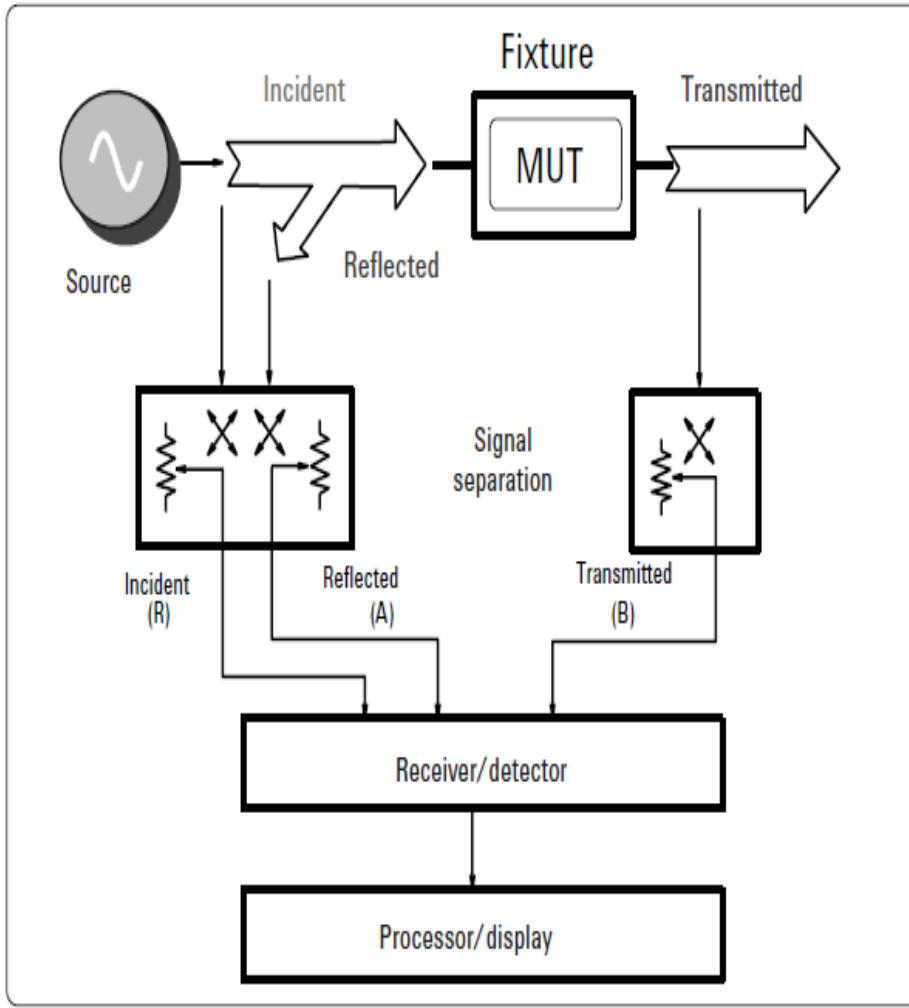
Poliüretan süngerle oluşturulan Soğurucu süngerlerin soğurmasını ölçmek için Ağ (Network) analizörü kullanıldı.

Ağ (Network) analizörleri bir malzemeye gönderilen elektriksel işaretin malzemedeki yansımalarını ve geçirgenliğini karakterize etmeyi sağlar. (Şekil 26).

Bir vektör ağ analiz cihazı üç bileşenden oluşur:

- İşaret kaynağı,
- Alıcı
- Ekran

Kaynak, test edilen malzemeye tek bir frekansta bir işaret gönderir. Alıcı, yansıyan ve iletilen işaretleri tespit etmek için belirlenen frekansa ayarlanır. Bu frekansta genlik ve fazı ölçer ve kaynak bir sonraki frekansta işaret üretir. Böylece belirlenmiş frekanslar arasında bir tarama yapar [17].



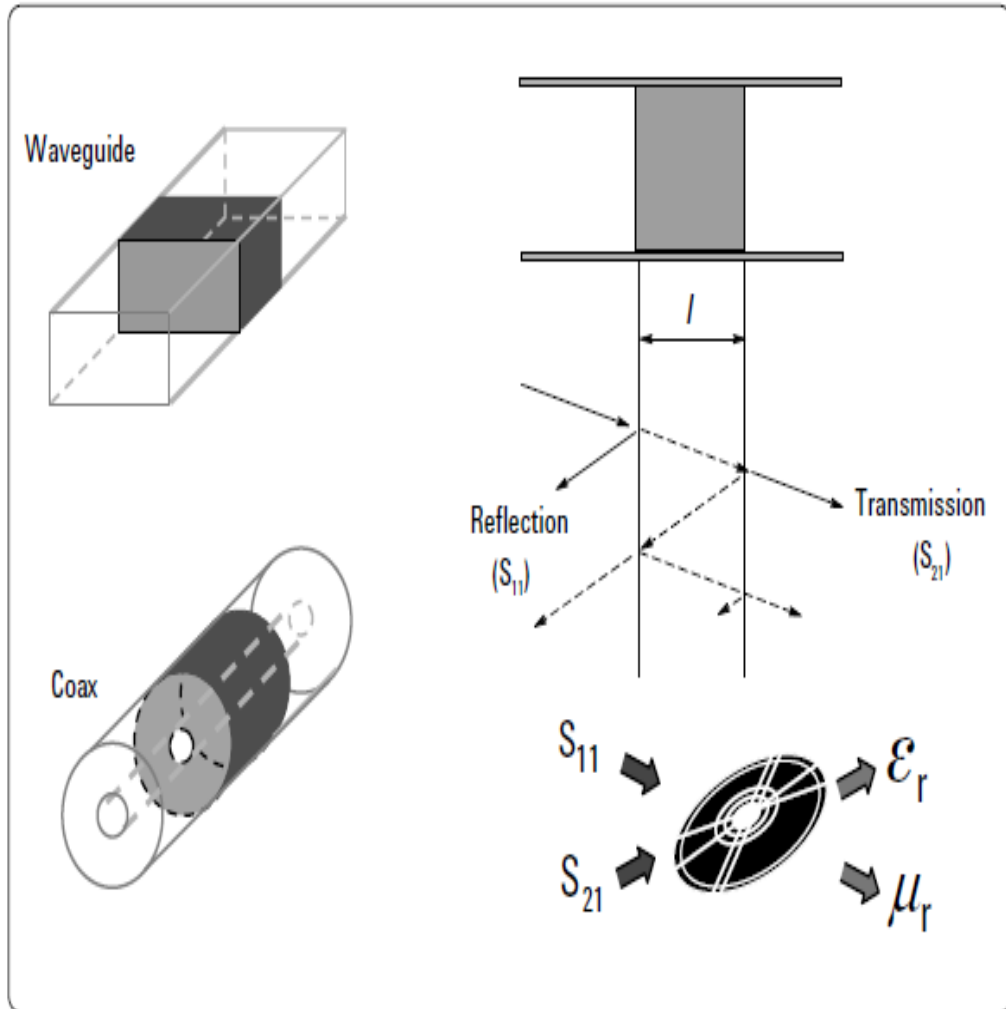
Şekil 33: Analizörün şematiği [17].

Empedans analizörleri ve LCR ölçüm cihazları, malzemelerin genelde kHz-GHz mertebelerindeki özelliklerini ölçmek için kullanılır. Malzeme alternatif akım (AC) gerilim kaynağı ile uyarılarak materyal üzerindeki gerilim izlenir. Malzemenin parametreleri, malzemenin boyutlarının bilinmesi, kapasitans ve dağılım faktörünün ölçülmesiyle elde edilir.

