

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMATEKNOLOJİLERİ ve SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA PLATFORMLARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**NİKEL ELEKTRO KAPLAMANIN KARBON FİBERİN
ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM KALKANLAMA ÖZELLİĞİNE
ETKİSİ**

HAZIRLAYAN

DİLARA İRGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA – 2022

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMATEKNOLOJİLERİ ve SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA PLATFORMLARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**NİKEL ELEKTRO KAPLAMANIN KARBON FİBERİN
ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM KALKANLAMA ÖZELLİĞİNE
ETKİSİ**

HAZIRLAYAN

DİLARA İRGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. EBRU SARALOĞLU GÜLER

ANKARA - 2022

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı Savunma Platformları Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Dilara İRGİN tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 07/11/2022

Tez Adı: Nikel Elektro Kaplamanın Karbon Fiberin Elektromanyetik Girişim Kalkanlama Özelliğine Etkisi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı-Soyadı, Kurumu)

İmza

Doç. Dr. Ebru SARALOĞLU GÜLER, Başkent Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Alparslan Çağrı YAPICI, Başkent Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Batur ERCAN, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

.....

ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: / /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrencinin Adı, Soyadı : Dilara İRGİN

Öğrencinin Numarası : 21820356

Anabilim Dalı : Savunma Teknolojileri ve Sistemleri ABD

Programı : Savunma Platformları Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Doç. Dr. Ebru SARALOĞLUGÜLER

Tez Başlığı : Nikel Elektro Kaplamanın Karbon Fiberin Elektromanyetik Girişim Kalkanlama Özelliğine Etkisi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam .. sayfalık kısmına ilişkin, .././2022 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %’dır. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

ONAY

Tarih: ... / ... / 20...

Doç. Dr. Ebru SARALOĞLU GÜLER

.....

TEŞEKKÜR

Çalışmamda tez konumun belirlenmesinden sonuçlanmasına kadar geçen süre boyunca her aşamada bana yol gösteren, her türlü bilimsel ve manevi destekte bulunan, sonsuz anlayışını esirgemeyerek çalışma süresince motive olmama büyük katkıları bulunan çok değerli tez danışmanım Sayın Doç.Dr. Ebru SARALOĞLU GÜLER ve tüm Savunma Platformları Tezli Yüksek Lisans Programı bölüm hocalarıma, çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Alparslan Çağrı YAPICI hocama,

Desteklerini esirgemeyen MKE A.Ş. iş arkadaşlarıma, MKE A.Ş. Mühimmat Fabrikası çalışanlarına, Akdeniz Üniversitesi hocalarından Prof. Dr. Selçuk HELHEL'e,

Hayatımın her döneminde yanımda olan, maddi ve manevi her türlü desteği sonsuz sevgileri ile veren, hayatı değerli kılan canım ailem ve nişanlıma,

Sonsuz teşekkür ederim...

ÖZET

Dilara İRGİN

NİKEL ELEKTRO KAPLAMANIN KARBON FİBERİN ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM KALKANLAMA ÖZELLİĞİNE ETKİSİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı

2022

Elektronik sistemler ve cihazlar üzerinde sorunlar yaratabilen elektromanyetik girişime çözüm olabilecek kalkanlama yöntemleri üzerindeki çalışmalar teknolojinin gelişimi ile beraber hız kazanmıştır. Elektromanyetik kalkanlama; kalkanlama malzemesinin kaynak ile alıcı arasına yerleştirilerek yayılan elektromanyetik dalgayı yansıtması veya azaltması olarak tanımlanabilir. Kalkanlama malzemesi iletkenliklerinden ötürü genellikle metallerdir, ancak ağırlıklarının ve maliyetlerinin fazla olması gibi sebeplerden ötürü yeni nesil malzemeler üzerinde çalışılmaktadır. Özellikle son yıllarda sahip olduğu mekanik ve elektriksel avantajlarından dolayı karbon fiber malzemeler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Savunma sanayi, otomotiv sanayi, havacılık ve uzay karbon fiberin kullanıldığı sektörlerin başında gelmektedir. Karbon fiberlerin iletkenliklerini arttırabilmek adına metalik kaplamalar yapılabilmektedir. Bu çalışmada PAN (Poliakrilonitril) esaslı karbon fiber kumaşlar farklı akım yoğunluğu ve sürelerde Ni elektro kaplama ve Ni akımsız kaplama yapılarak 300-1500 MHz, 2170-3300 MHz, 3300-4900 MHz olmak üzere toplam 3 ayrı frekans aralığında kalkanlama özellikleri ve mikro yapı görüntüleri incelenmiştir. Ni kaplamanın EMI ekranlama etkinliğini 3 ayrı frekans aralığında da arttırdığı gözlemlenmiştir. 8,7 A/dm² akım yoğunluğu ve 30 dk süreyle Ni elektro kaplama yapılan numune 300-1500 MHz ve 3300-4900 MHz frekans aralıklarında en iyi ekranlama etkinliği gösterirken, 2170-3300 MHz frekans aralığında akımsız kaplama yöntemiyle Ni kaplanan karbon fiber numune en iyi ekranlama etkinliğini göstermiştir. Kaplamasız karbon fiber numune 300-1500 MHz frekans aralığında ortalama olarak 18 dB ekranlama etkinliğine sahipken, 8,7 A/dm²'de 30 dk süreyle yapılan elektro kaplamada ekranlama etkinliği 54 dB olarak ölçülmüştür. 2170-3300 MHz frekans aralığında akımsız

kaplama yöntemiyle Ni kaplama karbon fiber numunenin ekranlama etkinliğini 32 dB arttırmıştır. 3300-4900 MHz frekans aralığında ise 8,7 A/dm² akım yoğunluğu ve 30 dk süreyle Ni kaplanan karbon fiber numune en iyi ekranlama etkinliğini gösterirken, Ni kaplama ekranlama etkinliğini 36 dB arttırmıştır. EMI koruma davranışında yer alan mekanizmayı anlayabilmek adına soğurma ve yansıma değerleri hesaplanmıştır. EMI ekranlama davranışında soğurma mekanizmasının baskın olduğu tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELE: Elektromanyetik kalkanlama, elektromanyetik girişim, ekranlama etkinliği, karbon fiber kumaş, elektro kaplama, Ni kaplama, akımsız kaplama.



ABSTRACT

Dilara İRGİN

EFFECT OF NICKEL ELECTRO PLATED CARBON FIBER ON ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE SHIELDING

Başkent University, Institute Science and Engineering

Department of Defense Technologies and Systems

2022

Studies on shielding methods that can be a solution to electromagnetic interference that can cause problems on electronic systems and devices have gained momentum with the development of technology. Electromagnetic shielding; It can be defined as the reflection or absorption of the emitted electromagnetic wave by placing the shielding material between the source and the receiver. Shielding materials are generally metals due to their conductivity, but due to their weight and cost, new generation materials are being studied. Especially in recent years, carbon fiber materials have a wide range of uses due to their mechanical and electrical advantages. Defense industry, automotive industry, aviation and space are among the sectors where carbon fiber is used. Metallic coatings can be made in order to increase the conductivity of carbon fibers. In this study, shielding properties and microstructure images of PAN-based carbon fiber fabrics were investigated in a total of different 3 frequency ranges, 300-1500 MHz, 2170-3300 MHz, 3300-4900 MHz, by applying Ni electroplating at different current densities and durations and Ni electroless plating. It has been observed that the Ni coating increases the EMI shielding efficiency in 3 different frequency ranges. While the sample with Ni electroplating for a current density of 8,7 A/dm² and 30 minutes showed the best shielding efficiency in the frequency ranges of 300-1500 MHz and 3300-4900 MHz, the carbon fiber sample that was coated with Ni with electroless coating method in the frequency range of 2170-3300 MHz showed the best shielding efficiency. While uncoated carbon fiber had an average of 18 dB shielding efficiency at 300-1500 MHz frequency, the shielding efficiency was 54 dB of Ni electroplated carbon fiber at 8,7 A/dm² and 30 minutes. In the frequency range of 2170-3300 MHz, electroless Ni plating increased the shielding efficiency by 32 dB. In the frequency

range of 3300-4900 MHz, carbon fiber sample with 8,7 A/dm² current density and 30 minutes Ni electroplating showed the best shielding efficiency, Ni coating increased the shielding efficiency by 36 dB. Absorption and reflection values were calculated in order to understand the mechanism involved in the EMI shielding behavior. It has been determined that the absorption mechanism is dominant in the EMI shielding behavior.

KEYWORDS: Electromagnetic shielding, electromagnetic interference, shielding effectiveness, carbon fiber, Ni electroplating, Ni electroless plating.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
1.GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1. Nikel Kaplama Yöntemleri.....	5
2.1.1. Elektrokaplama.....	5
2.1.2. Akımsız Kaplama.....	8
2.2. Elektromanyetik Ekranlama (Kalkanlama)	9
2.2.1. Ekranlama Etkinliği Ölçüm Metotları	12
2.1. EMI Kalkanlama Malzemeleri.....	14
2.1.1. Karbon Fiber ve Kullanım Alanları	14
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	18
3.1. Yüzey Hazırlama	18
3.2. Elektrokaplama İşlemi.....	20
3.3. Akımsız Kaplama İşlemi.....	21
3.4. Ağırlık Artışı	22
3.5. SEM Analizi	22
3.6. Ekranlama Etkinliği Ölçümü	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	26
4.1. Elektrokaplama ve Akımsız Nikel Kaplama.....	26
4.2. Ağırlık Artışı	26
4.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizi	27
4.4. Elektromanyetik Kalkanlama Ölçüm Sonuçları	32
4.4.1. 300-1500 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Değerleri.....	32
4.4.2. 2170-3300 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Değerleri.....	36
4.4.3. 3300-4900 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Değerleri.....	37

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	40
-----------------------------------	-----------

KAYNAKLAR.....	42
-----------------------	-----------

EKLER

EK 1: Karbon Fiber Kumaş Teknik Bilgi

EK 2: 2170-3300 MHz Frekans Aralığında SEA Değerleri

EK 3: 2170-3300 MHz Frekans Aralığında SER Değerleri

EK 4: 3300-4900 MHz Frekans Aralığında SEA Değerleri

EK 5: 3300-4900 MHz Frekans Aralığında SER Değerleri



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3-1 Elektrolitik Kaplama Banyo Bileşenleri	20
Tablo 3-2 Kaplama Parametreleri.....	20
Tablo 4-1 Ağırlık Artışları.....	27
Tablo 4-2 Numunelerin EDS Analizindeki Ni Yüzdeleri	27
Tablo 4-3 300-1500 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Bulguları.....	34
Tablo 4-4 2170-3300 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Bulguları.....	37
Tablo 4-5 3300-4900 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Bulguları.....	38



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Nikel Elektrokaplama Prosesinin Şematik Gösterimi [16].	7
Şekil 2.2. Elektromanyetik Ekranlama Mekanizmasını Gösteren Şematik Gösterimi [39].	11
Şekil 2.3. a. Kaplamasız Karbon Fiberlerin Farklı Düzenlemelerdeki Soğurma Kaybı b. Nikel Kaplı Karbon Fiberlerin Farklı Düzenlemelerdeki Soğurma Kaybı c. Farklı Düzenlemelerdeki Karbon Fiberlerin Fotoğrafı [6].	17
Şekil 3.1. Yüzey Hazırlama Adımları	19
Şekil 3.2. a. Elektro Kaplama Banyosu b. Güç Kaynağı	21
Şekil 3.3. Akımsız Nikel Kaplama Banyosu	21
Şekil 3.4. Leica Ace 600 Tutucu Aparatı	23
Şekil 3.5. Koaksiyel İletim Hattı Yöntemi Ölçüm Düzenneği a. Genel Düzen b. Ölçüm Aparatı.	24
Şekil 3.6. a. S-Parametrelerini Ölçmek İçin Kullanılan İki Port Kurulumunun Şematik Gösterimi ve b. Dalga Kılavuzlu Biçimde İki Port Kurulumunun Temsili [16].	25
Şekil 4.1. a. 5,5 A/dm ² 30 dk b. 7,3 A/dm ² 30 dk c. 7,3 A/dm ² 45 dk d. 5,5 A/dm ² 45 dk e. 8,7 A/dm ² 30 dk Nikel Elektrokaplama ve f. Akımsız Nikel Kaplama.	26
Şekil 4.2. Numune a. A. b. B c. C d. D e. E f. F ve g. Kaplamasız Numuneler İçin EDS Analizleri	30
Şekil 4.3. Numune a. A. b. B c. C d. D e. E f. F ve g. Kaplamasız Numuneler İçin SEM Görüntüleri	32
Şekil 4.4. Numune a. A. b. B c. C d. D e. E f. F ve g. Kaplamasız Numuneler için 300-1500 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Değerleri.	33
Şekil 4.5. Numune a. A. b. B c. C d. D e. E f. F ve g. Kaplamasız Numuneler için 300-1500 MHz Frekans Aralığında SEA Değerleri.	33
Şekil 4.6. Numune a. A. b. B c. C d. D e. E f. F ve g. Kaplamasız Numuneler için 300-1500 MHz Frekans Aralığında SER Değerleri.	34
Şekil 4.7. Numune a. A. b. B c. C d. D e. E f. F ve g. Kaplamasız Numuneler için 2170-3300 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Değerleri.	36
Şekil 4.8. Numune a. A. b. B c. C d. D e. E f. F ve g. Kaplamasız Numuneler için 3300-4900 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Değerleri.	38

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Derneği
dB	Desibel
EDS	Energy Dispersive Spectrometry
EMI:	Elektromanyetik girişim
f	Frekans
GHz	Gigahertz
g	Gram
MHz	Megahertz
m	Metre
PAN	Poliakrilonitril
L	Litre
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SE	Kalkanlama Etkinliği
SEA, A	Soğurma Kaybı
SER, R	Yansıma Kaybı
SEM	Çoklu Yansımalar Kaybı
S11	Yansıyan Dalgayı Temsil Eden Saçılma Parametresi
S21	İletilen Dalgayı Temsil Eden Saçılma Parametresi
T	Süre
μ	Manyetik geçirgenlik
σ	Elektriksel iletkenlik
VNA	Vektörel Ağ Analizörü
$\mu\text{m}^2, \text{m}^2, \text{dm}^2$	Alan Birimleri
Ω	Direnç Birimi
δ	Deri Kalınlığı

1. GİRİŞ

Elektronik ekipmanların geliştirilmesi hayatımıza kolaylık sağlarken aynı anda rahatsız eden elektromanyetik kirliliği de beraberinde getirir. Bu kirlilik elektronik cihazlar ve biyolojik türler için önemli bir tehdittir. Bu nedenle, elektromanyetik girişim (EMI) koruyucu malzemeler, canlı organizmaları ve çalışma ortamını radyasyon kirliliğinden korumak için önemlidir.

Elektromanyetik girişim koruması, gelen radyasyonu emebilen ve/veya yansıtabilen bir malzemeden yapılmış bir kalkan kullanılarak radyo dalgası ve mikrodalga rejimindeki elektromanyetik radyasyonun engellenmesi anlamına gelir. Elektromanyetik radyasyondaki elektrik alanı elektronikteki elektronlarla etkileşime girebildiğinden, elektroniği (örneğin bilgisayarlar ve transformatörler) korumak için ekranlama gereklidir. Ek olarak, bu tür radyasyon yayan cihazların (örneğin cep telefonları) çevreyi radyasyonla kirlletme eğilimini azaltmak için koruyucuya ihtiyaç vardır. Bu tür elektromanyetik kirlilik aynı zamanda bir sağlık tehlikesi de olabilir. Örneğin EMI, kalp pili gibi tıbbi bir cihazda arızaya neden olabilir. Bu nedenle, hem elektronik hem de radyasyon kaynaklarını korumaya ihtiyaç vardır [1].

Ana ekranlama mekanizmaları, kalkan tarafından soğurulma ve kalkanın yüzeyinden yansımadır. Elektromanyetik teoriye göre, yüksek iletkenlik, radyasyonun hem emilimini hem de yansımısını destekler, böylece ekranlama etkinliğini artırır [1].

Düşük yoğunlukları, yüksek gerilme mukavemetleri ve yüksek gerilme modülleri nedeniyle karbon fiberler günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektriksel iletkenliklerinden beklendiği gibi, elektromanyetik girişim (EMI) koruması için de etkilidirler [2-5]. Elektroniğin bolluğu ve hassasiyeti nedeniyle, radyo dalgası varlığında arızalanabilecek cihazların EMI korumasına daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Bu anlamda hem elektroniklerin hem de radyasyon kaynaklarının korunması gerekir. Elektromanyetik ekranlama, genellikle ekranlama malzemelerinin elektriksel ve manyetik özellikleriyle yakından ilişkili olan yansıma ve soğurma kayıpları ile ilgilidir [6].

Karbon fiberler, lif yapısında ağırlıkça %92'den fazla karbon içeren benzersiz bir karbon allotropudur [7]. Karbon fiberler düşük yoğunluğa ($\approx 1,8 \text{ g/cm}^3$), yüksek gerilme mukavemetine (3-7 GPa), üstün elastik modülüne (200-600 GPa), yüksek termal özelliklere, mükemmel kimyasal dirence ve iyi elektriksel iletkenliğe sahiptir [8,9]. Bu nedenle, karbon fiberler spor malzemeleri, otomotiv parçaları, havacılık, elektrikli ekipman parçaları ve

endüstriyel kompozitler gibi çeşitli mühendislik uygulamaları olarak kullanılmaktadır [7,10]. Bununla birlikte, karbon fiberlerin elektriksel iletkenliği, metallerinkinden çok daha düşüktür [6,11-13]. Karbon fiberler, genellikle elektrokaplama ile metal kaplı fiberler şeklinde kullanılabilirler. Karbon Fiberlerin elektriksel iletkenliğini iyileştirmek için, karbon fiberler alüminyum (Al) , çinko (Zn) , bakır (Cu), demir (Fe), kobalt (Co), nikel (Ni) gibi çeşitli metaller ile kaplanmaktadır. Bunlar arasında Ni, iyi elektrik iletkenliği, mükemmel korozyon direnci, üstün manyetik özellikleri ve yüksek aşınma direnci sebebiyle tercih edilmektedir [14-16].

Ferromanyetik olan nikelde olduğu gibi metalin manyetik olması durumunda, metal kaplama fibere manyetik karakter kazandırır. Fiberin manyetik karakteri, elektromanyetik dalganın manyetik alan bileşeni ile etkileşime bağlı olarak ekranlamayı artıracaktır [17].

Fiziksel buhar biriktirme, kimyasal buhar biriktirme, akımsız ve elektrokaplama dahil olmak üzere metal kaplı Karbon fiberlerin üretimi için çeşitli yöntemler vardır [8,11]. Fiziksel buhar biriktirme ve kimyasal buhar biriktirme teknikleri pahalı cihazlar gerektirdiği için büyük ölçekte uygulanamamaktadır [16].

Elektrokaplama, harici elektrik kuvvetinin kullanılmasıyla meydana gelen, iletken bir substratın nikel kaplanması için basit bir yöntemdir [18]. Basit, düşük maliyetli, kontrol edilebilir gibi önceliklere sahiptir ve filament, kesikli elyaf ve kumaş dahil olmak üzere çeşitli formlardaki herhangi bir Karbon fiber numunesinde tek tip nikel kaplamalar elde edilebilir [19]. Ayrıca Akımsız kaplama alternatif bir yöntem olmasına rağmen, yaygın olarak kullanılan bir kaplama yöntemidir [1].

Karbon fiberlerin yüzeyindeki nikel elektrokaplama işlemi, nikel kaynağı, tuz konsantrasyonu, elektrot mesafesi, anot tipi, yüzey aktif madde, katalizör, elektrik akımı yoğunluğu, pH değeri, elektrokaplama süresi ve sıcaklık gibi birçok parametreye bağlıdır [17,19,20] . Örneğin, Kim [20] nikel kaplamanın Karbon fiberlerin özellikleri üzerindeki etkilerini farklı elektrokaplama sürelerinde araştırmıştır. Nikel tabakasının karbon filamentlerin yüzeyine çok güçlü bir şekilde bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Hua, nikel kaplı Karbon fiberlerin sentezi için farklı konsantrasyonlarda nikel sülfat, katot akım yoğunluğu ve elektrokaplama süresi kullanmış ve kaplama kalınlığı üzerindeki etkisini araştırmıştır [21]. Literatür çalışmalarına göre, katot akım yoğunluğu, sıcaklık ve elektrokaplama süresi, nikel kaplı Karbon fiberlerin özelliklerindeki ana parametreleri etkiler [18–21]. Nikel kaplı Karbon fiberlerin ana elektrokaplama parametreleri ile özellikleri arasındaki ilişkileri bulmak, yüksek performanslı kompozitler elde etmek için faydalı olacaktır.

Nikel kaplı karbon kumaşlar, üstün elektriksel iletkenlikleri, ferromanyetik özellikleri gibi belirli faydalarına dayalı olarak yüksek performanslı EMI koruyucu malzemeler için mükemmel malzemelerdir [18,19]. Wang, EMI koruması için silikon kauçukta (SR) iletken dolgu olarak tek taraflı nikel elektro-birikimli Karbon fiberleri kullanmıştır. Kompozitlerin ekranlama etkinliği (SE) değerleri, 30 ila 1200 MHz arasında tipik olarak yaklaşık 80 dB'dir [19]. Rohini ve Bose, 12 ila 18 GHz frekans aralığında tek taraflı nikel biriktirilmiş Karbon Fiber/epoksi kompozitlerin EMI ekranlama özelliklerini araştırmıştır. Bu kompozit, 40-50 dB aralığında SE değerleri göstermiştir [18]. Ayoub ise karbon fiber malzemeye farklı parametrelerde Ni elektrokaplama yaparak 8.2-12.4 GHz frekans aralığında nikel kaplı karbon fiberin 67 dB koruma sağladığını tespit etmiştir [16].

Murat ve ekibi, 200-2000MHz frekans aralığında karbon fiber çimento esaslı malzemenin ekranlama etkinliği üzerinde bir metal kaplamanın karbon fiber üzerindeki etkisini incelemiştir [1]. Nikel kaplama, özellikle SEA/kalınlık olmak üzere SEA soğurma kaybını artırarak karbon fiber çimento malzemenin koruma etkinliğini artırmıştır [1].

Lee ve arkadaşları, mikrodalga frekans aralığında nikel kaplı karbon fiber polipropilen-matris kompozitinin SE'si üzerinde, farklı işlemlerle (yani enjeksiyonlu kalıplama, dahili karıştırma ve vidalı ekstrüzyon) hazırlanan kompozitlerin, farklı fiber düzenlemeleri nedeniyle farklı EMI ekranlama performans özellikleri sergilediğini göstermektedir [22].

Hangtoa ise farklı düzenlemelerin ve Ni kaplamanın Ekranlama Etkinliğine etkisini araştırmıştır. Nikel, karbon fiberden çok daha yüksek bir elektrik iletkenliğine sahip olduğundan, iletken bir ağ oluşumunu destekleyerek SEA'yı geliştirmiştir. Yüzey derinliği nikel için karbondan çok daha küçüktür, bu nedenle nikel kaplama SER'yi SEA'dan çok daha az etkilediğini ileri sürmüştür [6].

Sonuç olarak; EMI, bir elektrikli veya elektronik cihazın düzgün performansını engelleyen elektromanyetik alanın neden olduğu önemli bir rahatsızlıktır. Cihazın etkin çalışabilmesi için EMI'nın kalkanlanması son derece kritiktir. Dolayısıyla bu tezin amacielektrokaplama yöntemiyle ferromanyetik metallere nikel ile karbon fiber kaplama ve EMI ekranlama etkinliğinin geliştirilmesidir.

Elektromanyetik dalgayı kesen, engelleyen veya bozulan herhangi bir elektromanyetik rahatsızlık; elektroniğin etkin çalışmasını sınırlar ve "elektromanyetik girişim" (EMI) olarak adlandırılabilir. Karbon fiberler de bilinen EMI kalkanlama malzemeleri arasındadır ve hafifliği ile de ön plana çıkmaktadırlar. Ancak gelişen teknoloji, güncel çalışmalar bu ekranlama etkinlik seviyesinin artırılmasına yöneliktir. Nikel

kaplamanın kalkanlama etkinliği (SE) üzerine etkisi konusunda çalışmalar kısıtlıdır. Bu anlamda tez çalışmasında kaplama için seçilen ferromanyetik karakteri ve karbon fiberler üzerinde kaplama malzemesi olarak yaygın kullanımı nedeniyle nikeldir. Tez kapsamında nikel kaplamayı akımlı ve akımsız şekilde gerçekleştirerek karbon fiberin ekranlama etkinliğine etkisi araştırılmıştır.



2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Nikel Kaplama Yöntemleri

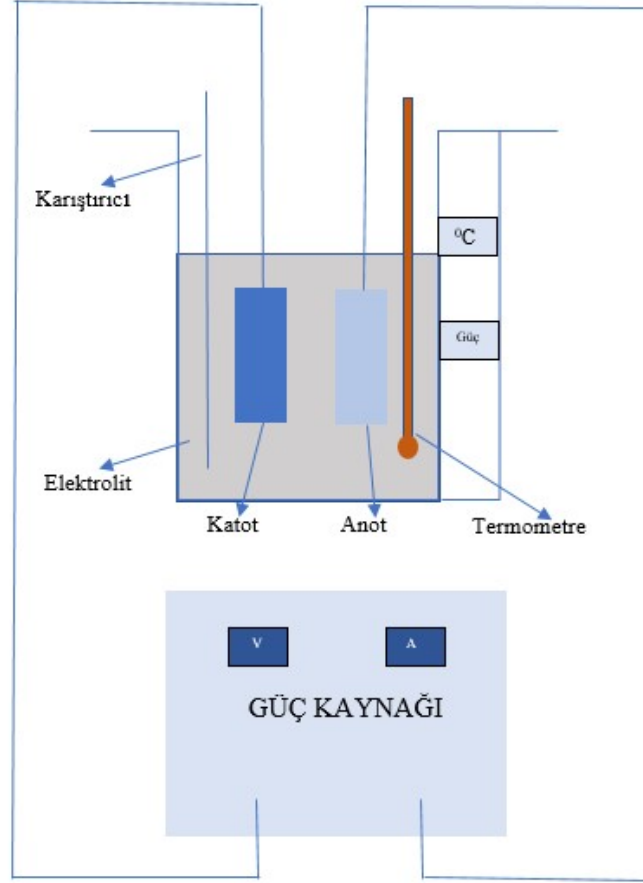
Kaplama prosesi kaplama çeşitlerine göre farklılık göstermektedir. Temel olarak yüzey hazırlama/temizleme, kaplama ve duruluma işlemlerinden oluşmaktadır. Kaplama sektöründe ürünün bileşimine, kullanım yerine, sertlik, dayanıklılık veya estetik unsurlara bağlı olarak birçok çeşitli kaplama yapılmaktadır [23]. Nikel kaplama, dünyada mühendislik uygulamalarında ve elektrikle biçimlendirme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fiziksel buhar biriktirme, kimyasal buhar biriktirme, akımsız ve elektrokaplama dahil olmak üzere metal kaplı karbon fiberlerin üretimi için çeşitli yöntemler vardır [8,11]. Fiziksel buhar biriktirme ve kimyasal buhar biriktirme teknikleri pahalı cihazlar gerektirdiği için büyük ölçekte uygulanamamaktadır [16]. Elektrokaplama, harici elektrik kuvvetinin kullanılmasıyla meydana gelen, iletken bir substratın nikel kaplanması için basit bir yöntemdir [18]. Nikel banyoları genelde nikel sülfat içerir [24]. Basit, düşük maliyetli, kontrol edilebilir gibi önceliklere sahiptir ve filament, kesikli elyaf ve kumaş dahil olmak üzere çeşitli formlardaki herhangi bir karbon fiber numunesinde tek tip nikel kaplamalar elde edilebilir [19]. Ayrıca Akımsız kaplama alternatif bir yöntem olmasına rağmen, yaygın olarak kullanılan bir kaplama yöntemidir [1].

2.1.1. Elektrokaplama

Elektrokaplama, elektrolitik bir prosesle bir metalin başka bir malzeme üzerinde ince bir yüzey kaplaması şeklinde birikmesiyle gerçekleşir. Elektrolitik yolla metal kaplamacılığı 1843 yılında başlamıştır. R. Boettper ilk nikel kaplamayı yapmıştır. Banyo ترکیبی nikel sülfat ve amonyum sülfattır. 1849' da ilk olarak ticari anlamda nikel kaplamacılığı başlamıştır [23]. Erimiş bir tuza veya bir tuz çözeltisine batırılmış iki metal elektrot arasından akım kaynağı yardımıyla elektrik akımı geçirilirse, elektrolitik iletkenlik yardımıyla, elektrotların sıvıya batan kısımlarında bazı kimyasal olaylar meydana gelmektedir [18]. Meydana gelen bu değişmelerin tümüne “elektroliz” denilmektedir. Bu işlemde kaplanacak olan parça katot olarak görev yapar. Elektrokaplama banyoları asidik, nötr, alkalın çözeltilerden oluşabilmektedir. Bu çözeltiler, belirli bir elektrik akım etkisinde

indirgenebilen metal iyonları içermekte ve kaplanacak parçanın katodik yüzeyinde serbest metallerin birikmesini ve kaplamanın gerçekleşmesini sağlamaktadırlar. Nikel Elektrokaplamanın şematik gösterimi Şekil.1’de verilmiştir [16]. Elektrokaplamanın çok çeşitli kullanım alanları mevcuttur. Bunların en önemlileri korozyona ve aşınmaya karşı dayanıklılık, sertlik, sürtünmeyi önleyici özellikler, elektriksel veya termal iletkenlik olarak sıralanabilir [23].

Akımlı nikel kaplamanın basit, düşük maliyetli, kontrol edilebilir olması gibi öncelikleri vardır ve herhangi bir karbon fiber numunesinde filament, kesikli elyaf, dokuma olmayan ve kumaş dahil olmak üzere çeşitli formlarda olan numunede tek tip nikel kaplamalar elde edilebilir [19]. Yüzeyindeki nikel elektrokaplama işleminde nikel kaynağı, tuz konsantrasyonu, elektrotlar arası mesafe, anot tipi, katalizör, elektrik akımı yoğunluğu, pH değeri, elektrokaplama süresi ve sıcaklık dahil olmak üzere birçok parametreye bağlıdır [18,20,21]. Örneğin, Kim ve çalışma arkadaşları nikel kaplamanın farklı elektrokaplama süresi yoluyla karbon fiber özellikleri üzerinde etkilerini araştırmıştır [20]. Çalışmalarında nikel tabakasının karbon yüzeyine güçlü bir şekilde bağlandığı görülmüştür. Hua ve diğerleri farklı konsantrasyonlarda nikel sülfat kullanarak konsantrasyonun kaplama kalınlığına etkisini araştırmıştır [21]. Literatür çalışmaları, katot akım yoğunluğu, sıcaklık ve sürenin kaplamayı etkileyen ana parametreler olduğunu söylemektedir [18-21]. Ayoub Darvishzadeh ise farklı parametrelerde uygulanan Ni elektrokaplamanın iletkenlik, yüzey morfolojisi ve EMI kalkanlamasına etkisini araştırarak çalışmasındaki optimum parametrelerdeki kaplamayı tespit etmeye çalışmıştır. Her parametrede Ni varlığının uniform şekilde dağıldığı tespit edilmiştir [16]. Karbon fiberler metal kaplı fiberler şeklinde olduğunda çok daha iletken, metal kaplamanın varlığı ile elektriksel iletkenlik geliştirilmiş olur [25-29]. Nikel kaplı karbon fiberlerde nikelin ferromanyetik özelliğinden dolayı manyetik özellik de geliştirilmiş olur. Hongtao ve arkadaşları farklı düzenlemelerde üretilmiş olan karbonfiberleri elektro kaplama kaplayarak 200-2000 MHz frekans aralığında ekranlama etkinliklerini düzenleme ve kaplamaya göre incelemişlerdir. Nikel varlığının ekranlama etkinliğini arttırdığı sonucuna varmışlardır [6].



Şekil 2.1. Nikel Elektrokaplama Prosesinin Şematik Gösterimi [16].

Kaplama kalitesini akım yoğunluğu, konsantrasyon, sıcaklık ve pH etkileyen bazı faktörlerdendir [24]. Akım, Jenaratörlerden kaplama banyolarına iletkenlik çubuklarıyla taşınır. Akım yoğunluğunun kaplamanın oluşmasında ve kalitesi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Kaplamada elektrotların birim yüzeyine denk gelen akım şiddeti alınır. Buna akım yoğunluğu denir. Birim yüzeyi dm^2 'dir [24].

Kaplamanın yapısı bakımından akım yoğunluğunun artışının iki etkisi vardır. Akım yoğunluğu artınca kaplama ince yapılı olur ve kristallerin oluşma hızı artmış olur. Fakat akım yoğunluğu daha da artınca katot dolayında deşarj olan metal iyonların çözelti içinden gelenlerle yeterince karşılanamadığından katotta bir fakirleşme meydana gelir, böylece kalite bozulur ve kaplama homojen olmaz [24].

Kaplama tekniğine göre her banyonun optimum çalışma sıcaklığı ve pH değeri bulunmaktadır. Sıcaklığın birbirine ters iki etkisi vardır. Bir yandan difüzyonu arttırdığından kristallerin oluşum hızı artarken bir yandan katot polarizasyonunu azaltır ve böylece büyük kristallerin oluşumunu artırır. Elektrolitlerin belirtilen pH değerinde olmaması kaplama kalitesini negatif etkiler [24].

2.1.2. Akımsız Kaplama

Akımsız olarak katmanlar oluşturmak için kullanılabilen metaller nikel, bakır, gümüş, kobalt ve birkaç alaşımdır. Nikel çok sert ve sürtünme faktörü küçük olduğundan, aşınmaya karşı oldukça dirençli bir kaplama oluşturur ve aynı zamanda diğer metallerden daha ucuz ve daha iletkenidir [30].

Herhangi bir elektrik akımı olmaksızın kaplama çözeltisine daldırılarak parçanın yüzeyinde kimyasal olarak kaplama gerçekleşir. Bu işlemde metal iyonları serbest metale indirgenerek parçanın yüzeyine kaplanır. Bu kaplama çeşidi hem metallere hem de metal olmayan yüzeylere uygulanabilmektedir. Akımsız kaplamanın en yaygın uygulama alanlarından birisi nikel kaplamadır. Nikel kaplama, homojen bir kaplama sağlamasının yanında aşınmaya karşı dayanıklı ve daha az sürtünme katsayısına sahiptir. Akımsız nikel kaplamanın en yaygın uygulama alanları taşıtlar, hava ve roket teknolojisi, elektronik ve makine sanayiidir. Nikelin, elektrik akımı kullanılmadan güçlü indirgeyici maddelerle sulu çözeltiden kimyasal birikimi, yaklaşık 30 yıl önce Brenner ve Riddell tarafından keşfedilmiştir [24,31,32]. O zamandan beri endüstriyel önem kazanmıştır.

Nikelin hipofosfit aracılığıyla metalik ve metalik olmayan alt tabakalar üzerinde kimyasal birikimi, akımsız nikel kaplama için en eski ve en iyi çalışılmış işlemidir. Asit banyoları (pH4-6, $T > 90^{\circ}\text{C}$) esas olarak çelik, dökme demir, bakır, alüminyum, titanyum, berilyum ve bazı alaşımların nikel kaplaması için kullanılır [33].