Ölçüm cihazları genelde ham veri olarak sonuç verdiğinden, ölçülen verileri permitivite veya geçirgenlik cinsinden değerlere dönüştürmek için yazılım veya hesaplama gerekir.

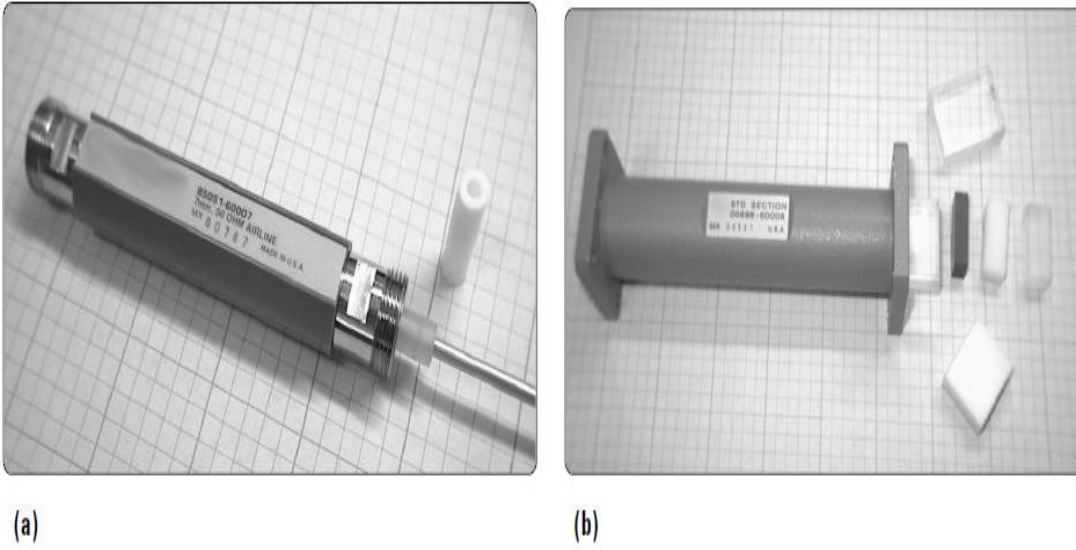
Malzemelerin dielektrik özelliklerini tespit etmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar başlıca koaksiyel prob, iletim hattı, serbest uzay, rezonans boşluğu ve paralel tabaka olarak sayılabilir [17].

İletim hattı yöntemi koaksiyel ve dikdörtgen dalga kılavuzu olmak üzere iki çeşittir. (Şekil 34). Bu çalışmada dikdörtgen dalga kılavuzu iletim hattı yöntemi kullanılmıştır. İletim hattı yöntemlerinde, malzeme kapalı bir iletim hattının bir kısmına yerleştirilir. Burada hat dikdörtgen dalga kılavuzunun bir kesiti veya koaksiyel hattır. ϵ_r ve μ_r yansıyan işaretin (S_{11}) ve iletilen işaretin (S_{21}) ölçümlerinden hesaplanır [17].



Şekil 34: İletim hattı yöntemi; dalga kılavuzu ve koaksiyel hat durumu [17].

Koaksiyel iletim hatları geniş bir frekans aralığını kapsar (Şekil 35 (a)). Dalga kılavuzu fikstürleri milimetre dalga frekanslarına kadar uzanır ve frekans kapsamı belirli bir banttadır (Şekil 35 (b)). Bir iletim hattı tekniği kullanan tipik bir ölçüm sistemi, vektör ağ analizörü, bir koaksiyel havayolu veya dalga kılavuzu kesiti bölümünden oluşur. Ayrıca ölçülen verileri ϵ_{r2} ve μ_{r2} ' ye dönüştürmek gerektiği için cihaza uygun bir yazılım gerekebilmektedir [18].



Şekil 35: (a) Örneklerle koaksiyel 7 mm hava hattı ve (b) X-bandı dalga kılavuzu düz bölüm örnekleri ile [17].

Agilent doğrulama kitlerinden kullanılarak kalibrasyon yapılır ve gelen 50 Ohm hava yolu önerilen koaksiyel numune tutucudur (Şekil 35 (a)) . Kullandığımız kalibrasyon kiti 11644A kodlu kalibrasyon kitidir ve bir dalga kılavuzu numune tutucusu için önerilen hassas bir dalga kılavuzu bölümünü içerir (Şekil 35 (b))[17].

4.4.3 Ölçüm sonuçları ve MATLAB programı

Ölçümler, Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) Fizik laboratuvarında Network analizörü yardımı ile alındı.

DeneySEL çalışmada Network analizöründen alınan veriler MATLAB programında hazırlanan soğurma ölçüm formüllerini kısmına eklenir. Hazırlanan RF soğurucu

süngerin soğurma dB' si 3,6 ve 10 mm kalınlığına göre hesaplandı ve grafikte gösterildi.

MATLAB programında kullanılan ölçüm formüllerinin ve bu formüllerin MATLAB programına işlenmiş kodları şu şekildedir:

```
% *****  
% İLK AYARLAR  
% *****  
clf;  
clear all;  
c=3e8;  
n=1601;  
e0=1/(36*pi)*1e-9;  
% *****  
% *****  
% DOSYA OKUMA VE DÜZENLEME  
% *****  
% *****  
  
str='GR107M0E';  
d=3e-3;  
B=eprnoku(str, "");  
f=B(:,1);fghz=f/1e9;  
  
Z0=50;%serbest uzaya ait ortam empedansı  
Z1=Z0;%dalganın geldiği birinci ortamın empedansı  
Z3=0;%d kalınlığının arkasındaki 3. ortamın empedansı: Eğer metal ise Z3=0 denilmeli;  
k0=2*pi.*f/c;%havanın propagasyon sabiti
```

```
% *****
*****
```

%ÖLÇÜLEN EPSILON ve MU PARAMETRELERİ DÜZENLEME

```
% *****
*****
```

```
erm=complex(B(:,2),-1*B(:,3));% 23 EKİM 2017 MARGEM -j HATIRLADIK
urm=complex(B(:,4),-1*B(:,5));
```

```
% *****
*****
```

% YANSITMA SOĞURMASI HESABI

```
% *****
*****
```

$Z_r = \sqrt{\text{urm./erm}}$; % malzemenin izafi empedansı

$Z_2 = Z_0 \cdot Z_r$;

$k_r = \sqrt{\text{urm.} \cdot \text{erm}}$; % malzemenin izafi propagasyon sabiti

$k_2 = k_0 \cdot k_r$;

$k_{2d} = k_2 \cdot d$;

$t_h = \tanh(j \cdot k_{2d})$; % tanh hiperbolik tanımı: $\tanh(k_0 \cdot k_r \cdot d)$

$\text{prop} = j \cdot k_2$;

$\text{py} = Z_3 + Z_2 \cdot t_h$; % Z_{in} değerinin pay terimi

$\text{pyda} = Z_2 + Z_3 \cdot t_h$; % Z_{in} değerinin payda terimi

$Z_{in} = Z_2 \cdot \text{py} / \text{pyda}$; % Z_{in} değerinin kompleks hali

$R = (Z_{in} - Z_1) / (Z_{in} + Z_1)$; % S11 portundaki toplam yansıtmanın kompleks hali

$T = 1 + R$;