Batı Almanya'da ilk tesis 1966 yılında faaliyete geçmiştir. Saatte maksimum 9,6 kg nikel çökeltilebilir, yani 1 saatte yaklaşık 45 m² yüzey 25 µm kalınlığa kadar kaplanabilir [24].

Temel bileşim genellikle 10-30 g/l nikel klorür veya sülfat ve 10-50 g/l sodyum hipofosfittir. Nikelin birikmesine yol açan genel redoks reaksiyonu aşağıdaki gibidir:



Nikel iyonlarının azalmasına, hidrojen oluşumuyla birlikte hipofosfitin ayrışması eşlik eder. İkinci reaksiyon kimyasal olarak çökeltilmiş Ni tabakalarının değişen miktarlarda fosfor içermesinin sebebidir (%2-15), biriken miktar pH'a, sıcaklığa, hipofosfit ve fosfit konsantrasyonuna, tabaka kalınlığına ve diğer faktörlere bağlıdır [37]. Endüstriyel olarak kullanılan asit hipofosfit banyoları %7-10 P içerirken alkali banyolar yaklaşık %3 P içermektedir [24].

Yukarıda verilen denklemler sadece başlangıç ve son durumu göstermektedir. Olası ara aşamalar, atomik hidrojen, hidrit iyonları, fosfan, koloidal nikel hidroksit türleri vb.nin oluşumu çeşitli yayınlarda öne sürülmüştür, ancak deneyle doğrulanmış birleşik bir teori henüz yoktur. Kesin olan şu ki, endüstriyel banyolardan 3 mol hipofosfit başına yaklaşık 1 mol nikel çökelmektedir; nikel dayalı indirgeme verimi %36-38'dir. Bununla birlikte, artan sodyum fosfit içeriği banyonun ömrünü sınırlar, çünkü nikel fosfit sonunda çöker, bunun üzerine banyonun stabilitesi ve kaplamanın kalitesi bozulur [24]. Rejenerasyon genellikle ekonomik olmadığı için, banyo yaklaşık 80 g/l nikellemeye çıktısından sonra atılır [34].

Akımsız nikel kaplamalar havacılık endüstrisi, otomotiv endüstrisi, elektrik elektronik endüstrisi, petrol ve doğalgaz endüstrisi, gıda endüstrisi ve kimya endüstrisinde tercih edilirler. Ayrıca kalıp korumasında, döküm aletlerinde, tekstil ve baskı endüstrisinde de tercih edilmektedir. Genel olarak akımsız nikel kaplamaların kullanım amaçları aşınmaya maruz kalan yüzeyleri kaplamak, büyük yüzeyleri özellikle de büyük iç yüzeyleri kaplamak, nikel kaplamalı makine parçalarını onarmak, bazı işleme endüstrilerinde pahalı paslanmaz çelikler yerine kullanmak, elektrik enerjisinin mevcut olmadığı veya mümkün olmadığı nikel kaplamalarda kaplama yapmak, emayelerin çelik üzerine yapışmasını arttırmak ve korozyon direncini arttırmaktır [36].

2.2. Elektromanyetik Ekranlama (Kalkanlama)

Elektromanyetik ekranlama iletken bir malzemeden yapılmış bir kalkan ile dalga dağılımını azaltma sürecidir. Elektronik cihazların performansı elektromanyetik girişim (EMI) nedeniyle kesintiye uğrayabilir. Elektromanyetik girişim kalkanı elektronik, iletişim cihazları, hava platformları ve diğer araçlar gibi birçok uygulamada kritik olmuştur [54].

EMI'ye karşı korunma öngören teknikler, birisi elektronik donanımların kendilerinden gelen problemleri çözmeyi amaçlayan elektronik yaklaşım diğeri harici etkilerden korumak için donanımı bir Faraday kafesi içine koymaya dayanan kutulama yaklaşımı olarak ayrılabilir. Donanımın kendisinden kaynaklanan girişimi yok etmek elektronik düzenlerde gittikçe artan daha karmaşık ve çok sayıda daha küçük elektronik elemanın kullanılmasından dolayı çok zor olmaktadır [38].

Kutulama yoluyla ekranlama istenmeyen enerjinin ya yansıtılması ya da soğurulması esasına dayanır. Diğer bir deyişle bir malzemede EMI zayıflamasının ana mekanizmaları yansıma, soğurma ve çoklu yansımadır. Yansıma, EMI korumasının birincil mekanizmasıdır. Yansıma mekanizması için malzeme elektromanyetik radyasyonla etkileşime giren elektronlar gibi mobil yük taşıyıcılarına sahip olmalıdır. Bunun için metaller en sık kullanılan malzemelerdir. Malzeme eğer iletken ise yansıma mekanizması aracılığıyla EM (elektromanyetik) dalgalara karşı koruma oluşturacaktır. EMI korumasının ikincil mekanizması, elektromanyetik radyasyonla etkileşime girmek için elektrik veya manyetik dipollerin varlığını gerektiren soğurmadır. Dielektrik sabiti yüksek olan malzemeler elektrik dipolleri sağlar ve soğurma yoluyla EMI koruması sağlamış olurlar. Üçüncü mekanizma ise farklı yüzeylerde veya iç yüzeylerde meydana gelen çoklu yansımalarıdır. Dolgulu kompozitler çoklu yansıma özelliği gösterirler. Genellikle çoklu yansıma malzeme deri kalınlığından daha ince ise toplam ekranlamayı azaltır, eğer malzeme deri kalınlığından çok daha büyük kalınlığa sahipse ihmal edilebilir. Deri kalınlığı aşağıdaki formülle açıklanabilir [39].

$$\text{Deri kalınlığı, } \delta = 1/\sqrt{\pi f \mu \sigma}$$

Denklem [2.3.]

Burada f frekans, μ manyetik geçirgenlik ve σ elektriksel iletkenliktir.

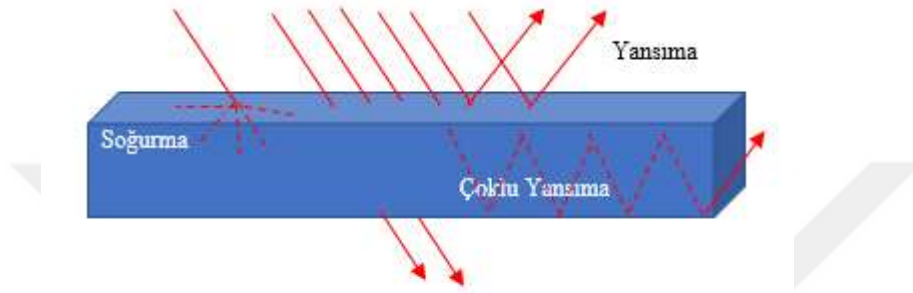
dB cinsinden ifade edilen ekranlama etkinliği, yansıma kaybı, soğurma kaybı, ve çoklu yansımaların toplamıdır [40].

Elektrik alan yönünden baskın bir EM dalga (empedansı 377ohm'dan büyük) yüksek iletkenlikli metallerle yansıtılarak ekranlanır. Bu durumda çok küçük (1 mikrometre) metal tabaka kalınlıkları ile tatmin edici seviyede (40-80 dB) zayıflatma seviyeleri elde edilebilmektedir. Diğer taraftan manyetik alanca baskın alçak frekanslardaki dalga için ekranlama, dalganın yansıtılmasından çok soğurulmasına dayanır. Ekranlama yaklaşımı iki şekilde yapılabilmektedir. Birincisi donanımın içine konacağı malzemeyi iletken bir

malzeme ile kaplamak ya da malzemenin kendisini iletken bir malzemedan yapmaktır. Maliyet ve kullanım kolaylığı açısından metal kaplamalar üzerinde birçok çalışma vardır.

Elektromanyetik dalgalar bir cismin yüzeyine çarptığında Şekil 1.1'de gösterildiği gibi yansıma, çoklu yansıma, soğurma kaybına uğrar.

EM dalgasına karşı kalkan olması için malzemenin elektromanyetik dalgayı yansıtması veya soğurması gerekir. Ekranlama etkinliğini (SE) belirleyen faktörler Şekil 2.2'de sınıflandırılmıştır [39].



Şekil 2.2. Elektromanyetik Ekranlama Mekanizmasını Gösteren Şematik Gösterimi [39].

Ekranlama etkisi, ekranı geçmek isteyen elektromanyetik enerjideki azalma miktarı yada ekranın yalıtım derecesi olarak tanımlanabilir. Ekranlama etkisi (SE) iletken bir engel, kaynakla bir nokta arasına konulduğunda söz konusu noktadaki elektromanyetik dalganın desibel seviyesinde azalması olarak tanımlanabilir.

$$S=A+R+B$$

Denklem [2.4.]

Şeklinde de ifade edilir.

A: Ekran içinde dB biriminde soğurma yada penetrasyon kaybıdır.

R: Ekranın her iki yüzeyindeki dB birimindeki yansıma kaybıdır.

B: Düzeltme terimidir. $A > 15$ dB olduğunda gözönüne almaya gerek yoktur.

Bir ekranın etkinliği veya verimi ; bir engel üzerine düşen elektrik veya manyetik alanının şiddetinin ekrandan geçen dalganın alan bileşenine oranı olarak tanımlanır. 100 dB'lik ekranlama verimliliği demek 'gelen, alanın ekran vasıtasıyla, 1/100.000 çarpanı kadar indirgenmiş olması demektir [41].

Ekranlama etkinliği EM sinyalinin olumsuz etkisine direnç gösterme yeteneği olarak da tanımlanabilir. Bir malzemenin SE veya ekranlama etkinliği (dB), hazırlanan malzemelerin geometrisi, manyetik ve dielektrik özellikleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır:

Chung ve Murat yaptığı çalışmada Elektromanyetik girişim (EMI) koruma etkinliğinin, karbon fiber ilavesiyle artırılabilir olup olmadığını incelemek adına 200-2000 MHz frekans aralığında ölçüm yapmışlardır. Karbon fiber üzerindeki nikel kaplamanın, elektriksel iletkenlik ve manyetik geçirgenlikteki artış nedeniyle SEA soğurma kaybını artırarak karbon fiber çimentonun koruma etkinliğini (200-2000 MHz frekans aralığında) geliştirdiğini gözlemlemişlerdir [1]. Hongtao ve arkadaşları farklı düzenlemelerde üretilmiş olan karbonfiberleri elektro kaplama yaparak 200-2000 MHz frekans aralığında ekranlama etkinliklerini düzenleme ve kaplamaya göre incelemişlerdir. Nikel varlığının ekranlama etkinliğini arttırdığı sonucuna varmışlardır [6]. Halil Keskin yaptığı tez çalışmasında karbon fiberlerdeki örgü tipi, laminat kalınlığı ve lif yöneliminin ekranlama etkinliği üzerindeki etkisinin araştırılması için PAN esaslı beş farklı örneğin ekranlama etkinliği değerleri ASTM D4935-18 standardınca üretilen ölçüm aparatları ile deneysel olarak belirlemiştir. Buna göre örgü tipinin ekranlama etkinliği üzerindeki etkisi için Düz 200 ile Dimi 200 kodlu numunelerin sonuçları incelenmiş ve değişen örgü tipinin ekranlama etkinliğini az da olsa değiştirdiği sonucuna ulaşılmıştır [42]. Çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) - yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kompozitler üzerine akımsız nikel kaplama uygulanmış ve nikel kaplı kompozitlerin HDPE ve saf MWCN- HDPE kompozitlerinden daha yüksek EMI'ye sahip olduğu tespit edilmiştir [52].

2.2.1. Ekranlama Etkinliği Ölçüm Metotları

Günümüzde bir malzemenin elektromanyetik koruma etkinliğini belirlemeye yönelik olarak çoğunlukla kullanılan metotlar şunlardır;

- 1) Açık Alan Metodu (Open Field Or Free Space Test)
- 2) Ekranlı Kutu Metodu (Shielded Box Test)
- 3) Eş Eksenli İletim Hattı (Coaxial Transmission Line Test)
- 4) Ekranlı Oda Metodu (Shielded Room Test)

Açık alan veya boş alan yöntemi, bir elektronik cihazdan yayılan emisyonların yanı sıra iletken emisyonları ölçmek ve böylece tam bir elektronik düzeneğin pratik SE'sini tahmin etmek için kullanılabilir. Test yöntemi, cihazın bir alıcı antenden 30 m uzaklıkta

yerleştirilmesini veya yayılan emisyonların kaydedilmesini içerir. Aynı testte, elektrik hattından aşağı iletilen emisyonlar da not edilir. Sonuçlar, üretilen EMI seviyesini belirleyen bir gürültü seviyesi ölçer ile belgelenir [39].

Ekranlı kutu yöntemi, farklı ekranlama malzemelerinin test numunelerinin ölçümleri için geniş çapta kullanılmaktadır. Korunmalı kutu tekniği, metal bir kutu ve bir duvarda bir numune portu bulunan ve buna bir alıcı anten bağlı olan bir tekniktir. Kutunun dışında bir verici anten bulunur ve anten tarafından algılanan sinyallerin yoğunluğu, üzerine bir test numunesi takılıyken veya takılmadan port aracılığıyla kaydedilir. Kutunun hem içinden hem de dışından gelen elektromanyetik sinyaller kaydedilir ve SE'yi gösteren sinyaller arasındaki oran ile karşılaştırılır [39]. Bu yöntemin dezavantajı, test numuneleri ile korumalı kutu arasında yeterli temasın sağlanmasının kolay olmamasıdır. Aynı numune için farklı laboratuvarlardan alınan sonuçlar farklıdır. Bu yöntem genellikle 500 MHz'i aşan frekanslar için başarısız olur.

SE ölçümü için koaksiyel iletim hattı yöntemi, bu yöntem korumalı kutu tekniğinin dezavantajlarını ortadan kaldırdığı için tercih edilen yöntemdir. Bu tekniğin en önemli avantajı, aynı numune için farklı laboratuvarlardan benzer sonuçların alınmasıdır. Ayrıca SE ölçümü sırasında elde edilen veriler bileşenlere çözümlenebilir. Küçük halka şeklindeki numuneler testi gerçekleştirmek için uygundur. Spesifik frekanslardaki ölçümler, modüle edilmiş bir sinyal üretici, kristal detektör ve ayarlı amplifikatör yardımıyla kaydedilebilir. Değişken zayıflatıcı maksimuma ayarlanır ve sinyal seviyesi not edilir. Bir sonraki adım, numune tutucuyu hatta yerleştirmek ve zayıflatıcıyı daha önce olduğu gibi aynı okumaya ulaşılan kadar azaltmaktır. Elde edilen sinyalin zayıflaması, doğrudan numunenin SE'sini verir. İşlem, yanıt spektrumunu elde etmek için bir dizi farklı frekansta tekrarlanır. Noktadan noktaya yaklaşımda, bir spektrum elde etmek için daha fazla zamana ihtiyaç duyulurken, süpürme modunda spektrum analizörü, sistemin yanıtını birkaç dakika içinde bir görüntüleme ekranında tek bir eğri olarak görüntüler. Standart koaksiyel kablolar, yaklaşık 80 dB'lik bir dinamik aralık sağlayabilir. Amerikan Test ve Malzeme Derneği, ASTM D4935-99, düzlemsel numunelerin SE'sinin ölçümü için koaksiyel iletim hattı tekniğini standart yöntem olarak kabul etmiştir [43].

Ekranlı oda en gelişmiş yöntemdir ve ekranlı kutu yönteminin eksikliklerini gidermek için geliştirilmiştir. Genel prensip, ölçüm sistemi, sinyal üretici, verici anten, alıcı anten ve kaydedici bileşenlerinin her birinin, parazit olasılığını ortadan kaldırmak için ayrı odalarda izole edilmesi dışında, ekranlı kutu yöntemine benzerdir. Ek olarak, antenler oda boyutundaki yankısız odalara yerleştirilmiştir ve test numunesi boyutunun alanı büyük

ölçüde artar, tipik olarak 2.5 m² civarındadır. Bu yöntemin korumalı (ekranlı) kutu yöntemiyle karşılaştırılması, elde edilen tutarlı sonuçların frekans aralığının büyük ölçüde genişletilebileceğini ve verilerin yeniden üretilebilirliğinin önemli ölçüde artırıldığını ortaya koymaktadır [39].

2.1. EMI Kalkanlama Malzemeleri

Ekranlama Etkinliğini sağlamak için kullanılan malzemeler arasında metaller, karbonlar, seramikler, çimento, polimerler, hibritler ve kompozitler bulunur. Metaller ve karbonlar ana fonksiyonel malzemelerdir. Seramikler, çimento ve polimerler, işlevsel bir malzeme ile birleştirilmedikçe tipik olarak ekranlama etkinliğinde çok etkili değildir. Çok sayıda mikrokarbon ve nanokarbon türünün mevcudiyeti nedeniyle, metal-karbon, seramik-karbon, çimento-karbon ve polimer-karbon kombinasyonları şeklindeki koruyucu malzemeler dikkat çekmektedir [44]. Yapısal koruyucu malzemeler arasında sürekli karbon fiber kompozitler ve çimento esaslı malzemeler baskındır. Metaller ve karbonlar, yüksek iletkenlikleri ve radyasyondaki elektrik alanı ile etkileşime girmek için mobil elektronların buna bağlı mevcudiyeti nedeniyle Ekranlama Etkinliğinde kullanılan ana malzemelerdir. Seramik ve çimento daha az etkilidir, ancak içlerindeki iyonlar radyasyondaki elektrik alanıyla etkileşime girebilir. Polimerler, iletken tipte olmadıkça Ekranlama Etkinliğinde daha da az etkilidir. Herhangi bir malzeme türü için, bir manyetik bileşenin varlığı, manyetik bileşenin radyasyondaki manyetik alan ile etkileşimi nedeniyle, korumaya yönelik soğurma katkısını artırır. Karbon liflerinden yapılmış kompozitler 1020 çelik konstruksiyonlardan 5 kat daha dayanıklı ve 1/5 ağırlığındadır. Aynı şekilde 6061 alüminyum konstruksiyonlarda 7 kat daha dayanıklı iken, 2 kat daha sert ve 1,5 kat daha hafiftir.

2.1.1. Karbon Fiber ve Kullanım Alanları

Karbon lifleri, 40 yıllık bir gelişim süreciyle beraber özel kullanım alanı bulmaları sayesinde ticari olarak üretilmeye başlamıştır. Karbon liflerinin üretiminde, organik kökenli hammaddelerin ısıtılması sonucu karbon dışındaki diğer atomlar uzaklaşmakta böylece karbon atomlarından oluşmuş filamentler elde edilmektedir. Bu filamentlerin kristalizasyonundan sonra yüksek mukavemetli lifler elde edilmektedir. Poliakrilnitril lifleri, bitkisel esaslı hammaddeler, katran tortusu ve zift, polivinilidenklorür veya polivinilidenklorür kopolimerlerinden elde edilen karbon liflerinin özellikleri, hammadde ve

işlem koşullarına bağlı olmaktadır [45]. Fakat günümüzde her ne kadar farklı öncüllerden üretilen karbon fiberler mevcut olsa da zift ve PAN esaslı karbon fiberler sahip olduğu özelliklerden dolayı halen daha ticari açıdan çok önemli bir yere sahiptir. Üretilen karbon fiberler izotropik yapıda olabileceği gibi anizotropik yapıda da olabilir. Bu durum karbon fibere ait elektriksel özellikleri etkilediği gibi karbon fiberin dayanımsal davranışını da değiştirir. Bir başka ifadeyle zift veya PAN esaslı öncülden türetilen izotropik yapıdaki bir karbon fiber, anizotropik yapıya göre daha dayanıksızdır [42]. Bu sebeple izotropik yapıdaki fiberler daha çok genel amaçlar için tercih edilirken, yüksek performans ve dayanım gerektiren işlerde anizotropik yapıdaki karbon fiberler tercih edilir.

Karbon malzemeler (örn. grafit, grafen, karbon fiber, karbon nanofiber ve karbon nanotüp) sadece elektriksel olarak iletken olmakla kalmaz, aynı zamanda geniş bir frekans aralığında elektromanyetik radyasyonun iyi soğurucularıdır. Farklı karbon türleri iletkenlik, yapı, morfoloji ve maliyet açısından büyük farklılıklar gösterir [45]. Karbon nanofiber orijinal olarak karbon filament olarak bilinir.

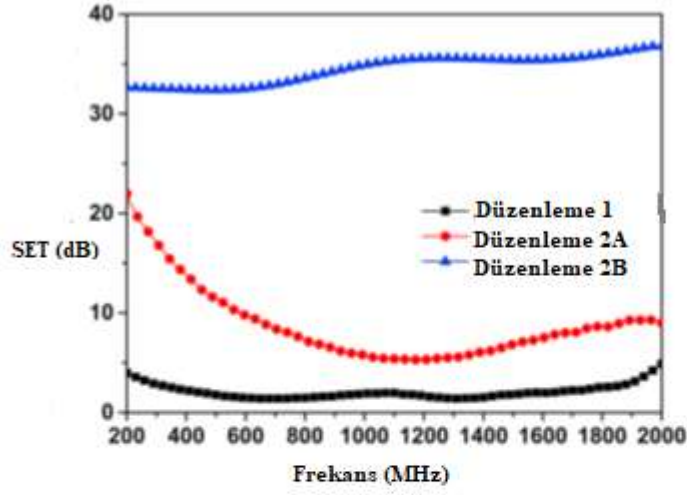
Karbonun aktivasyonu, yüzey gözenekliliği ile sonuçlanan kimyasal bir reaksiyonu içerir. Yüksek yüzey alanı nedeniyle aktif karbon fiber, aktivasyona uğramamış karşılık gelen karbon fiberden daha etkili koruma sağlar [47]. Aktivasyon, fiberin mukavemetini ve modülünü azaltır, böylece aktivasyon derecesi daha büyükse azalma daha belirgin olur. Bu nedenle, karbon fiber yapısal kullanım için ise aktivasyon hafif olmalıdır. Bununla birlikte, fiber yapısal kullanım için değilse, aktivasyon kapsamının sınırlandırılmasına gerek yoktur.

Kısmen yüksek yüzey alanları ve Cilt Etkisi nedeniyle, grafen, karbon nanofiber ve karbon nanotüp gibi nanokarbonlar ekranlama için etkilidir. Nanokarbonu belirli bir matris içinde dağıtmak yerine, bir kompozite dahil edilebilen nanokarbon kağıdı (karbon nanotüp kağıdı gibi) oluşturmak mümkündür [48].

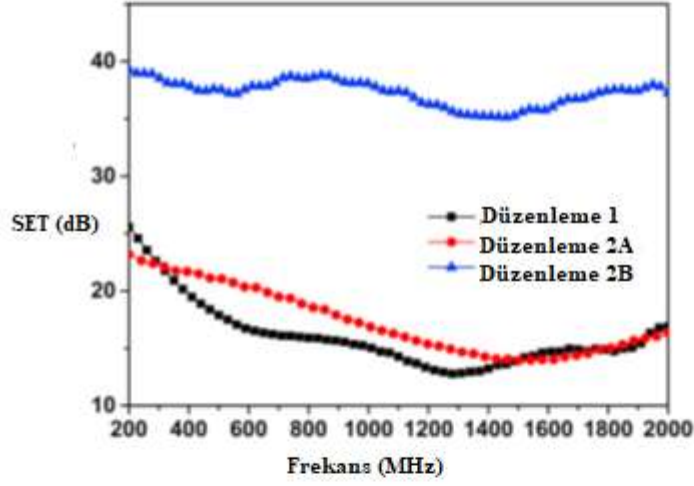
Nikel kaplama, kaplanmamış karbon nanofibere yüksek iletkenlik ve manyetik karakter sağlar. Ekranlama etkinliğinin mekanizmaları yansıma ve soğurmadır [55]. Birincil mekanizmanın başarması için uygun miktarda iletkenlik gereklidir [55]. Bununla birlikte, yüksek iletkenlik, ekranlamanın verimliliğini güçlendirir [55]. Bir polimerde dolgu maddesi olarak nikel kaplı karbon nanofiberin kullanımı, %7 hacim dolgu içeriğinde 87 dB (1-2 GHz) koruma etkinliği sergileyen bir kompozit malzeme ile sonuçlanır [49]. Çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) - yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kompozitler üzerine akımsız nikel kaplama uygulanmış ve nikel kaplı kompozitlerin HDPE ve saf MWCN- HDPE kompozitlerinden daha yüksek EMI'ye sahip olduğu tespit edilmiştir [52].

İletkenliği ve manyetizması nedeniyle nikel, koruma etkinliğini arttırmak için karbon fiberler için etkili bir kaplama malzemesidir [50]. Kaplamasız ve nikel kaplı sürekli karbon fiberler, üç düzlemsel düzenlemeye göre karşılaştırılmıştır [6]. Şekil 2.3.(a) ve (b)'de gösterildiği gibi, “Düzenleme 2B”, fiber kaplanmış olsun veya olmasın, “Düzenleme 2A”dan çok daha yüksek ekranlama etkinliği vermiştir. Ancak her bir düzenleme için Ni kaplama Ekranlama Etkinliğine önemli bir katkı sağladığı görölmektedir.

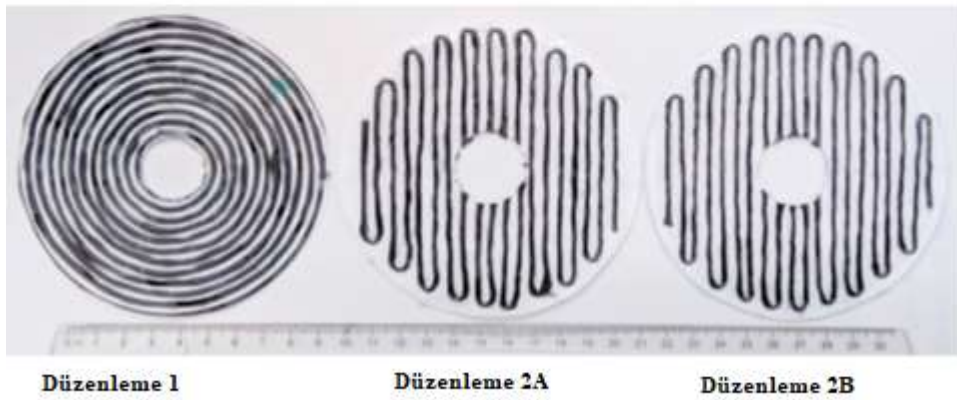




(a)



(b)



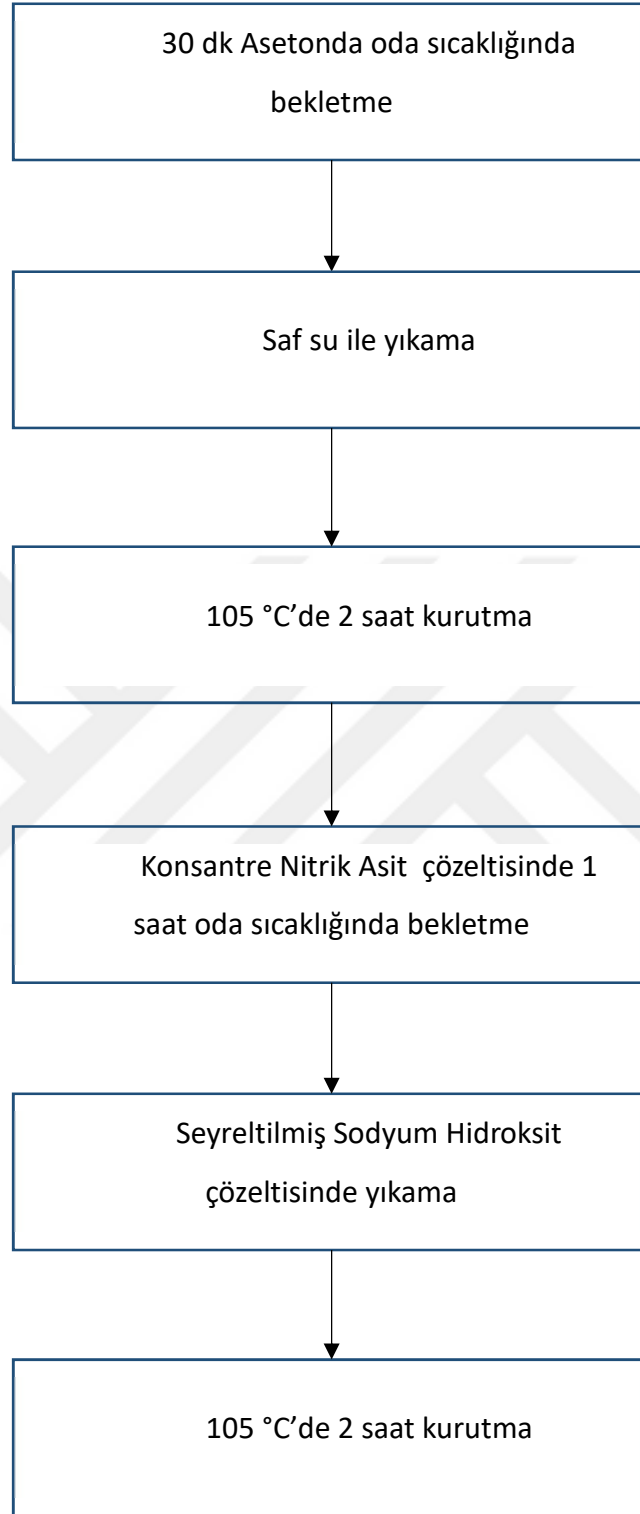
(c)

Şekil 2.3. a. Kaplamasız Karbon Fiberlerin Farklı Düzenlemelerdeki Soğurma Kaybı b. Nikel Kaplı Karbon Fiberlerin Farklı Düzenlemelerdeki Soğurma Kaybı c. Farklı Düzenlemelerdeki Karbon Fiberlerin Fotoğrafı [6].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Yüzey Hazırlama

Çalışma için Poliakrilnitril esaslı 3K Düz Dokuma 200 g/m² Karbon fiber kumaş temin edilmiştir. Karbon Fiber kumaşın teknik bilgileri Ek-1’de sunulmuştur. Karbon Fiber kumaşlar elektro manyetik ekranlama testi için yayınlanan ASTM 4935 standardı gereğince 133 mm çapında hazır hale getirilmiştir [43]. Kaplama işlemlerine başlamadan önce yüzey aktiveştirme adımları uygulanmıştır. İlk denemede yüzey aktifliği aseton ve kurutma adımlarıyla yapılmaya çalışılmıştır. Ancak bu ön işlemler kaplama işleminin başarısız şekilde gerçekleşmesine sebep olmuştur. Sonrasında daha detaylı bir yüzey hazırlama uygulanmıştır. Bu yüzey hazırlama için uygulanan adımlar aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.1. Yüzey Hazırlama Adımları

3.2. Elektrokaplama İşlemi

Kaplama için öncelikle banyo hazırlama işlemi mekanik karıştırıcı ile homojen hale getirilmiştir. Farklı akım ve kaplama süresi parametreleri kullanılarak kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kaplama işleminde hazırlanan banyo içeriği Tablo 3-1 'de listelenmiştir. Banyo pH'ı 5.5 olarak ölçülmüştür. Kaplama banyosunda anot ile katot arası mesafe 7 cm'dir. Anot ile katot arası mesafe arttıkça birikim azalır.

Tablo 3-1 Elektrolitik Kaplama Banyo Bileşenleri

Banyo Bileşenleri	İçerik (g/L)
NiSO ₄	300g/L
NiCl ₂	70g/L
H ₃ BO ₃	45g/L
Taşıyıcı	17 ml
Düzeltilici	13 ml

Elektro kaplama banyosu ve güç kaynağı Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. 133 mm çapında hazırlanmış olan karbon fiber kumaşlar nikel plaka anot kullanılarak kaplanmıştır. Elektro kaplama işleminde akım monitörden ayarlanmıştır. Banyo sıcaklığı 55°C'dir. Farklı kaplama süresi ve değişik akım yoğunluklarında yapılan kaplamalar Tablo 3-2'de verilmiştir. Kaplama işlemi sonrasında numuneler saf su ile yıkanarak 2 saat süre boyunca 105 °C'de kurutulmuştur.

Tablo 3-2 Kaplama Parametreleri

Numune Kodu	Akım Yoğunluğu (A/dm ²)	Süre (dakika)
A	5,5	30
B	7,3	30
C	7,3	45
D	5,5	45
E	8,7	30
F	Akımsız	60



Şekil 3.2. a. Elektro Kaplama Banyosu b. Güç kaynağı

3.3. Akımsız Kaplama İşlemi

Karbon fiber kumaşın elektro kaplama işlemindeki gibi öncelikle yüzey aktifleştirme adımı gerçekleştirilmiştir. Banyo sıcaklığı 85°C ve Ph: 4.3'tür Akımsız kaplama banyosu Şekil 3.3.'de gösterilmiştir. Kaplama banyosunda nikel besleme olarak 330 g/L Nikelsülfat (NiSO_4), İndirgeyici olarak 400 g/L Sodyum Hipofosfit (NaH_2PO) kullanılmıştır. Kaplama süresi 1 saattir.



Şekil 3.3. Akımsız Nikel Kaplama Banyosu

3.4. Ağırlık Artışı

Yüzde ağırlık artışını hesaplayabilmek adına aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\%m = \left(\frac{m-m_0}{m_0} \right) \quad \text{Denklem [3.1.]}$$

m_0 : Kaplamadan önceki karbon fiber kumaş ağırlığı

m : Nikel Kaplanan karbon fiber kumaş ağırlığı

Teorik olarak elektro kaplamada ağırlık artışlarını hesaplamak için Faraday Yasası kullanılmıştır. Bir eşdeğer gram madde açığa çıkaran elektrik miktarına 1 Faraday denir.

Faraday Yasası matematiksel olarak aşağıdaki formülde verilmiştir.

$$m = \left(\frac{A}{n} \right) \cdot i \cdot t \quad \text{Denklem [3.2.]}$$

M : Elektrotlarda açığa çıkan madde miktarı, g

A : Atom ağırlığı, g

n : Tesir değeri,

i : Devreden geçen akım şiddeti, Amper

t : Akımın geçme süresi, saniye'dir.

3.5. SEM Analizi

Nikel biriktirilmiş Karbon fiberin mikro yapısı görüntüleri Leica ACE 600 model elektron mikroskobu kullanılarak elde edilmiştir. Numuneler tutucu boyutlarında hazırlandıktan sonra Şekil 3.4'de görülen numune tutucuya yerleştirilmiş ve sonrasında görüntüler alınmıştır. Ayrıca, yüzeyde elementleri ve miktarlarını belirlemek için EDS (Energy Dispersive Spectrometry) analizleri de yapılmıştır.