$RL = 20 \cdot \log_{10}(\text{abs}(R))$; % Logaritmik hali

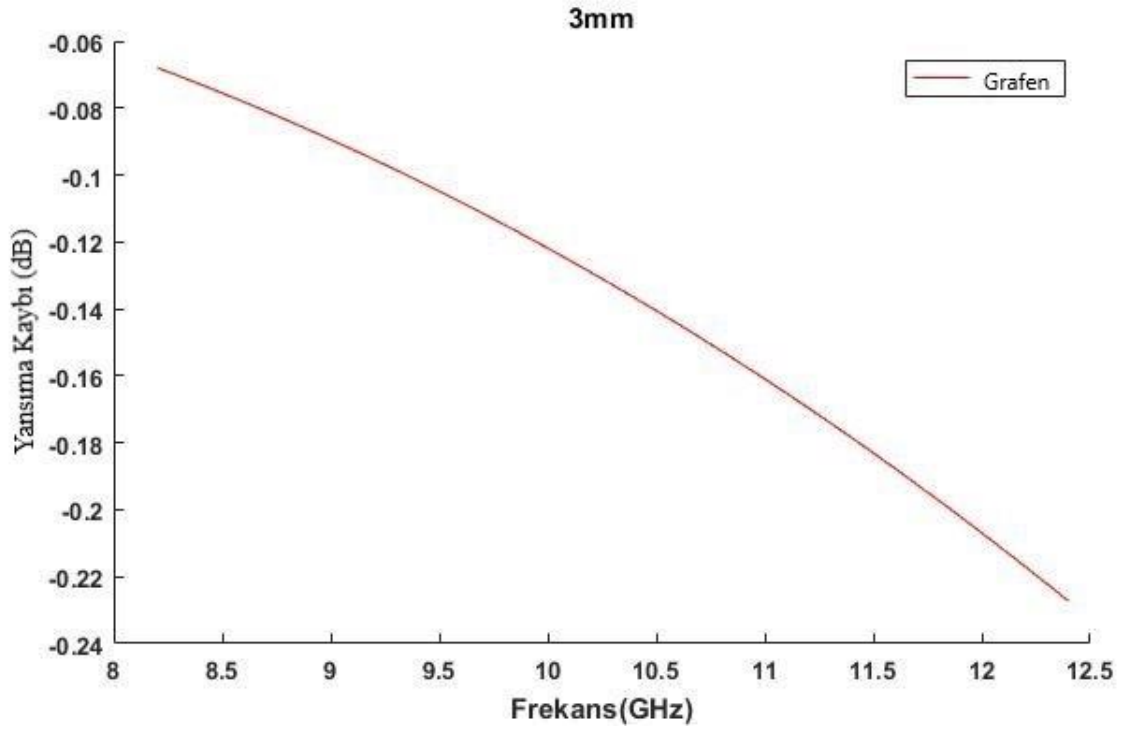
```
% *****
*****
```

% GRAFIK DÜZENLEME

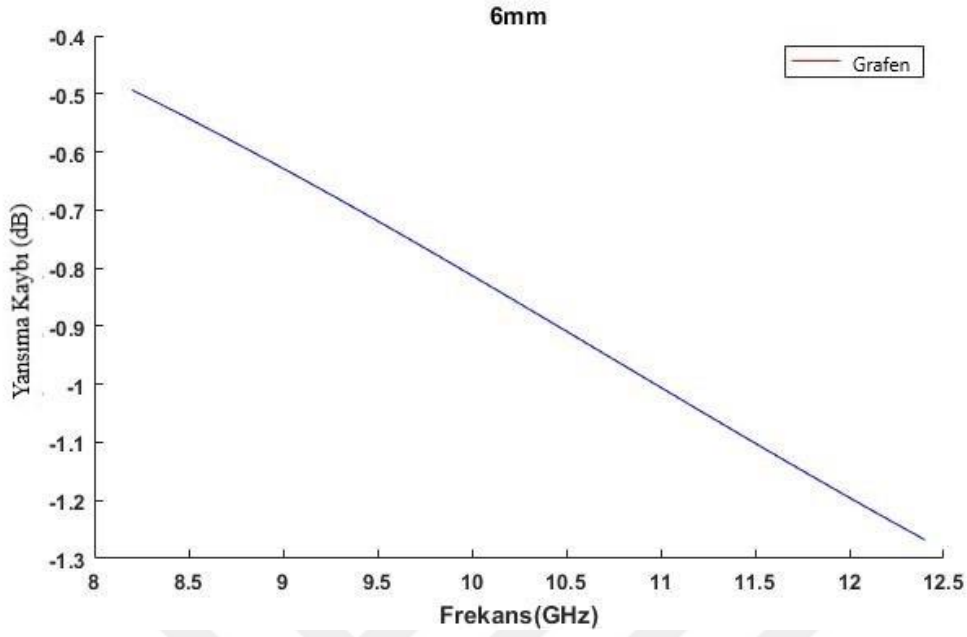
```
% *****  
*****
```

```
xlabel('f, GHz');  
plot(f/1e9,RL,'r');  
title(str);  
xlabel('Frekans(GHz)')  
ylabel('Return Loss')
```

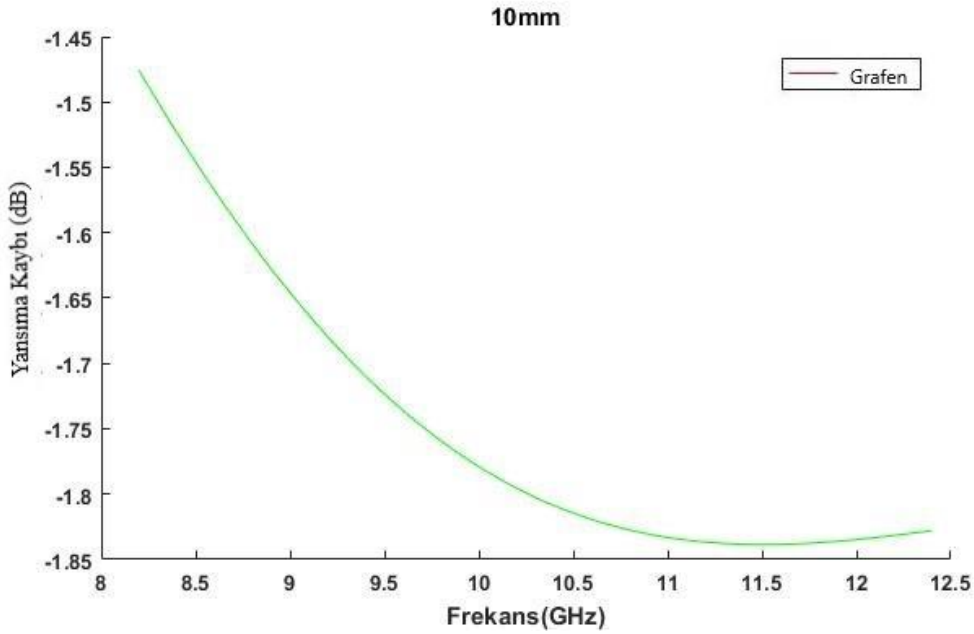
İlk deneysel çalışmada almış olduğumuz ölçümün 3 mm, 6 mm ve 10 mm kalınlığında vereceği soğurma değerlerinin grafikte gösterimi,