Şekil 3.4. Leica ACE 600 Tutucu Aparatı

3.6. Ekranlama Etkinliği Ölçümü

Ekranlama Etkinliğini ölçebilmek adına çalışmada koaksiyel iletim hattı yöntemi kullanılmıştır. Deneyler, düzlemsel malzemelere ait elektromanyetik ekranlama etkinliğinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan ASTM D4935 standardına uygun yapılmıştır [43]. Her noktada 50Ω karakteristik empedans değerinin sağlanması amacıyla belli büyüklükteki silindirik iletkenler ile özel konik yapılardan üretilmiş ölçüm aparatı kullanılmıştır. Empedans uyumluluğunun sağlanıp güç transferinin maksimum şekilde gerçekleşebilmesi için ölçüm sisteminde tercih edilen sinyal üretici, alıcı yapı ve iki kat ekranlanmış koaksiyel kabloların da 50Ω empedans değerine sahip olması gerekir. Test altındaki materyalden yansıyan dalgaların, ölçüm ekipmanlarında ve ölçüm sisteminde hasar bırakmasını önlemek adına 50Ω karakteristik empedansa sahip 10 dB'lik iki adet zayıflatıcı ölçüm sisteminde kullanılmıştır. Kaplama parametreleri Tablo 3-2'de özetlenen nikel kaplamalı ve kaplamasız karbon fiber numunelerin 300-1500, 2170-3300, 3300-4900 MHz olmak üzere 3 ayrı frekans aralığında elektromanyetik kalkanlama ölçümü yapılmıştır. Böylece numunelerin yansıma kaybı, soğrulma kaybı ve toplam ekranlama etkinliği değerleri ölçülmüştür. Agilent E8363B model VNA ile elde edilen saçılma parametreleri Formül 3.2, Formül 3.3, Formül 3.4 ve Formül 3.5 eşitliklerine göre karbon fiber kompozitlerin elektromanyetik ekranlama etkinliği hesaplanmıştır [18]. Elektromanyetik dalgaın numuneler üzerindeki etkileşimi, ağ portlarının her birinde yansıyan ve gelen güç dalgaları arasındaki ilişki hakkında bilgi veren saçılma parametrelerinden (S-parametreleri) değerlendirilmiştir. S11; port 1'den çıkan ve bağlantı noktası 1'e giren dalgaın oranıdır ve S21; bağlantı noktası 2'den çıkan ve bağlantı noktası 1'e giren dalgaın oranıdır.

$$SE_R = 10 \cdot \log(1 - |S_{11}|^2) \text{ (dB)}$$

Denklem [3.3.]

$$SE_A = 10 \cdot \log\left(\frac{|S_{21}|^2}{1 - |S_{11}|^2}\right) \text{ (dB)}$$

Denklem [3.4.]

$$SE_M = 10 \cdot \log\left|1 - 10^{-\frac{SE_A}{10}}\right| \text{ (dB)}$$

Denklem [3.5.]

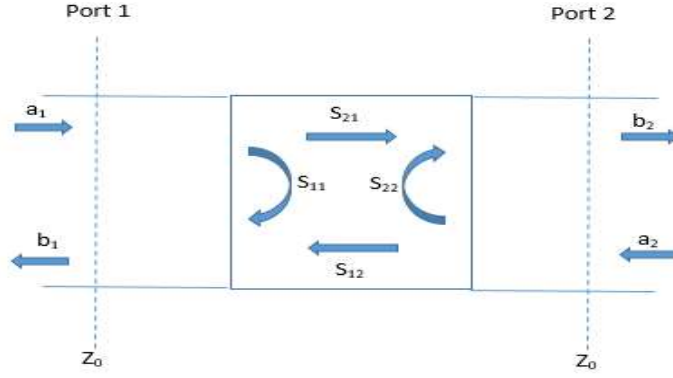
$$SE = SE_R + SE_A + SE_M \text{ (dB)}$$

Denklem [3.6.]

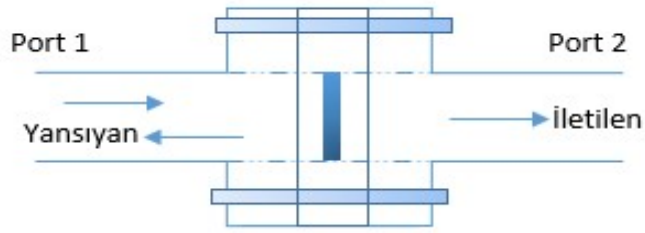


Şekil 3.5. Koaksiyel iletim hattı yöntemi ölçüm düzeneği a. Genel Düzen b. Ölçüm Aparatı

Şekil 3.6. S parametrelerini analiz etmek için kullanılan iki bağlantı noktası kurulumunun şemasını ve ayrıca bu iki bağlantı noktası kurulumunun dalga kılavuzlu biçimde temsilini gösterir.



a



b

Şekil 3.6. a. S-parametrelerini ölçmek için kullanılan iki port kurulumunun şematik gösterimi ve b. dalga kılavuzlu biçimde iki port kurulumunun temsili [16].

Temel olarak sistem, yansıyan, iletilen ve soğurulan elektromanyetik dalgaya sahip bir dalga kılavuzundan oluşur. İki portlu kurulumda ölçülen, yansıyan (R), iletilen (T) ve emilen (A) enerji hakkında bilgi verir.

$$1=R+T+A(1)$$

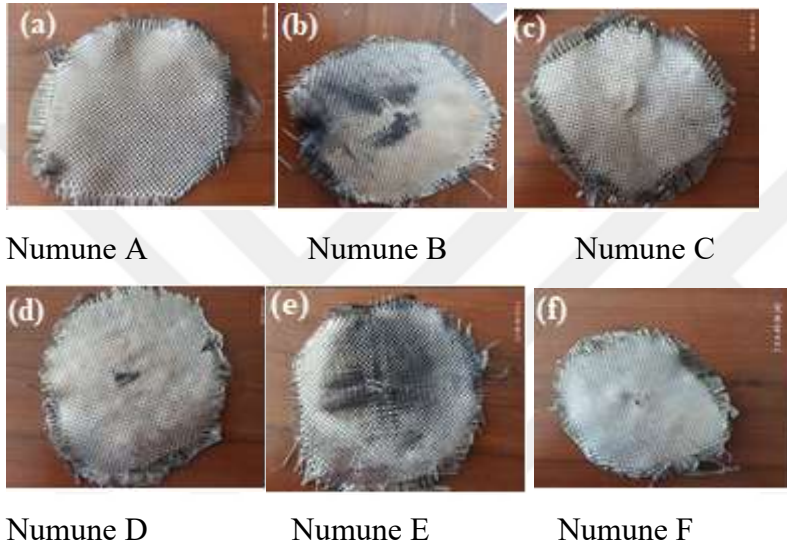
Denklem [3.7.]

burada R ve T, $R = |S_{11}|^2$ ve $T = |S_{21}|^2$ olarak verilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Elektrokaplama ve Akımsız Nikel Kaplama

Detayları Tablo 3-2 'de listelenen ve farklı akım ve sürelerde nikel elektrokaplama ve akımsız kaplama yapılmış karbon fiber numunelerin kaplama sonrası fotoğrafları Şekil.4.1.'de görülmektedir.



Şekil 4.1. a. 5,5 A/dm² 30 dk b. 7,3 A/dm² 30 dk c. 7,3 A/dm² 45 dk d. 5,5 A/dm² 45 dk e. 8,7 A/dm² 30 dk Nikel Elektrokaplama ve f. Akımsız Nikel Kaplama

4.2. Ağırlık Artışı

Kaplama öncesi ve sonrası hassas terazi ile yapılan ölçümler ile denklem 3.1 kullanılarak numunelerin ağırlık artışı hesaplanmıştır. Her numune için ağırlık artışları Tablo 4-1'de listelenmiştir. Bu ağırlık artışları kaplanan nikel miktarını ispatlamaktadır. En fazla ağırlık artışı akımsız kaplama ile elde edilmiştir. Elektro kaplamada en iyi kaplama verimliliği 8,7 A/dm² ile kaplanan numunede gerçekleşmiş olup akım verimliliği %98'dir.

Tablo 4-1 Ağırlık Artışları

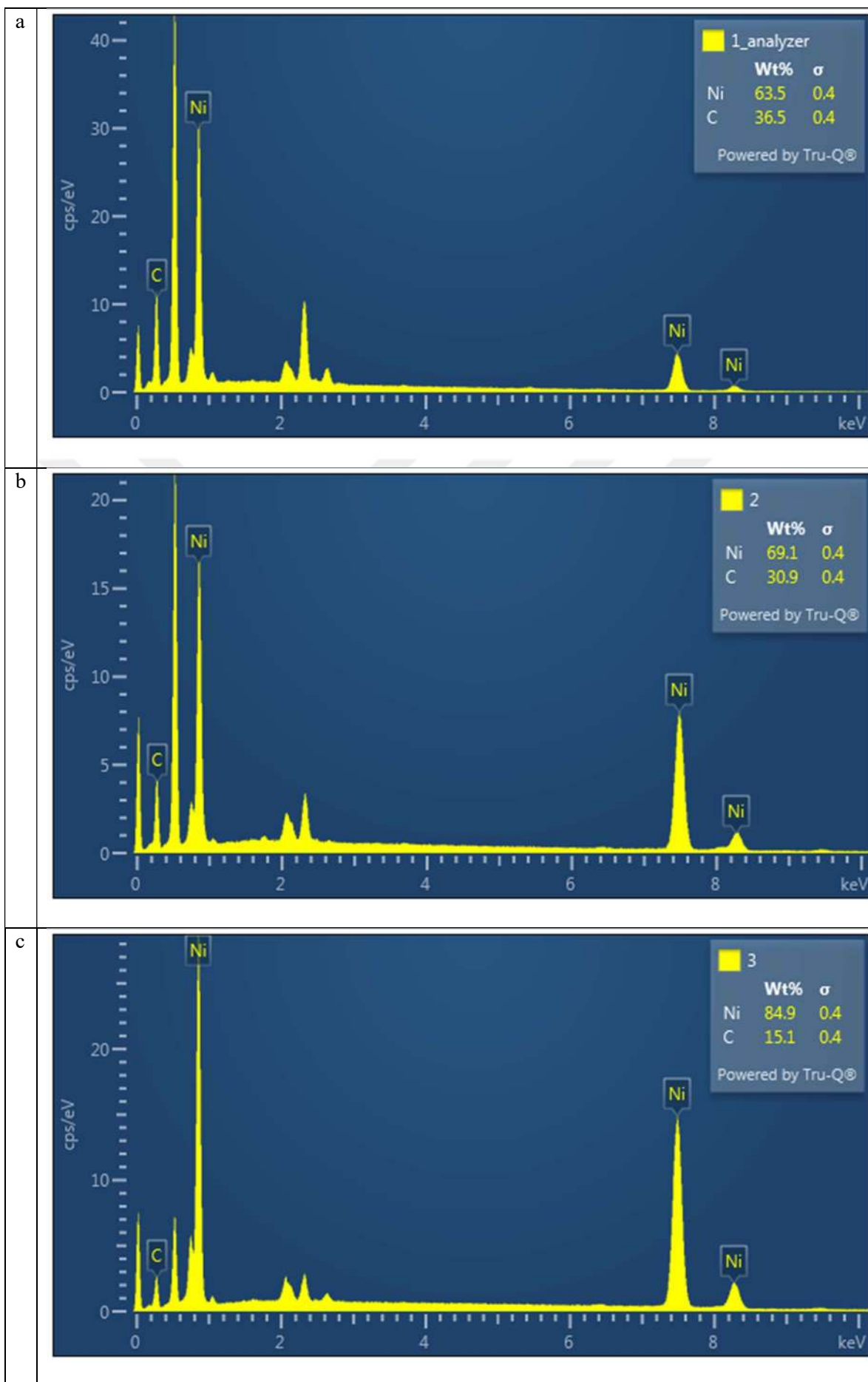
Numune Kodu	Ağırlık Artışı (%)
A	122,4
B	129,4
C	167,5
D	140,4
E	219,3
F	189,3

4.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizi

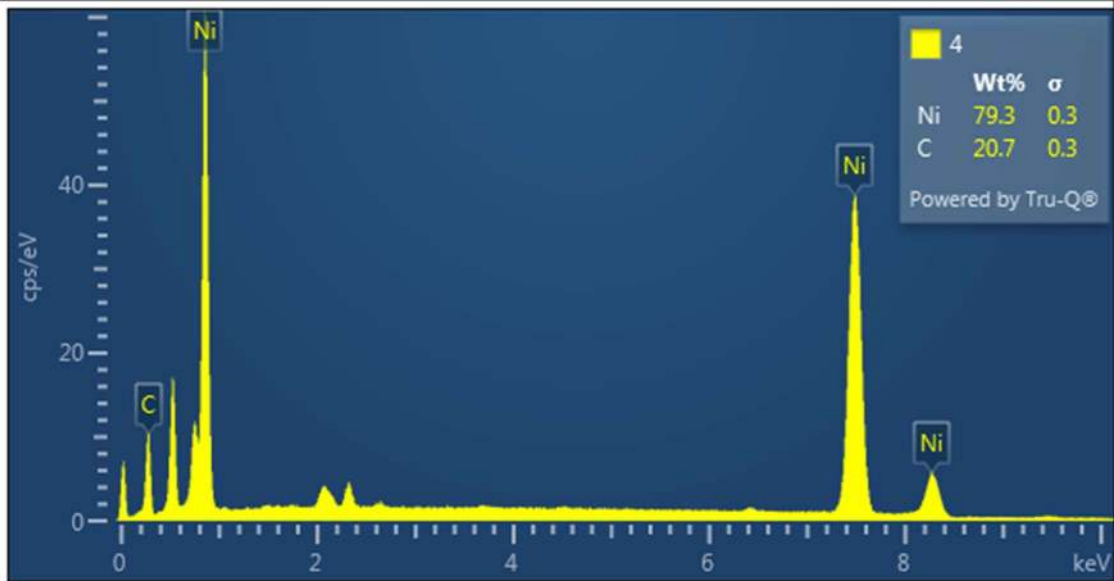
Şekil 4.1 'de kaplanan her numune ve kaplamasız numune için elementel analiz (EDS-Energy Dispersive Spectrometry) sonuçları verilmiştir. Grafikleri Şekil 4.2.'de verilen EDS sonuçları nikel varlığını ispatlamakta ve kaplamanın başarılı şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Ni varlığı, kaplamada akım şiddeti ve süre arttıkça artış göstermiştir. EDS sonucu çıkan nikel yüzde miktarları Tablo 4.2'de listelenmiştir. Tablo 4.1 ve 4.2 karşılaştırıldığında; Ni yüzdelерinin ağırlık artışı ile paralel olduğu görülmektedir.

Tablo 4-2 Numunelerin EDS analizindeki Ni Yüzdeleri

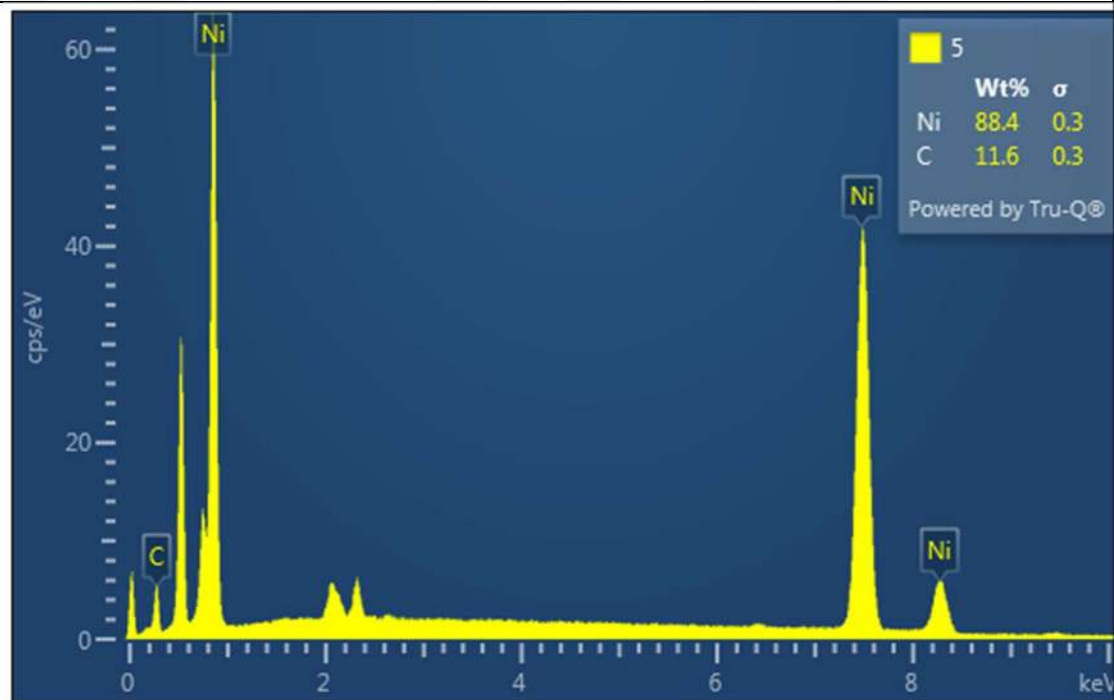
Numune Kodu	Ni Yüzdesi(%)
A	63.5
B	69.1
C	84.9
D	79.3
E	88.4
F	85.8

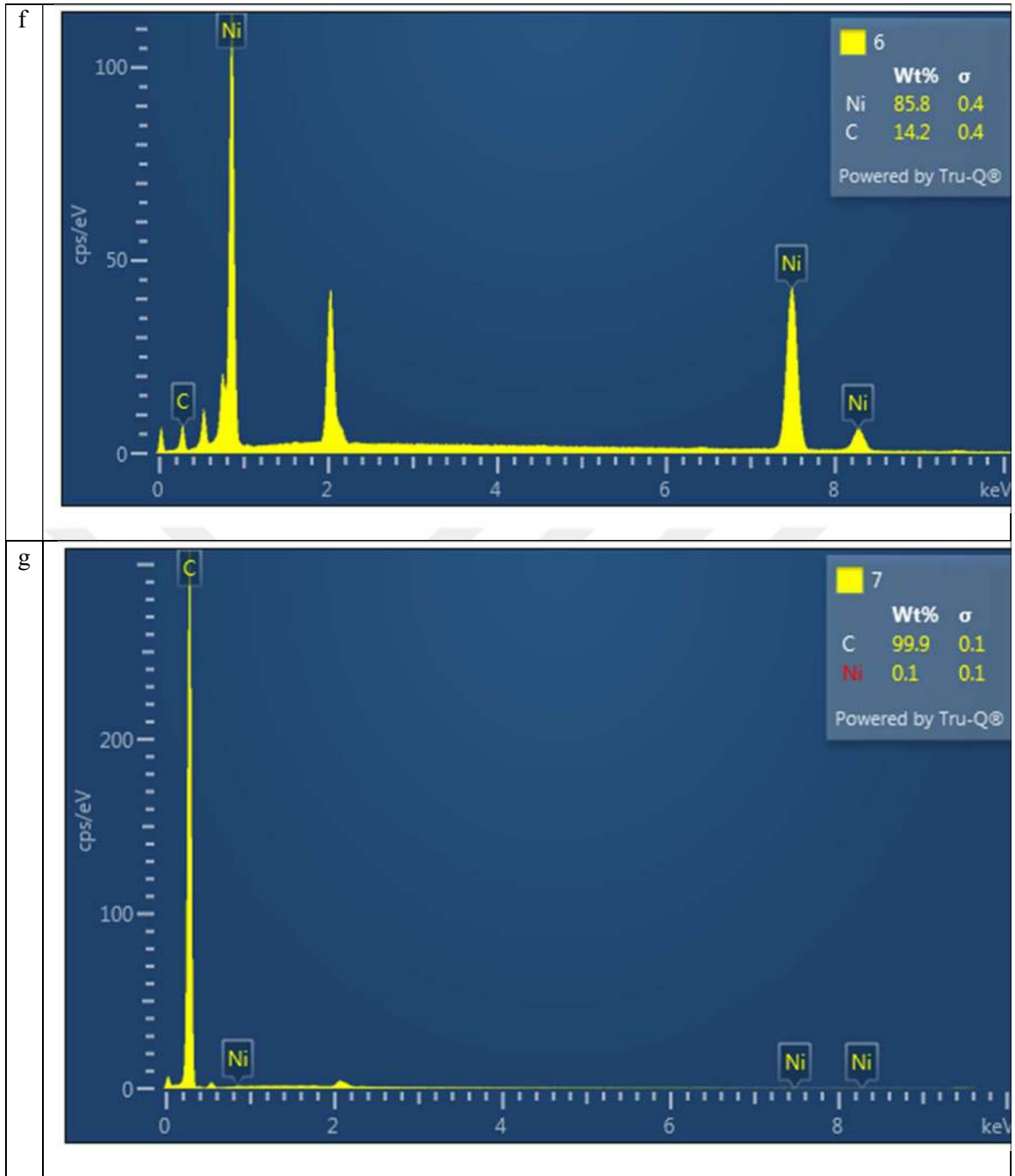


d



e

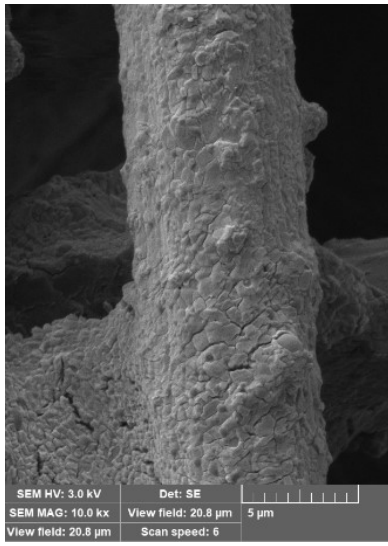




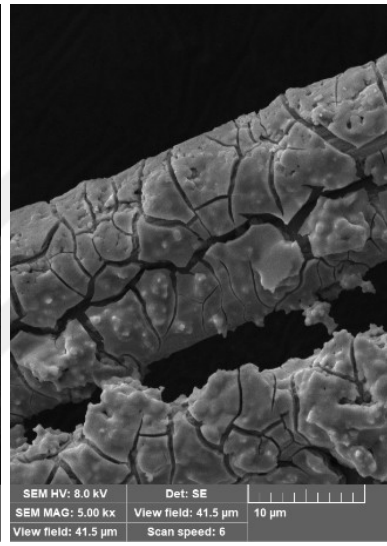
Şekil 4.2. Numune a. A b. B c. C d. D e. E f. F ve g. Kaplamasız Numuneler için EDS Analizleri

SEM analizleri sırasında farklı akım ve sürelerde karbon fiber yüzeyinde nikel elektrokaplama ve akımsız nikel kaplama yapılmış numunelerin 10 000 büyütmede görüntüleri alınmıştır. Tablo 3-2’de listelenen her numune için Şekil 4.3.a-f’de verilen mikroskop görüntülerinde kaplanan nikel birikimi görülmektedir. Şekil 4.3-g ise kaplanmamış karbon fiberin çıplak yüzeyini göstermektedir. 5,5 A/dm²’de gerçekleştirilen elektro kaplama (Şekil 4.3.a) ile akımsız Ni kaplanan numune (Şekil 4.3.f) görüntüleri karşılaştırıldığında

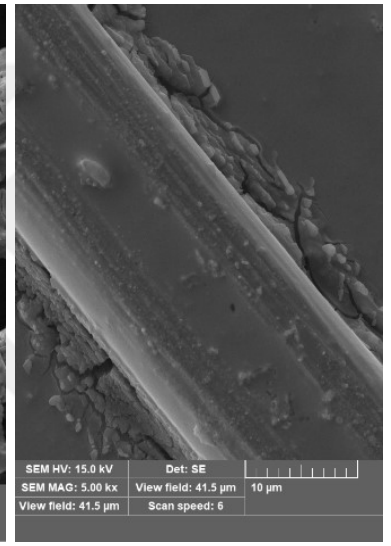
kaplamalarda Ni parçacıkların üniform şekilde dağıldığı gözlenmektedir. Ancak Şekil.4.3-a ile Şekil.4.3-b karşılaştırıldığında sabit kaplama süresinde $7,3 \text{ A/dm}^2$ uygulanan akımda oluşan yüzeyde $5,5 \text{ A/dm}^2$ uygulanan akıma nazaran daha kaba bir Ni yüzeyi görülmektedir. Benzer şekilde, Ayoub Darvishzadeh ve diğerlerinin 2021 yılında yaptığı çalışmada EDS ve SEM analizlerinde düşük galvanik parametrelerde kaplama yapılan numunelerde Ni birikmesinin düzgün bir tabaka oluşturduğu, parametreler (akım yoğunluğu ve süre) arttıkça ise yüzeyde üniform olmayan şekiller oluştuğu gözlemlenmiştir [16]. Ayrıca, Rani Rohini ve diğerlerinin 2019 yılında yaptığı çalışmada da artan akım yoğunluğu ile beraber Ni birikmesinin daha kaba bir yüzey oluşturduğu gözlemlenmiştir [18].



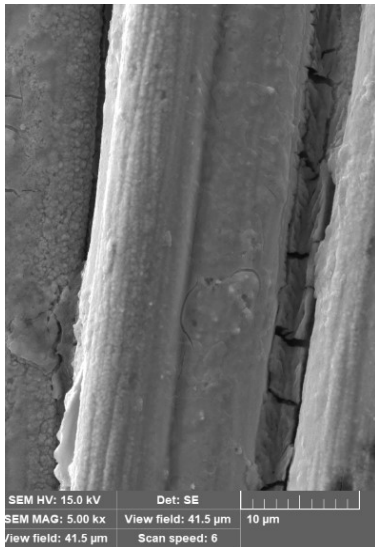
(a)Numune A



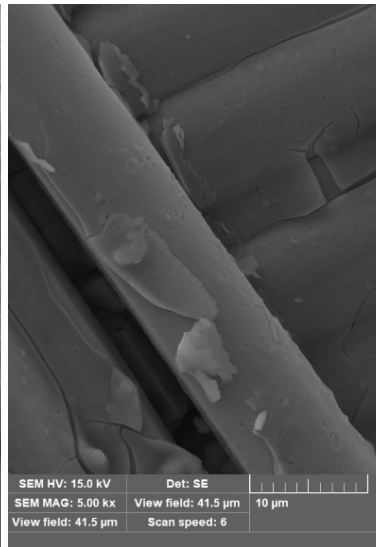
(b)Numune B



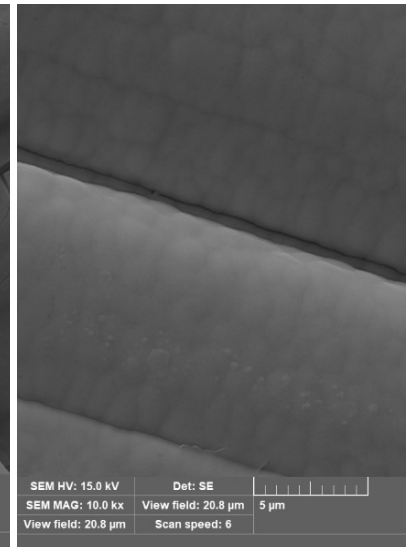
(c)Numune C



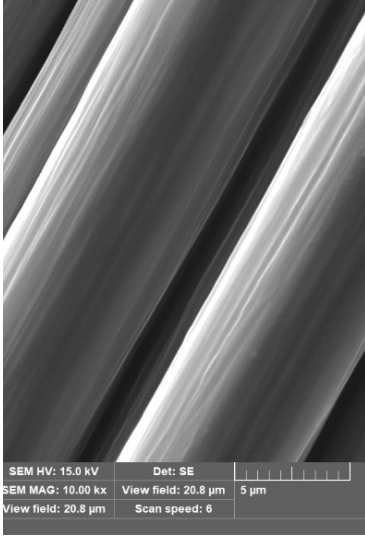
(d) Numune D



(e)Numune E



(f)Numune F



(g) Numune G

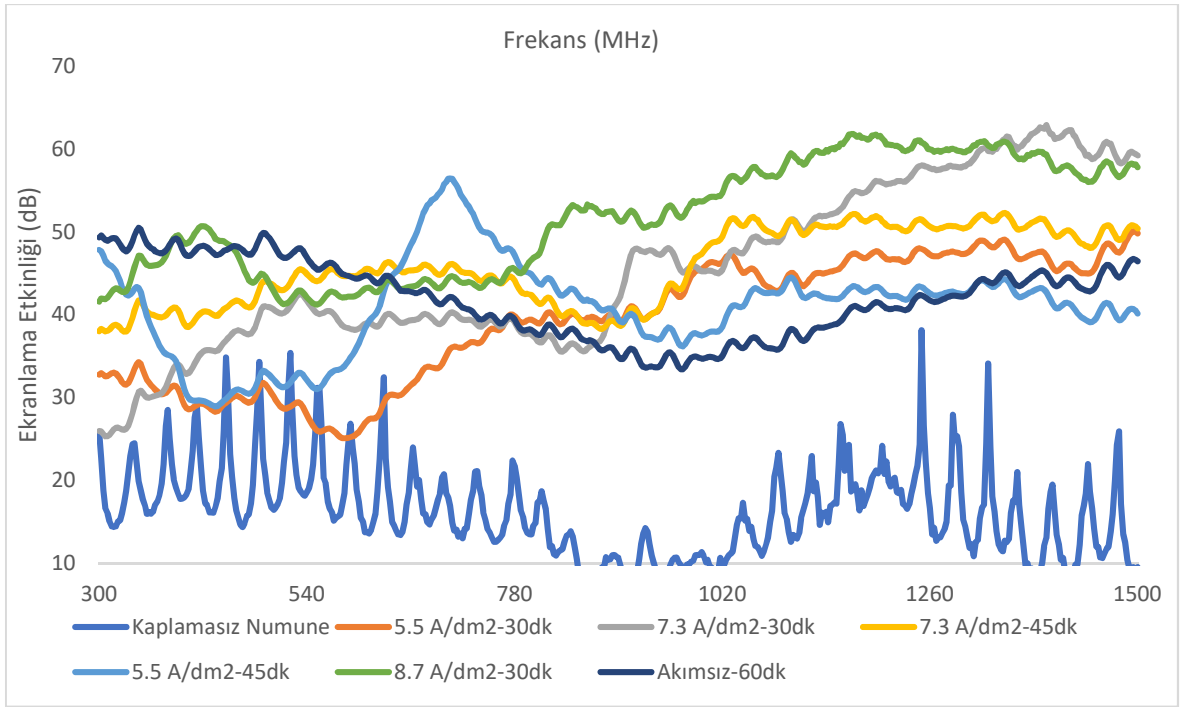
Şekil 4.3. Numune a. A b. B c. C d. D e. E f. F ve g. Kaplamasız Numuneler için SEM Görüntüleri

4.4. Elektromanyetik Kalkanlama Ölçüm Sonuçları

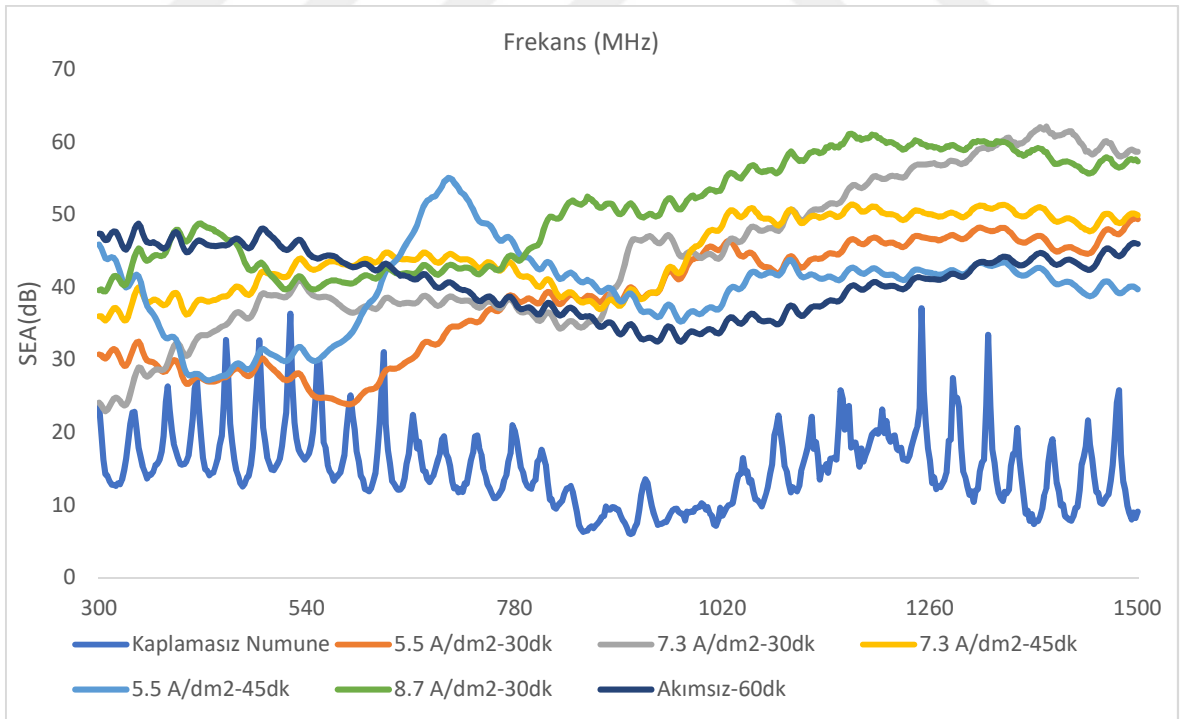
Tablo 3-2 'de detayları verilen numunelere 300-1500 MHz, 2170-3300 MHz, 3300-4900 MHz olmak üzere toplam 3 ayrı frekans aralığında elektromanyetik kalkanlama ölçümleri yapılmıştır.

4.4.1. 300-1500 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Değerleri

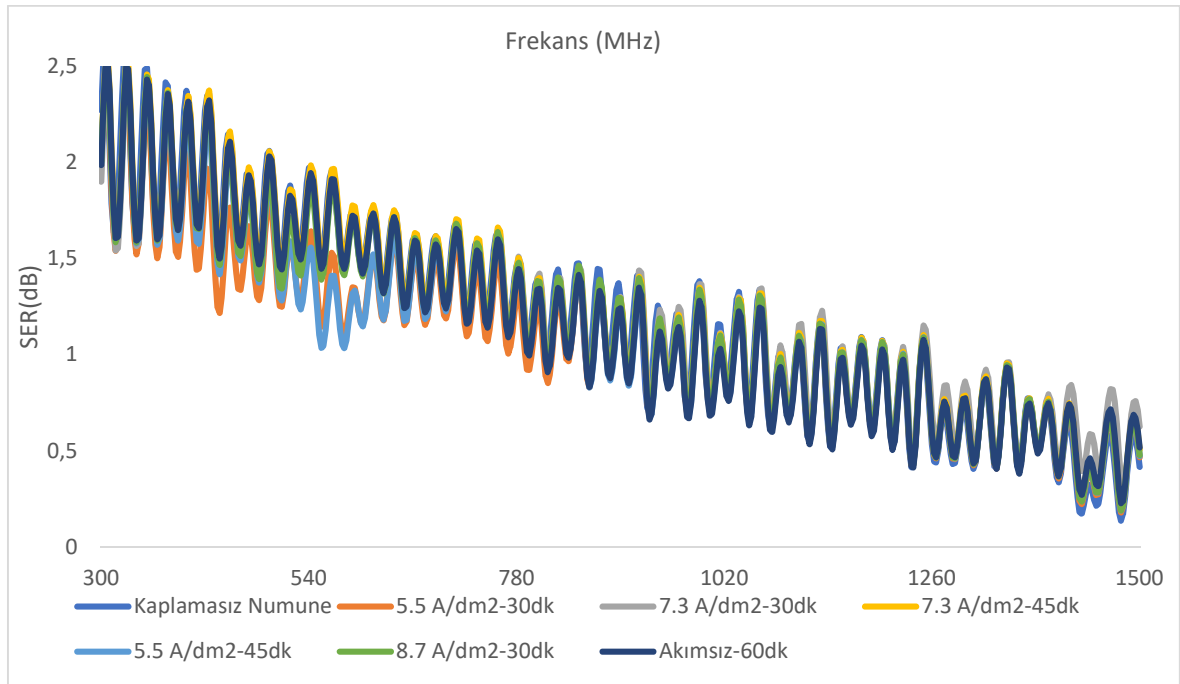
Tüm numuneler için, 300-1500 MHz frekans aralığında, ekranlama etkinliği grafikleri Şekil.4.4.'de, Soğurma Kaybı Değerleri Şekil.4.5.'te, Yansıma Kaybı Değerleri Şekil.4.6.'da verilmiştir. Ayrıca sonuçlar Tablo 4-3 'de özetlenmiştir.