Şekil 36: 3 mm kalınlığında 3 nm grafen' den oluşan süngerin soğurması



Şekil 37: 6 mm kalınlığında 3 nm grafen' den oluşan süngerin soğurması



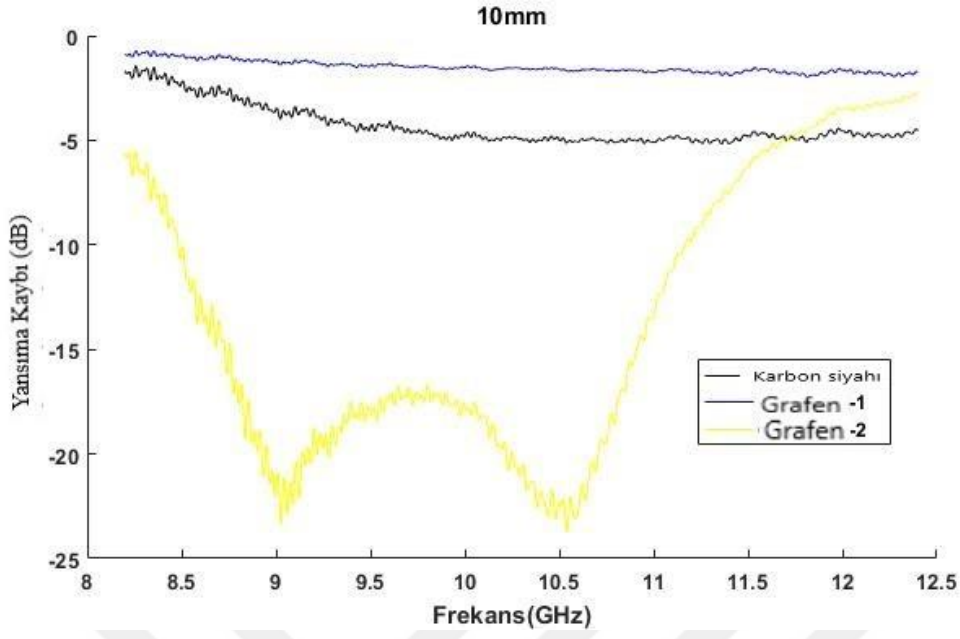
Şekil 38: 10 mm kalınlığında 3 nm grafen' den oluşan süngerin soğurması

İlk deneysel çalışmada yukarıdaki bölümde de bahsedildiği gibi 3 nm grafen- su karışımı beklenen değeri vermedi. Yaklaşık olarak 1.5 dB soğurma değeri görüldü. Deneysel çalışmanın sonucunda su- grafen karışımının süngerde tutunamadığını gözlemlendi.

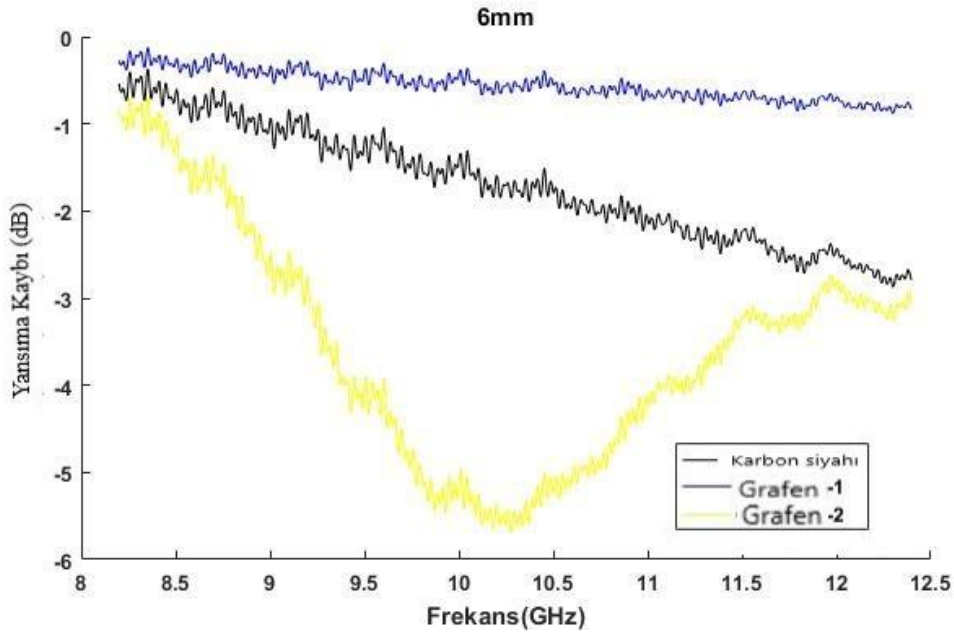


Şekil 39: Oluşturulan 3 nm poliüretan soğurucu sünger

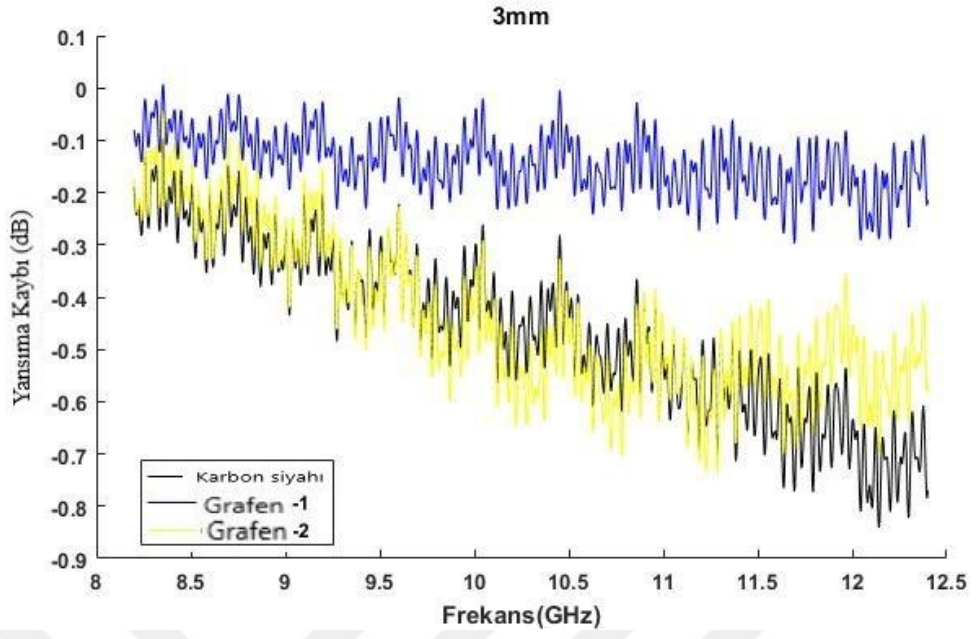
İkinci deneysel çalışmada, 340 miligram 6 nanometre grafen – aseton, 3 nanometre grafen – aseton ve karbon siyahı- aseton karışımı ile elde edilen soğurucu süngerin soğurma ölçümlerini 3 mm, 6 mm ve 10 mm kalınlığında hesaplandı. Özellikle 10 mm kalınlığında teorik olarak hesaplamada 6 nanometre grafen –aseton karışımından oluşan poliüretan soğurucu süngerin yaklaşık 25 dB soğurma gerçekleştirdiğini ve 10 mm kalınlıkta karbon siyahı- aseton karışımından oluşturulan soğurucu süngerden 20 dB daha fazla soğurma yaptığı gözlemlendi (Şekil 40).