Şekil 4.4. Numune a. A b. B c. C d. D e. E f.F ve g. Kaplamasız Numuneler için 300-1500 MHz Frekans Aralığında Ekranslama Etkinliği Değerleri



Şekil 4.5. Numune a. A b. B c. C d. D e. E f.F ve g. Kaplamasız Numuneler için 300-1500 MHz Frekans Aralığında SEA Değerleri



Şekil 4.6. Numune a. A b. B c. C d. D e. E f.F ve g. Kaplamasız Numuneler için 300-1500 MHz Frekans Aralığında SER Değerleri

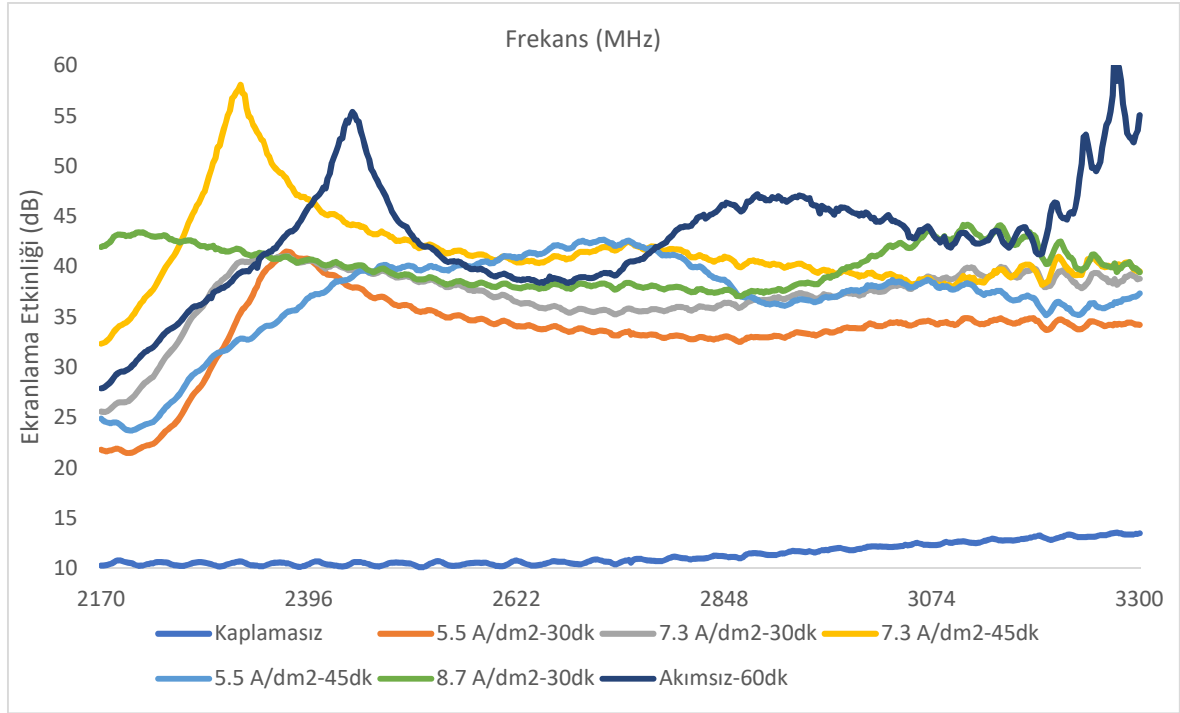
Tablo 4-3 300-1500 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Bulguları

Frekans Aralığı (MHz): 300-1500		
Numune	SE ort (dB)	SE max (dB)
A (5,5 A/dm ² 30 dk Ni Elektrokaplama)	42,07	50,12
B (7,3 A/dm ² 30 dk Ni Elektrokaplama)	51,01	62,94
C (7,3 A/dm ² 45 dk Ni Elektrokaplama)	47,01	52,32
D (5,5 A/dm ² 45 dk Ni Elektrokaplama)	42,94	56,46
E (8,7 A/dm ² 30 dk Ni Elektrokaplama)	54,25	61,84
F (Akımsız Nikel Kaplama)	43,14	50,52
G (Kaplamasız Numune)	18,35	38,16

Kaplamasız karbon fiber numunenin Şekil 4.4. ve Tablo 4-3 incelendiğinde 300-1500 MHz frekans aralığında ortalama olarak 18 dB ekranlama etkinliğine sahip olduğu ve Ni varlığının Ekranlama Etkinliğini arttırdığı görülmektedir. 8,7 A/dm²'de yapılan elektro kaplamada ekranlama etkinliği 18 dB'den 54 dB'e artış göstermiştir. EMI koruma davranışında yer alan mekanizmayı anlayabilmek adına Şekil 4.5. ve Şekil 4.6. 'da SEA ve SER grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'dan Nikel kaplamanın soğurma kabiliyetini önemli ölçüde geliştirdiği görülmektedir. Nikel- Karbon fiber yüzey empedans uyumu ile beraber soğurmaya katkı sağlamıştır. EMI ekranlama davranışında soğurma mekanizmasının baskın olduğu açıkça görülmektedir. Rana Rohini ve diğerleri de her ne kadar yüksek frekans aralığında çalışmış olsalar da aynı şekilde birinci katmanı nikel ile kaplanmış karbon fiber ve ikinci katmanı kaplanmamış karbon fiberden oluşan sandviç kompozit (2 katmanlı) ürettikleri çalışmalarında Ni varlığının ekranlama etkinliğini arttırdığını göstermişlerdir. Epoksi/Karbon Fiber kompozit ekranlama etkinliği değerini 12 GHz'de 20 dB gösterirken, Epoksi/Ni-Karbon Fiber/Karbon Fiber ekranlama etkinliği değerinde yaklaşık 20 dB bir artış göstermiş ve aynı frekansta 41 dB olarak bulunmuştur [18]. Ni ve karbon fiber içeren hibrit yapı oluşumuna bağlı mükemmel soğurma davranışı sağladığını gözlemlemişlerdir. Ancak kompozitlerin elektriksel tepkilerinden iletkenlik değerinde sadece küçük bir değişiklik olduğunu ve dolayısıyla SER'nin fazla değişmediğini gözlemlemişlerdir. Hangtao ve diğerleri makro ölçekli düzlemsel düzenlemenin ve nikel kaplamanın 200 ila 2000 MHz frekans aralığında ekranlama etkinliğine olan etkisini araştırmışlardır [6]. Tüm düzenlemeler için, fiber nikel kaplı olsun ya da olmasın, toplam ekranlama etkinliğine (SET) soğurma kaybı (SEA) hakimdir. Karbon nanofiber ile doldurulmuş (metal kaplamasız) akrilonitril-bütadien-stiren (ABS) üzerinde yapılan bir koruma çalışması, yüksek frekans aralığında bile toplam SE'nin soğurma hakimiyetini göstermektedir [53]. Bu etki, nikel kaplamanın varlığında artan manyetik etkileşimden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, 0,25 mm nikel kaplamanın ekranlama etkinliğini 2–6 dB'den 13 dB'e yükselttiği belirtilmiştir [6].

4.4.2. 2170-3300 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Değerleri

2170-3300 MHz frekans aralığında, tüm numunelerin ekranlama etkinliği grafikleri Şekil.4.7.'de, Soğurma Kaybı Değerleri Ek-2'de, Yansıma Kaybı Değerleri Ek-3'te verilmiştir. Ayrıca sonuçlar Tablo 4-4'te özetlenmiştir.



Şekil 4.7. Numune a. A b. B c. C d. D e. E f.F ve g. Kaplamasız Numuneler için 2170-3300 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Değerleri

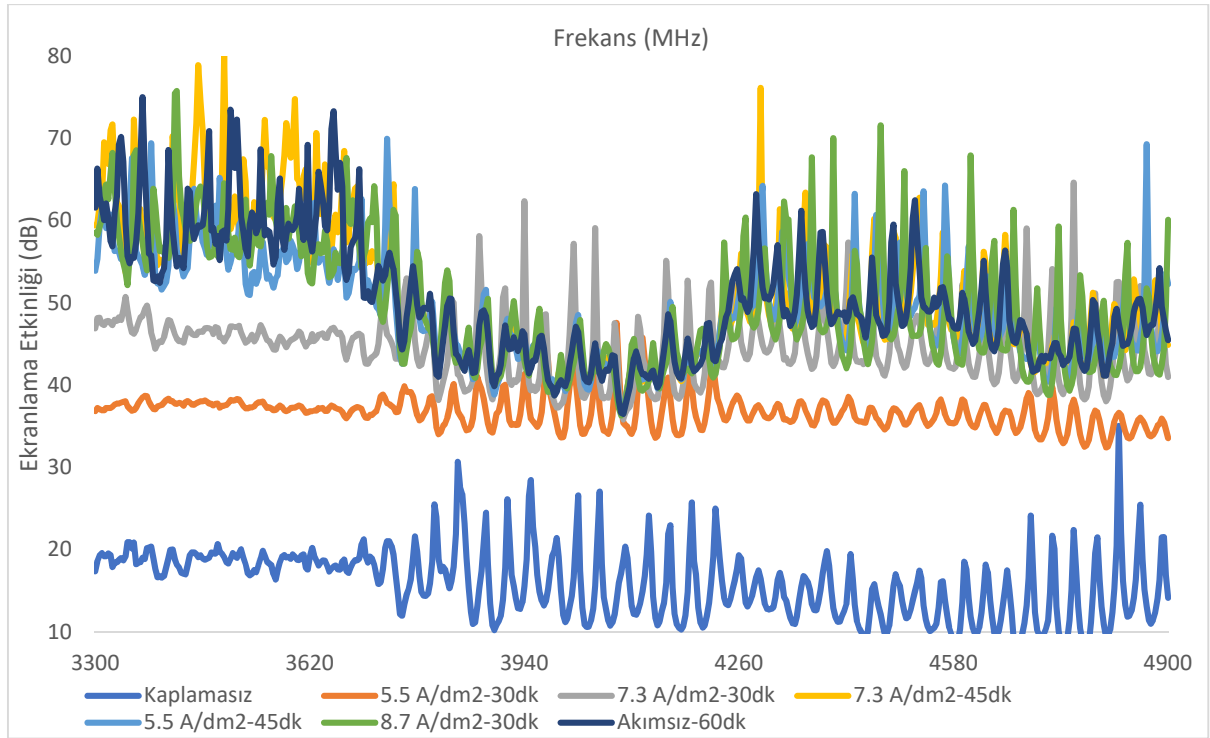
Tablo 4-4 2170-3300 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Bulguları

Frekans Aralığı (MHz): 2170-3300		
Numune	SE ort (dB)	SE max (dB)
A (5,5 A/dm ² 30 dk Ni Elektrokaplama)	34,42	41,53
B (7,3 A/dm ² 30 dk Ni Elektrokaplama)	37,64	41,24
C (7,3 A/dm ² 45 dk Ni Elektrokaplama)	43,05	58,13
D (5,5 A/dm ² 45 dk Ni Elektrokaplama)	37,95	42,72
E (8,7 A/dm ² 30 dk Ni Elektrokaplama)	40,36	44,21
F (Akımsız Nikel Kaplama)	44,74	62,03
G (Kaplamaless Numune)	11,35	13,57

Kaplamaless karbon fiber numune 2170-3300 MHz frekans aralığında ortalama olarak 11 dB ekranlama etkinliğine sahipken Ni varlığı Ekranlama Etkinliğini arttırmıştır. 8,7 A/dm²'de yapılan elektro kaplamada ekranlama etkinliği yaklaşık 30 dB artış göstermiştir. Benzer şekilde, Yim ve diğerlerinin 2018 yılında yaptığı CuS-PAN fiberlerine akımsız kaplama ile nikel kapladığı ve 1400-2600 MHz frekans aralığında ekranlama etkinliklerini ölçtüğü çalışmada tüm Ni kaplı CuS-PAN fiberlerinin (farklı sürelerde kaplama yapılan numuneler) ekranlama etkinliği kaplamaless CuS-PAN fiberlerine göre yüksektir. Buna göre, 10 dk süreyle Ni kaplanan numunede Ni varlığı ekranlama etkinliğini yaklaşık olarak 15 dB'den 35 dB'e yükseltmiştir. Ayrıca 50 dk süreyle Ni kaplanan bir başka ölçümde Ni varlığı ekranlama etkinliğini yaklaşık 15 dB'den 45 dB'e yükseltmiştir [30].

4.4.3. 3300-4900 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Değerleri

3300-4900 MHz frekans aralığında, numunelerin ekranlama etkinliği grafikleri sırasıyla Şekil.4.8.'de, Soğurma Kaybı Değerleri Ek-4'de, Yansıma Kaybı Değerleri Ek-5'te verilmiştir. Ayrıca sonuçlar Tablo 4-5'te özetlenmiştir.



Şekil 4.8. Numune a. A b. B c. C d. D e. E f.F ve g. Kaplamasız Numuneler için 3300-4900 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Değerleri

Tablo 4-5 3300-4900 MHz Frekans Aralığında Ekranlama Etkinliği Bulguları

Frekans Aralığı (MHz): 3300-4900		
Numune	SE ort (dB)	SE max (dB)
A (5,5 A/dm ² 30 dk Ni Elektrokaplama)	37,07	47,60
B (7,3 A/dm ² 30 dk Ni Elektrokaplama)	45,89	64,64
C (7,3 A/dm ² 45 dk Ni Elektrokaplama)	53,22	80,11
D (5,5 A/dm ² 45 dk Ni Elektrokaplama)	52,11	69,99
E (8,7 A/dm ² 30 dk Ni Elektrokaplama)	53,77	75,81
F (Akımsız Nikel Kaplama)	54,35	75,03
G (Kaplamasız Numune)	17,10	35,06

Kalkanlama etkinlik tabloları incelendiğinde nikel kaplamanın elektromanyetik ekranlama etkinliğini arttırdığı sonucu çıkmıştır. Ayrıca 300-1500, 2170-3300, 3300-4900 MHz frekans aralıklarında ekranlama etkinliği bulgularının bulunduğu Tablo 4-2, Tablo 4-3 ve Tablo 4-5 incelendiğinde yapılan ölçümlerde görüldüğü gibi kaplama süresi arttıkça ekranlama etkinliği artmaktadır. Aynı şekilde, Yim ve arkadaşlarının 2016 yılında yaptığı çalışma da karbon nano tüplerine yapılan kaplamalarda kaplama süresi arttıkça ekranlama etkinliğinin arttığı sonucunu göstermektedir [52]. Ayrıca 300-1500, 2170-3300, 3300-4900 MHz frekans aralıklarında ekranlama etkinliği bulgularının bulunduğu Tablo 4-2, Tablo 4-3 ve Tablo 4-5 incelendiğinde akım yoğunluğunun artmasıyla ekranlama etkinliği de artmaktadır. 300-1500, 2170-3300, 3300-4900 MHz frekans aralıklarında ölçülen ekranlama etkinliği değerleri için çizilen Şekil 4.4. , Şekil 4.7. ve Şekil 4.8. incelendiğinde artan süre ve akımla Ni varlığının ekranlama etkinliğini arttırdığı gözlemlenmektedir. Ancak Şekil 4.4.'de 780-880 frekans aralığı incelendiğinde aynı sürede 5,5 A/dm² ve 7,3 A/dm² akım şiddetiyle kaplanan numunenin ekranlama etkinlik değeri 5,5 A/dm²'de kaplanan numunede daha yüksektir. Genel olarak artan Ni varlığıyla ekranlama etkinlik değeri artış gösterse de optimum süre ve akım şiddeti farklı frekans aralıklarında farklılık gösterebilmektedir. Optimum değerlerin farklılık göstermesi Yim ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptığı CuS-PAN fiberlerine akımsız kaplama ile nikel kapladığı ve 1400-2600 MHz frekans aralığında ekranlama etkinliklerini ölçtüğü çalışmada çizilen 1400-2600 MHz frekans aralığında farklı sürelerde kaplama yaptığı numunelerde genel olarak akım süresi arttıkça ekranlama etkinliği arttığı görülmektedir, ancak 2400-2600 MHz frekans aralığı incelendiğinde 20 dk süre ile kaplanan numunenin 50 dk süreyle kaplanmış numuneye göre daha yüksek ekranlama etkinliğine sahip olduğu görülmektedir [30]. Miguel Angelo ve arkadaşlarının çalışmasında ise nikelin, aktif karbon fiber keçe üzerinde birikmesini araştırmışlardır ve 8.2 ila 12.4 GHz (X-bandı) arasında EMI koruması sağlanabilirliği gözlemlenmiştir [51].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektromanyetik girişim (EMI) koruyucu malzemeler, canlı organizmaları ve çalışma ortamını radyasyon kirliliğinden korumak için önemlidir. Elektromanyetik girişim koruması, gelen radyasyonu emebilen ve/veya yansıtabilen bir malzemeden yapılmış bir kalkan kullanılarak radyo dalgası ve mikrodalga rejimindeki elektromanyetik radyasyonun engellenmesi anlamına gelir. Bu çalışmada sahip olduğu avantajlar sebebiyle pek çok sektörde tercih edilen PAN esaslı karbon fiber kumaş ele alınmıştır. Karbon fiber kumaş Ni elektro kaplama ve Ni akımsız kaplama yapılarak 300-1500, 2170-3300, 3300-4900 MHz olmak üzere 3 ayrı frekans aralığında ekranlama etkinliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elektrokaplama işleminde farklı akım yoğunluğu ve sürelerde kaplanan 5 farklı karbon fiber numune elde edilmiştir, ayrıca Ni akımsız kaplama işlemi yapılarak 1 karbon fiber numune elde edilmiştir. Nikel biriktirilmiş ve biriktirilmemiş karbon fiber numunelerin mikro yapısı görüntülerini incelemek adına SEM analizi ve yüzeyde elementleri ve miktarlarını belirleyebilmek adına EDS analizi yapılmıştır. Nikel kaplı olmayan karbon fiber kumaş ve toplam 6 adet Ni kaplı karbon fiberler incelenmiştir. Bu EDS sonuçları nikel varlığını ispatlamakta ve kaplamanın başarılı şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar ağırlık artışında elde edilen sonuçlarla paraleldir. Ni varlığı, kaplamada akım şiddeti ve süre arttıkça artış göstermiştir.