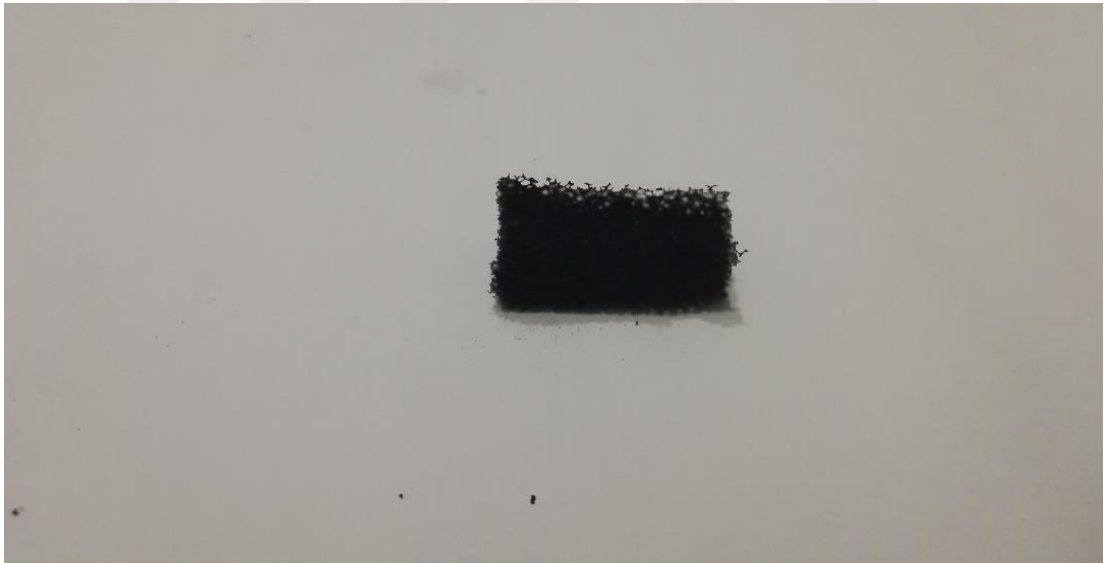
Şekil 40: 340 miligram 10 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Karbon siyahı; karbon siyahı- aseton, Grafen-1; 3 nm' lik grafen- aseton Grafen-2; 6 nm ' lik grafen- aseton)



Şekil 41: 340 miligram 6 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Karbon siyahı; karbon siyahı- aseton, Grafen-1; 3 nm' lik grafen- aseton Grafen-2; 6 nm ' lik grafen- aseton)



Şekil 42: 340 miligram 3 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Karbon siyahı; karbon siyahı- aseton, Grafen-1; 3 nm' lik grafen- aseton Grafen-2; 6 nm' lik grafen- aseton)



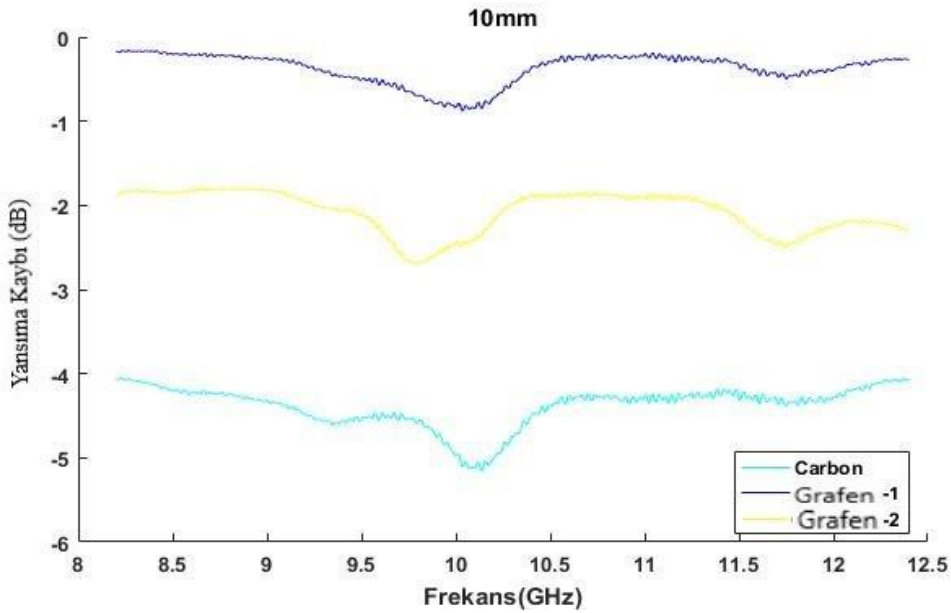
Şekil 43: 340 mg karbon siyahı (grafit) soğurucu sünger



Şekil 44: 340 mg 6 nm' lik grafen soğurucu sünger

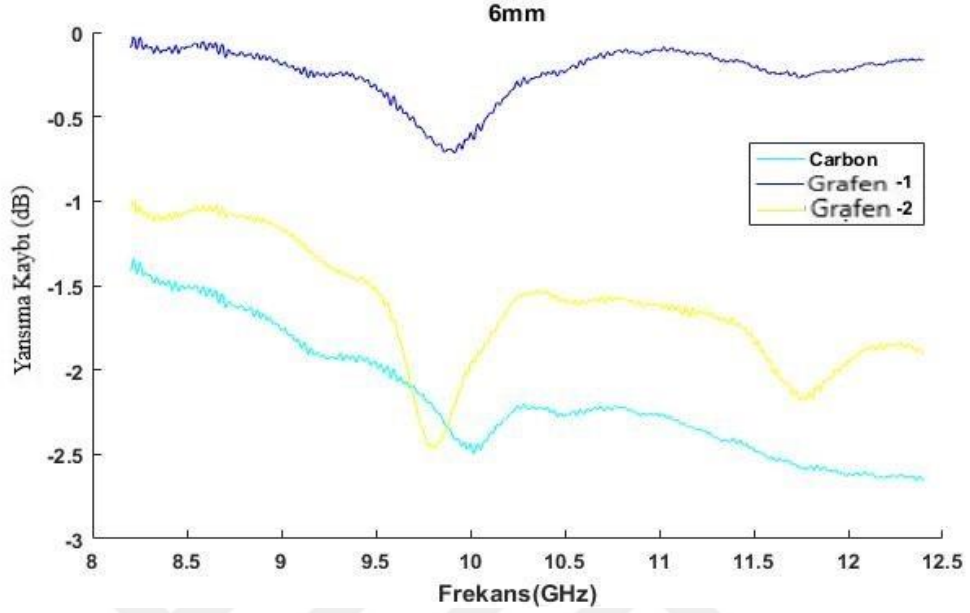
Üçüncü deneysel çalışmada, 150 miligram grafen (3nm, 6nm) ve karbon siyahını asetonla karıştırıp oluşturulan süngerlerin soğurma ölçümleri hesaplandı

Şekil 45' de 10 mm kalınlığında oluşturulan RF soğurucu süngerin soğurma ölçümü (dB) grafikte verildi.

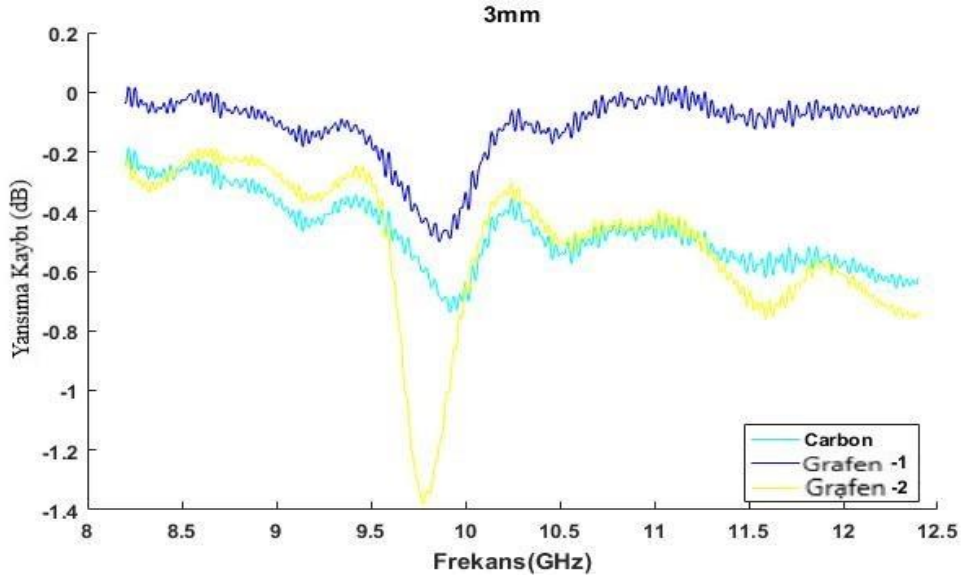


Şekil 45: 150 mg ve 10 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Carbon; karbon siyahı- aseton, Grafen -1; 3 nm' lik grafen- aseton Grafen-2; 6 nm' lik grafen- aseton)

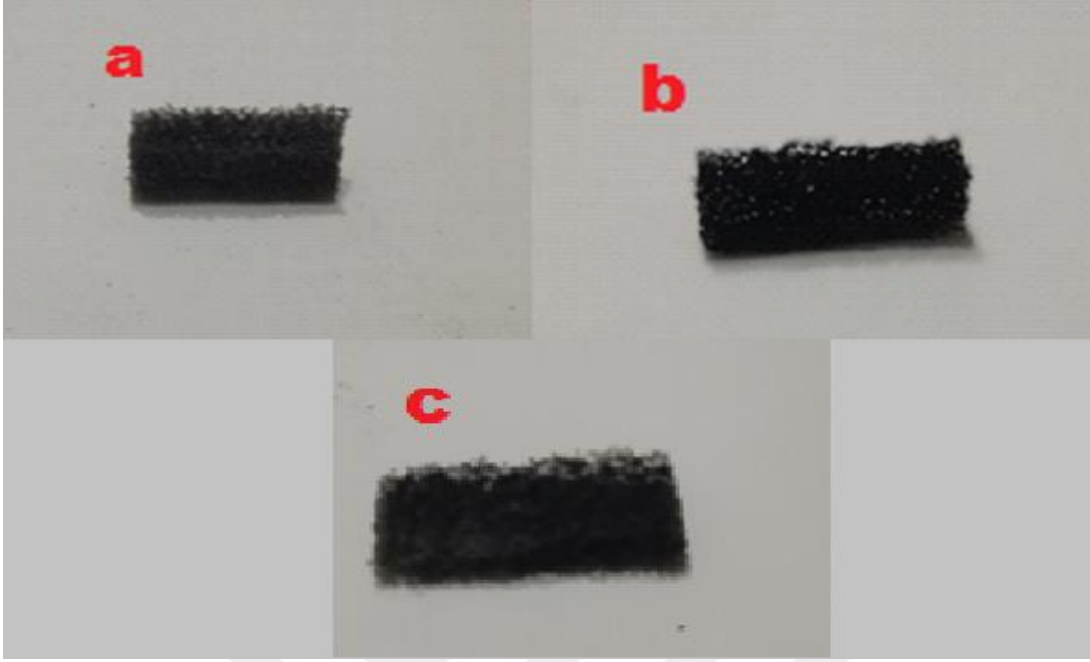
Şekil 46’ da 6 mm Şekil 47’de 3mm kalınlığında oluşturulan RF soğurucu süngerin soğurma ölçümü (dB) grafikte verildi.



Şekil 46: 150 mg ve 6 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Carbon; karbon siyahı- aseton, Grafen -1; 3 nm’ lik grafen- aseton Grafen-2; 6 nm’ lik grafen- aseton)

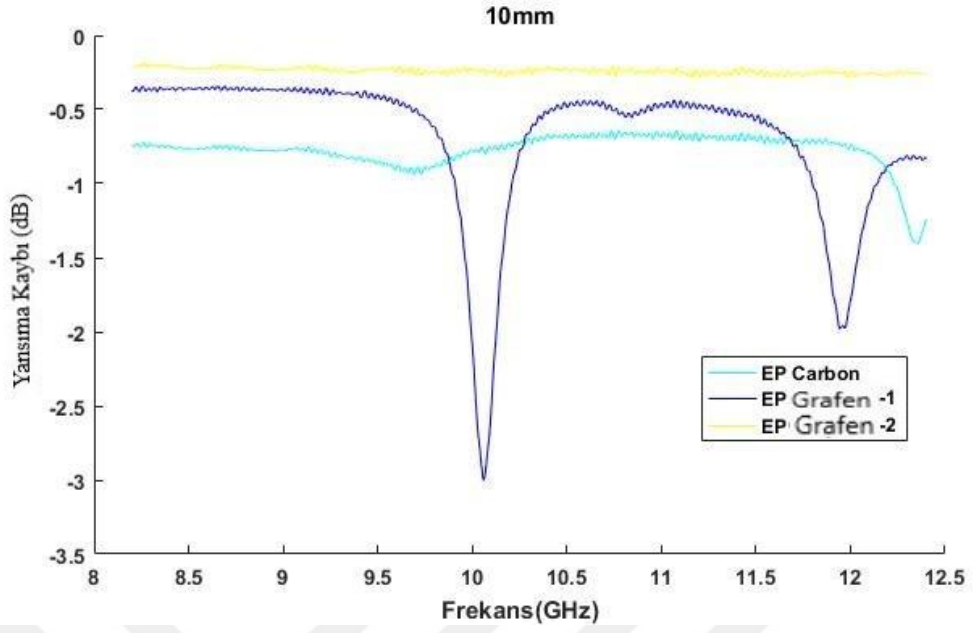


Şekil 47: 150 mg ve 3 mm kalınlığındaki poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (Carbon; karbon siyahı- aseton, Grafen -1; 3 nm’ lik grafen- aseton Grafen-2; 6 nm’ lik grafen- aseton)

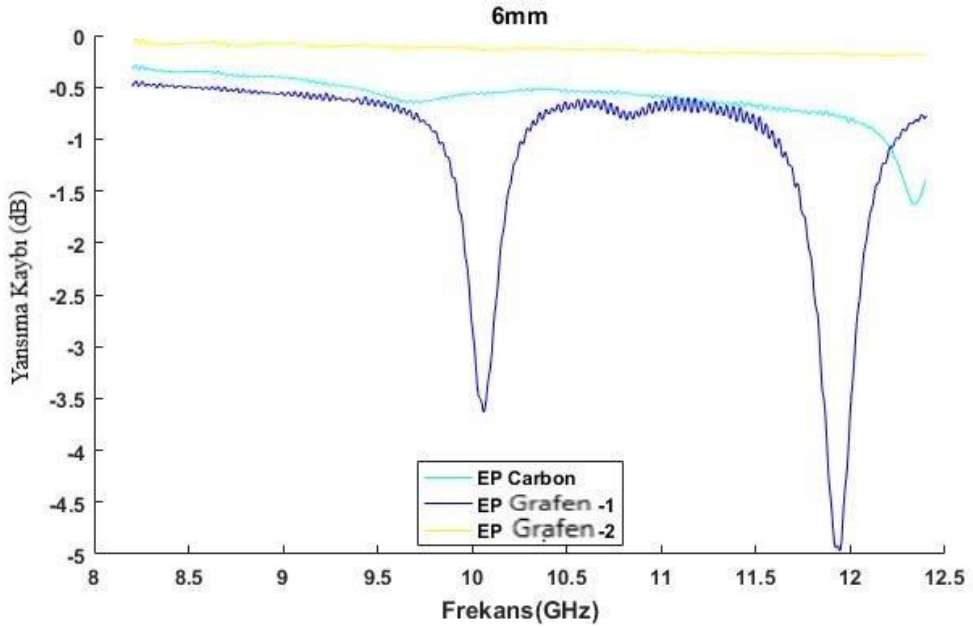


Şekil 48: a) 150 mg 3 nm' lik Grafenle üretilmiş soğurucu sünger b) 150 mg 6 nm' lik grafenle üretilmiş soğurucu sünger c) 150 mg Karbon siyahi (Grafitle) üretilmiş soğurucu sünger

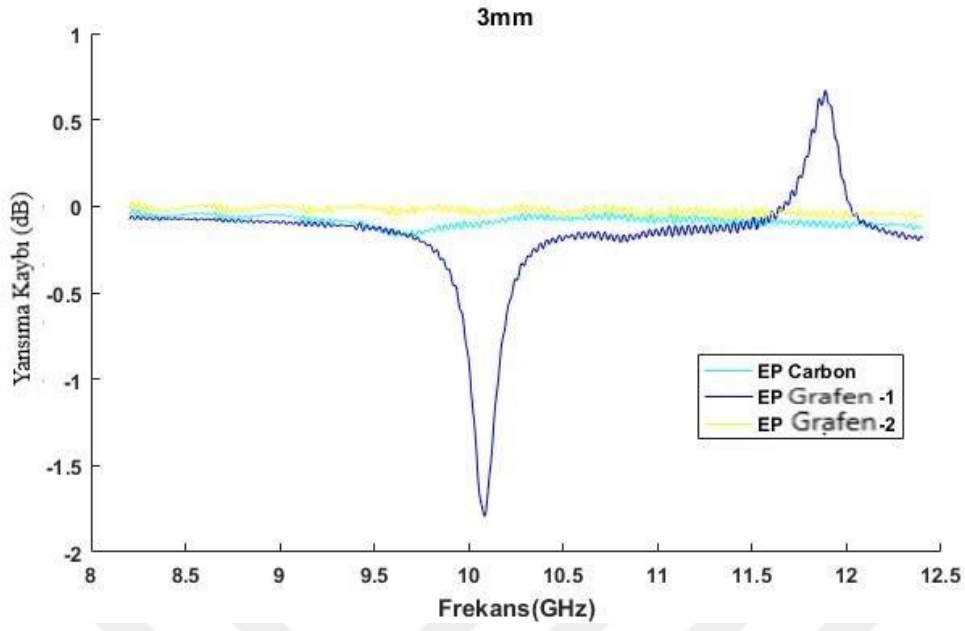
Son deneysel çalışmamızda ise; 200 miligram 3 nanometrelik grafen 200 miligram 6 nanometrelik grafen ve 200 miligram karbon siyahı epoksi boya ile karıştırılarak oluşturulan soğurucu süngerin 3 mm, 6 mm ve 10 mm kalınlıklarda soğurma ölçümleri şekildeki grafiklerde mevcuttur.



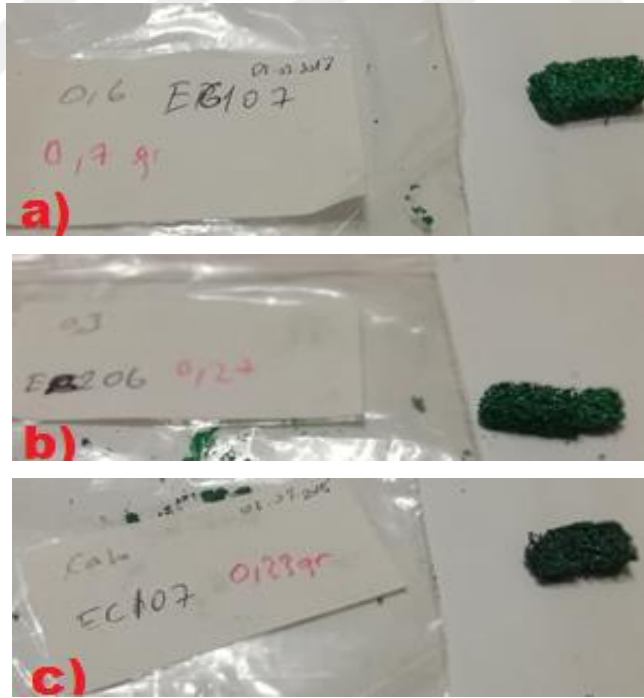
Şekil 49: 200 mg 10 mm kalınlığında oluşturulmuş poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (EP Grafen 1; 6nm' lik grafen- epoksi, EP Grafen-2; 3nm' lik grafen- epoksi EP Carbon; karbon siyahi- epoksi)



Şekil 50: 200 mg 6 mm kalınlığında oluşturulmuş poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (EP Grafen 1; 6nm' lik grafen- epoksi, EP grafen-2; 3nm' lik grafen- epoksi EP Carbon; karbon siyahi- epoksi)



Şekil 51: 200 mg 3 mm kalınlığında oluşturulmuş poliüretan soğurucu süngerin soğurma değeri (EP Grafen 1; 6nm' lik grafen- epoksi, EP Grafen-2; 3nm' lik grafen-epoksi EP Carbon; karbon siyahı- epoksi)



Şekil 52: a) 200 mg 6 nm' lik epoksi grafen ile üretilmiş soğurucu sünger b) 200 mg 3 nm'lik epoksi grafen ile üretilmiş soğurucu sünger c) 200 mg epoksi karbon siyahı ile üretilmiş soğurucu sünger

5.SONUÇ

Elektrik ve elektronik ürünlerin günlük yaşantımızda kullanılmaya başlanmasından sonra önem kazanan EMC, sistemlerin normal çalışma ortamlarında amaçlanan verimlilikte çalışabilmeleri ve işlevlerini yerine getirebilmeleri olarak tanımlanır. Nano-bilimin ilerlemesi ile fizik alanı için popüleritesi artan grafen araştırmaları şimdi ise farklı dallardaki bilim insanlarının çalışma alanı haline gelmiştir.

Bu gelişmelerin etkisiyle, EMC alanında da özellikle cihazlar ve EMC testleri yapmak için kullanılan odalardaki ekipmanları değiştirmek ve revize edebilmek için çalışmalar başlamıştır. Grafenin iyi iletken olduğu bilinmektedir. Grafenin bu özelliğini kullanarak elektromanyetik girişimi engellemek için birçok çalışma yapılmış ve iyi sonuçlar alınmıştır. Ancak yansız odalarda kullanılan ve yansız odanın vazgeçilmezi olan poliüretan RF soğurucu süngerler üzerinde grafenle ilgili çalışma yapılmamıştır. Yapılan bu çalışmada, EMC testleri için gerekli ekipman olan RF soğurucu süngerler ile nanobilimin önemli bir parçası olan grafeni bir araya getirilerek sonuç elde edildi.

Elimizdeki imkânlarla dört farklı deneysel çalışmada farklı sonuçlar elde edildi. Deneysel çalışmada iki farklı nano boyutlarda Grafen (3nm ve 6 nm) ve günümüzde soğurucu süngerlerde kullanılan karbon siyahının soğurmalarının kaç dB olduğu karşılaştırıldı. Çalışmalarda dikkat çeken bazı hususlar meydana geldi. 6 nm' lik grafen için denemelerde poliüretan süngere eklemek için en az 200 mg grafen asetonla karıştırıldı. 200 mg altında eklemelerde grafenin süngerde tutunamadığı görüldü. Ancak 3nm'lik grafen' de böyle bir sıkıntı yaşanmadı. Bunun sebebini şu şekilde açıklanabilir, malzemelerin nano boyutlara doğru büyüklükleri arttıkça incelendiğini ve bu sebepten poliüretan süngere tutunamamıştır.

Deneysel çalışmada 340 mg da eklenen 6nm, 3nm grafen ve karbon siyahı 10,5 GHz' de ve 10 mm kalınlığında sırasıyla yaklaşık -25 dB, -2 dB ve -5 dB soğurma yaptığını gözlemlendi. Eldeki imkânların kısıtlı olmasından dolayı deneysel çalışmaları büyük boyutlu süngerlerde denenmediği için daha iyi bir sonuç elde edilemeyeceği kesin olarak bilinmemektedir. Ancak çalışmada önem arz eden konu grafiklerde de görüleceği üzere grafenler arasında poliüretan soğurucu süngere 6 nm' lik grafenin,

oluşturulan diğer poliüretan soğurucu süngerlerden (3 nm' lik grafen ve karbon siyahından) daha iyi soğurma özelliği olduğunu görüldü. Ayrıca ilerleyen çalışmalarda grafenin kaplamasındaki homojensizlik seviyesini ölçmek için SEM yardımıyla yüzeydeki dağılımın görüntülenmesi sağlanabilir.

Deneysel çalışmalarda bir diğer önemli hususta epoksi boya grafen karışımı ile oluşturulmuş poliüretan soğurucu süngerlerdir. Yeteri kadar grafen elde bulunmadığı için büyük boyutlarda numune elde edilemedi.

Epoksi-grafen karışımıyla oluşturulan süngerlerde deney sonrasında süngere sertlik kazandırdığı gözlemlendi. Şekil 51'de 3 mm kalınlığındaki epoksi-grafen süngerin 12 GHz' de çıkan pozitif kısmı (peak) ölçümdeki zorluklar neticesinde oluşan hatadan kaynaklanmıştır. Şuan piyasada düşük frekanslarda soğurma özelliği bulunan ve pahalı bir yapı olan Ferrit karolar yerine epoksi-grafen karışımın çeşitli malzemeler üzerinde denenerek kullanılabilceğini düşünülmektedir.

Tez için yapılan bu çalışma gösteriyor ki grafeni sadece EMI (Elektromanyetik girişim) engellemek için kullanmak yerine nanobilimin gelişmesi ışığında EMC testlerinin uygulandığı odaların gelişimi içinde kullanılabilir. İlerleyen zamanlarda grafen üretiminin maliyetinin düşürülmesi sonucunda poliüretan RF soğurucu süngerler grafen ile birlikte kullanılacaktır. Bunun sonucunda yansız odalarda kullanılan soğurucuların soğurma yeteneği artacak, daha hafif ve esnek poliüretan soğurucu sünger üretilebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Matthew J. Allen, Vincent C. Tung, and Richard B. Kaner, "Honeycomb Carbon: A Review of Graphene", *Chem. Rev.* 2010, 110, 132–145
- [2] R. R. Nair, P. Blake, A. N. Grigorenko, K. S. Novoselov, T. J. Booth, T. Stauber, N. M. R. Peres and A. K. Geim, *Science*, 2008, 320, 1308.
- [3] Ghosh D, Giri S, Kalra S, Das C, "Synthesis and Characterisations of TiO₂ Coated Multiwalled Carbon Nanotubes/Graphene/Polyaniline Nanocomposite for Supercapacitor Applications", *Journal of Applied Sciences*, 2, 70-77
- [4] (Ercan Caner, "HAVA ARAÇLARI VE EMC/EMI PROBLEMLERİ", <https://sunsavunma.net/>
- [5] Elektromanyetik radyasyon; <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik>
- [6] <http://www.3eelectrotech.com.tr/arsiv/yazi/emc-test-ortamlaryna-genel-baky>
- [7] Friedrich-Wilhelm Trautnitz, "EMC Absorbers through the Years with Respect to the New Site VSWR Validation Procedure in the Frequency Range from 1 to 18 GHz – A Practical Approach", 1-4244-1350-8/07/\$25.00 ©2007 IEEE
- [8] J. Deutsch, G. Vollhardt: "Schachtabsorber mit vergrößertem Frequenzbereich", (EMC absorber with enlarged frequency range) *Frequenz Bd 19/1959*, Nr. 11
- [9] H. Nornikman, P.J Soh, A.A.H Azremi, "Performance of Different Polygonal Microwave Absorber Designs Using Novel Material", The 2009 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2009) October 20-23, 2009, Bangkok, THAILAND
- [10] K. Zhou, J. Deng, L. Yin, S. Ma and S. Gao, "Microwave Absorbing Properties of La_{0.8}Ba_{0.2}MnO₃ Nano-Particles," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 17, No. 5, 2007, pp. 947-950. doi:10.1016/S1003-6326(07)60205-2
- [11] R. Sharma, R. C. Agarwala and V. Agarwala, "Development of Radar Absorbing Nano Crystals by Microwave Irradiation," *Materials Letters*, Vol. 62, No. 15, 2005, pp. 2233-2236. doi:10.1016/j.matlet.2007.11.076
- [12] R. Sharma, R. C. Agarwala and V. Agarwala, "Development of Electroless (Ni-P)/BaNi_{0.4}Ti_{0.4}Fe_{11.2}O₁₉ Nano-composite Powder for Enhanced Microwave Absorption," *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 467, No. 1-2, 2009, pp. 357-365. doi:10.1016/j.jallcom.2007.11.141
- [13] H.-M. Xiao, X.-M. Liu and S.-Y. Fu, "Synthesis, Magnetic and Microwave Absorbing Properties of Core-shell Structured MnFe₂O₄/TiO₂ Nanocomposites," *Composites Science and Technology*, Vol. 66, No. 13, 2006, pp. 2003 -2008. doi:10.1016/j.compscitech.2006.01.001

[14] Yanmin Wang, Tingxi Li, Lifen Zhao, Zuwang Hu, Yijie Gu,” Research Progress on Nanostructured Radar Absorbing Materials”, Energy and Power Engineering, 2011, 3, 580-584 doi:10.4236/epe.2011.34072 Published Online September 2011 (<http://www.SciRP.org/journal/epe>)

[15] Z. Fan, G. Luo, Z. Zhang, L. Zhou and F. Wei, “Electromagnetic and Microwave Absorbing Properties of Multi- Walled Carbon Nanotubes/Polymer Composites,” Materials Science and Engineering: B, Vol. 132, No. 1-2, 2006, pp. 85-89. doi:10.1016/j.mseb.2006.02.045

[16] <http://www.puyolkimya.com/urun-35-sprey-poliuretan.html>

[17] Application Note Agilent Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials

[18] Technical Overview, Agilent 85070E Dielectric Probe Kit 200 MHz to 50 GHz, Agilent literature number 5988-9472EN, May 9, 2003

Özgeçmiş

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Ahmet GÜL

Uyruğu: T.C.

Doğum Tarihi ve Yeri: 01 Ocak 1992, Sultanbeyli

Elektronik Posta: ahmedgyte@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Lisans	GYTE, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü	2014
Yüksek Lisans	İMU, Fen Bilimler Enstitüsü, Nanobilim ve Nanomühendislik A.B.D	

İŞ TECRÜBESİ

Tarih	Kurum	Görev
2014-2015	MEB	Matematik Öğretmenliği
2015-	Türk Standartları Enstitüsü	İnceleme Uzman

YABANCI DİLLER

İngilizce,

HOBİLER

Futbol, Şoförlük, Kitap okuma