PAN esaslı 7 adet karbon fiber numunenin ekranlama etnlikleri ASTM D4935-18 standardına uygun deneysel olarak ölçülmüştür. Koaksiyel ölçüm yönteminin büyük ölçülerde numune gerektirmemesi ve maliyet açısından avantajlı olması çalışmaya kolaylık sağlamıştır. Akım yoğunluğu ve sürenin sebep olduğu etki için 3 farklı frekanstaki numuneler incelendiğinde;

- 30-1500 MHz frekans aralığında akım yoğunluğu ve süre arttıkça ekranlama etkinliği artmıştır. En iyi ekranlama etkinliğini veren numune 8,7 A/dm² akım yoğunluğunda 30 dk süreyle Ni kaplanan karbon fiberdir.
- 2170-3300 MHz frekans aralığında akım yoğunluğu ve süre arttıkça ekranlama etkinliği artmıştır. En iyi ekranlama etkinliğini veren numune akımsız Ni kaplanan karbon fiber numunedir.
- 3300-4900 MHz frekans aralığında akım yoğunluğu ve süre arttıkça ekranlama etkinliği artmıştır. En iyi ekranlama etkinliğini veren numune 8,7 A/dm² akım yoğunluğunda 30 dk süreyle Ni kaplanan karbon fiberdir.

EMI koruma davranışında yer alan mekanizmayı anlayabilmek adına SEA ve SER grafikleri çizilmiştir. Nikel kaplamanın soğurma kabiliyetini önemli ölçüde geliştirdiği görülmektedir. EMI ekranlama davranışında soğurma mekanizmasının baskın olduğu açıkça görülmektedir. Bunun sebebinin nikel kaplamanın varlığında artan manyetik etkileşimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçların literatürle örtüşmektedir.

Bu çalışmada 300-1500, 2170-3300, 3300-4900 MHz olmak üzere 3 ayrı frekans aralığında Ni kaplamanın ekranlama etkinliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Daha yüksek frekanslarda akım yoğunluğu ve sürenin etkisini anlamak için çalışmalar yapılabilir. Ekranlama etkinliği ölçümleri farklı metotlarda ölçülebilir ve farklı frekanslarda ölçülen ekranlama etkinliğindeki soğurma ve yansıma kaybı mekanizmaları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Murat Ozturk , D.D.L. Chung a, Enhancing the electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon-fiber reinforced cement paste by coating the carbon fiber with nickel, 2021
- [2] D.D.L. Chung, Carbon Materials, World Scientific., 2019. Ch. 6..
- [3] J. Chen, J.M. Wu, H.Y. Ge, D. Zhao, C. Liu, X.F. Hong, Reduced graphene oxide deposited carbon fiber reinforced polymer composites for electromagnetic interference shielding, Comp A 82 (2016) 141-150.
- [4] Y. Bhattacharjee, V. Bhingardive, S. Biswas, S. Bose, Construction of a carbon fiber based layer-by-layer (LbL) assembly - a smart approach towards effective EMI shielding, RSC Adv. 6 (113) (2016) 112614-112619.
- [5] M.G. Jang, S.C. Ryu, K.J. Juhn, S.K. Kim, W.N. Kim, Effects of carbon fiber modification with multiwall CNT on the electrical conductivity and EMI shielding effectiveness of polycarbonate/carbon fiber/CNT composites, J. Appl. Polym. Sci. 136 (14) (2019) 47302, 9.
- [6] Hongtao Guan,, D.D.L. Chung, Effect of the planar coil and linear arrangements of continuous carbon fiber tow on the electromagnetic interference shielding effectiveness, with comparison of carbon fibers with and without nickel coating, 2019.
- [7] P. Morgan, Carbon Fibers and their Composites, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2005.
- [8] Y. Xue, W. Chen, Q. Zhao, Y.Q. Fu, Electroless carbon fibers: a new route for improving mechanical property and wettability of composites, Surf. Coat. Technol. 358 (2019) 409–415.
- [9] L.F. Castaneda, F.C. Walsh, J.L. Nava, C. Ponce de Le'on, Graphite felt as a versatile electrode material: properties, reaction environment, performance and applications, Electrochim. Acta 258 (2017) 1115–1139.
- [10] S.J. Park, Y.S. Jang, K.Y. Rhee, Interlaminar and ductile characteristics of carbon fibers-reinforced plastics produced by nanoscaled electroless nickel plating on carbon fiber surfaces, J. Colloid Interface Sci. 245 (2002) 383–390.

- [11] X. Xi, D.D.L. Chung, Effect of nickel coating on the stress-dependent electric permittivity, piezoelectricity and piezoresistivity of carbon fiber, with relevance to stress self-sensing, *Carbon* 145 (2019) 401–410.
- [12] F. Liao, X. Han, Y. Zhang, C. Xu, H. Chen, Carbon fabrics coated with nickel film through alkaline electroless plating technique, *Mater. Lett.* 205 (2017) 165–168.
- [13] S.S. Tzeng, F.Y. Chang, Electrical resistivity of electroless nickel coated carbon fibers, *Thin Solid Films* 388 (2001) 143–149.
- [14] U. Kumari, D. Samiappan, R. Kumar, T. Sudhakar, Computational analysis of thermally induced stress in corrosionresistant metal coated fiber optic sensors for oceanographic application, *Optik* 195 (2019), 163097.
- [15] B.C. Kim, P.C. Innis, G.G. Wallace, C.T.J. Low, F.C. Walsh, W.J. Cho, K.H. Yu, Electrically conductive coatings of nickel and polypyrrole/ poly(2-methoxyaniline-5-sulfonic acid) on nylon Lycra® textiles, *Prog. Org. Coat.* 76 (2013) 1296–1301.
- [16] Ayoub Darvishzadeh , Komeil Nasouri, Manufacturing, modeling, and optimization of nickel-coated carbon fabric for highly efficient EMI shielding, 2021
- [17] J.T. Kim, C.W. Park, B.J. Kim, A study on synergetic EMI shielding behaviors of Ni-Co alloy-coated carbon fibers-reinforced composites, *Synth. Met.* 223 (2017) 212-217.
- [18] R. Rohini, S. Bose, Electrodeposited carbon fiber and epoxy based sandwich architectures suppress electromagnetic radiation by absorption, *Compos B* 161 (2019) 578–585.
- [19] R. Wang, H. Yang, J. Wang, F. Li, The electromagnetic interference shielding of silicone rubber filled with nickel coated carbon fiber, *Polym. Test.* 38 (2014) 53–56.
- [20] B.J. Kim, W.K. Choi, M.K. Um, S.J. Park, Effects of nickel coating thickness on electric properties of nickel/carbon hybrid fibers, *Surf. Coat. Technol.* 205 (2011) 3416–3421.
- [21] Z. Hua, Y. Liu, G. Yao, L. Wang, J. Ma, L. Liang, Preparation and characterization of nickel-coated carbon fibers by electroplating, *J. Mater. Eng. Perform.* 21 (2012) 324–330.
- [22] S.H. Lee, J.Y. Kim, C.M. Koo, W.N. Kim, Effects of processing methods on the electrical conductivity, electromagnetic parameters, and EMI shielding

- effectiveness of polypropylene/nickel-coated carbon fiber composites, *Macromol. Res.* 9 (2017) 936-943.
- [23] Selin ENGİN, Tuğba ALTINIŞIK, *Sanayide Daha Etkili Bir Çevre Yönetimi İçin Temiz Üretim: Metal Kaplama Sektörü*, MPM Yayınları No:722, Ankara,2011
- [24] A. Sezai Saraç, *Metal Kaplama ve Elektrokimyasal Teknolojiler*, Çağlayan, 1995.
- [25] K.W. Kim, W. Han, B.S. Kim, B.J. Kim, K.H. An, A study on EMI shielding enhancement behaviors of Ni-plated CFs-reinforced polymer matrix composites by post heat treatment, *Appl. Surf. Sci.* 415 (2017) 55-60.
- [26] J. Lee, Y. Liu, Y. Liu, S.J. Park, M. Park, H.Y. Kim, Ultrahigh electromagnetic interference shielding performance of lightweight, flexible, and highly conductive copper-clad carbon fiber nonwoven fabrics, *J. Mater. Chem. C* 5 (31) (2017) 7853-7861.
- [27] C.Y. Liu, Z.X. Kang, Facile fabrication of conductive silver films on carbon fiber fabrics via two components spray deposition technique for electromagnetic interference shielding, *Appl. Surf. Sci.* 487 (2019) 1245-1252.
- [28] L.C. Jia, L. Xu, F. Ren, P.G. Ren, D.X. Yan, Z.M. Li, Stretchable and durable conductive fabric for ultrahigh performance electromagnetic interference shielding, *Carbon* 144 (2019) 101-108.
- [29] Y.C. Su, B.Y. Zhou, L.F. Liu, J.S. Lian, G.Y. Li, Electromagnetic shielding and corrosion resistance of electroless Ni-P and Ni-P-Cu coatings on polymer/ carbon fiber composites, *Polym. Compos.* 36 (5) (2015) 923-930.
- [30] Yoon-Ji Yim, Yun-Mi Baek, and Soo-Jin Park, Influence of Nickel Layer on Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of CuS-Polyacrylonitrile Fibers, 2018.
- [31] A. Brenner and G. Riddell, *Roc. Am. Electroplat. Soc.* 33, 23 (1946).
- [32] A. Brenner in: *Handbuch der Galvanotechnik*. Hanser Verlag. Munchen 1966, Vol. 2, pp. 7258
- [33] *Angew. Chem. internat. Edit.* 1 Vol. 14 (1975) 1 No. 9
- [34] 7: E. Such and I. Pircock, *Plast. Polym.* 1974, No. 8, p. 165.
- [35] Nigar AKÇAY, Akımsız Ni-P ve Ni-B Kaplı Karbonfiberlerin Elektromanyetik Kalkanlama Özellikleri ve W Katkılamanın Etkileri (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2017; 29)
- [36] Sudagar, J. Lian, J., & Sha, W. (2013). Electroless nickel, alloy, composite and nano coatings—A critical review. *Journal of Alloys and Compounds*, 571, 183-204.

- [37] Riedel, W. (1991). Electroless nickel plating. Metals Park, Ohio: ASM International.
- [38] Doç. Dr. Selim ŞEKER, Yard. Doç. Dr. Osman ÇEREZCİ, Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri ve Korunma Yöntemleri,
- [39] Jaroszewski, M., Thomas, S., & Rane, A. V. (Eds.). (2018). Advanced materials for electromagnetic shielding : Fundamentals, properties, and applications. John Wiley & Sons, Incorporated.
- [40] Jose, G. and Padeep, P.V. (2014). Electromagnetic shielding effectiveness and mechanical characteristics of polypropylene based CFRP. Int. J. Theor. Appl. Res. Mech. Eng. 3: 47–53.
- [41] Prof. Dr. Selim ŞEKER, Doç. Dr. Osman ÇEREZCİ, Elektromagnetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi
- [42] Halil İbrahim KESKİN, Karbon Fiber Kompozit Kumaşların 30 Mhz - 1500 Mhz Frekans Aralığında Elektromanyetik Ekranlama Etkinliğinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, 2020
- [43] ASTM D4935-10. 2018. Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials.
- [44] D.D.L. Chung, Materials for electromagnetic interference shielding, Materials Chemistry and Physics 255 (2020) 123587
- [45] Ar. Gör. Yük. Müh.Necla YAMAN, Prof. Dr. Tülin ÖKTEM, Prof. Dr. Necdet SEVENTEKİN, Karbon Liflerinin Üretimi, TEKSTİL ve KONFEKSİYON, 3/2006
- [46] Lewin, M. 2007. Handbook of Fiber Chemistry. CRC Press, Florida, 1044 p.
- [47] J. Wu, D.D.L. Chung, Increasing the electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon fiber polymer-matrix composite by using activated carbon fibers, Carbon 40 (ER3) (2002) 445–447.
- [48] D. Zhang, H. Yang, J. Pan, B. Lewis, W. Zhou, K. Cai, A. Benatar, L.J. Lee, J. M. Castro, Multi-functional CNT nanopaper polyurethane nanocomposite fabricated by ultrasonic infiltration and dip soaking processes, Composites, Part B 182 (2020) 107646.
- [49] X. Shui, D.D.L. Chung, Nickel filament polymer-matrix composites with low surface impedance and high electromagnetic interference shielding effectiveness, J. Electron. Mater. 26 (8) (1997) 928–934.

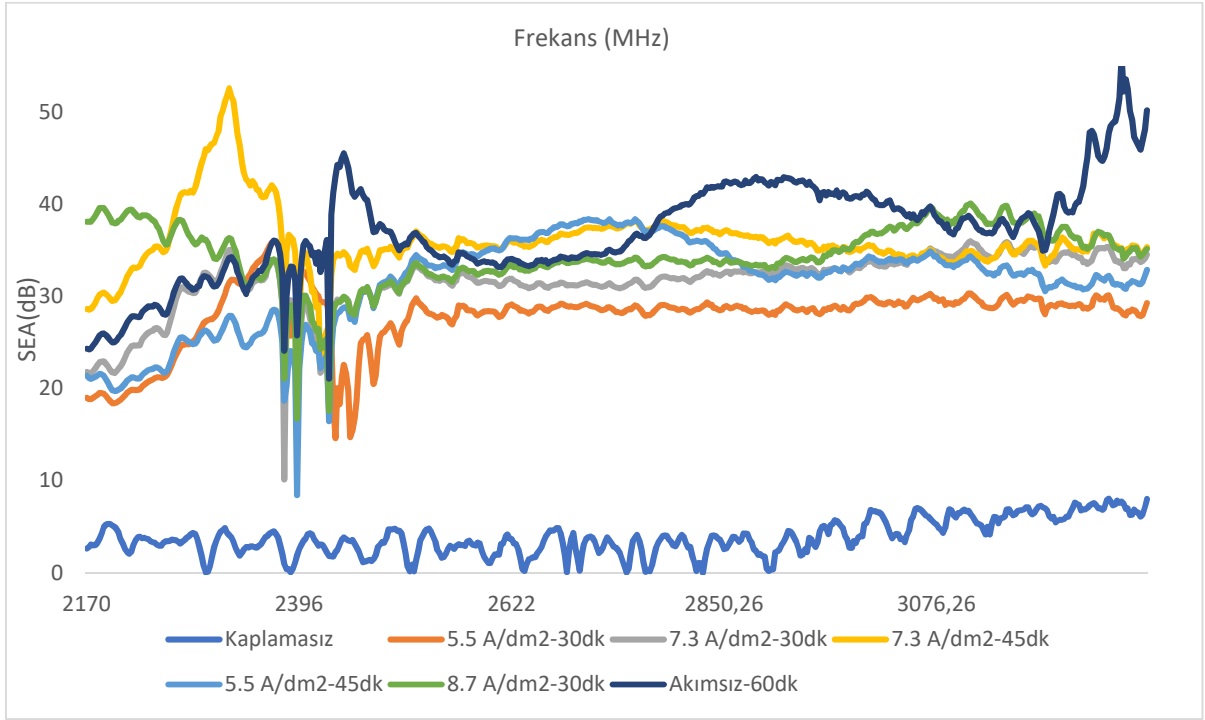
- [50] S. Jung, D. Cho, Effect of fiber feeding route upon extrusion process on the electromagnetic, mechanical, and thermal properties of nickel-coated carbon fiber/polypropylene composites, *Composites, Part B* 187 (2002) 107861.
- [51] Miguel Angelo do Amaral Junior , Jossano Saldanha Marcuzzo, Bárbara da Silva Pinheiro, Braulio Hakuo Kondo Lopes, Ana Paula Silva de Oliveira, Jorge Tadao Matsushima, Maurício Ribeiro Baldan, Study of reflection process for nickel coated activated carbon fiber felt applied with electromagnetic interference shielding Miguel Angelo do Amaral Junior*, Jossano Saldanha Marcuzzo, 2019
- [52] Yoon-Ji Yim, Kyong Yop Rhee, Soo-Jin Park, Electromagnetic interference shielding effectiveness of nickel-plated MWCNTs/high-density polyethylene composites, 2016
- [53] M.H. Al-Saleh, W.H. Saadeh, U. Sundararaj, EMI shielding effectiveness of carbon based nanostructured polymeric materials: a comparative study, *Carbon* 60 (2013) 146-156.
- [54] C. Mao-Sheng, J. Yang, W.-L. Song, D.-Q. Zhang, W. Bo, J. Hai-Bo, H. Zhi-Ling, Y. Jie, Ferroferric Oxide/Multiwalled Carbon Nanotube vs Polyaniline/Ferroferric Oxide/Multiwalled Carbon Nanotube Multiheterostructures for Highly Effective Microwave Absorption, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2012, 412 p 6949–6956.
- [55] D.D.L. Chung, Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Materials, *Carbon N. Y.*, 2001, 39 (2) p 279–285. doi:10.1016/S0008-6223(00)00184-6.

EK 1: KARBON FİBER KUMAŞ TEKNİK BİLGİ

CC200L- CARBON FABRIC- 200gr/sqm 3K PLAIN

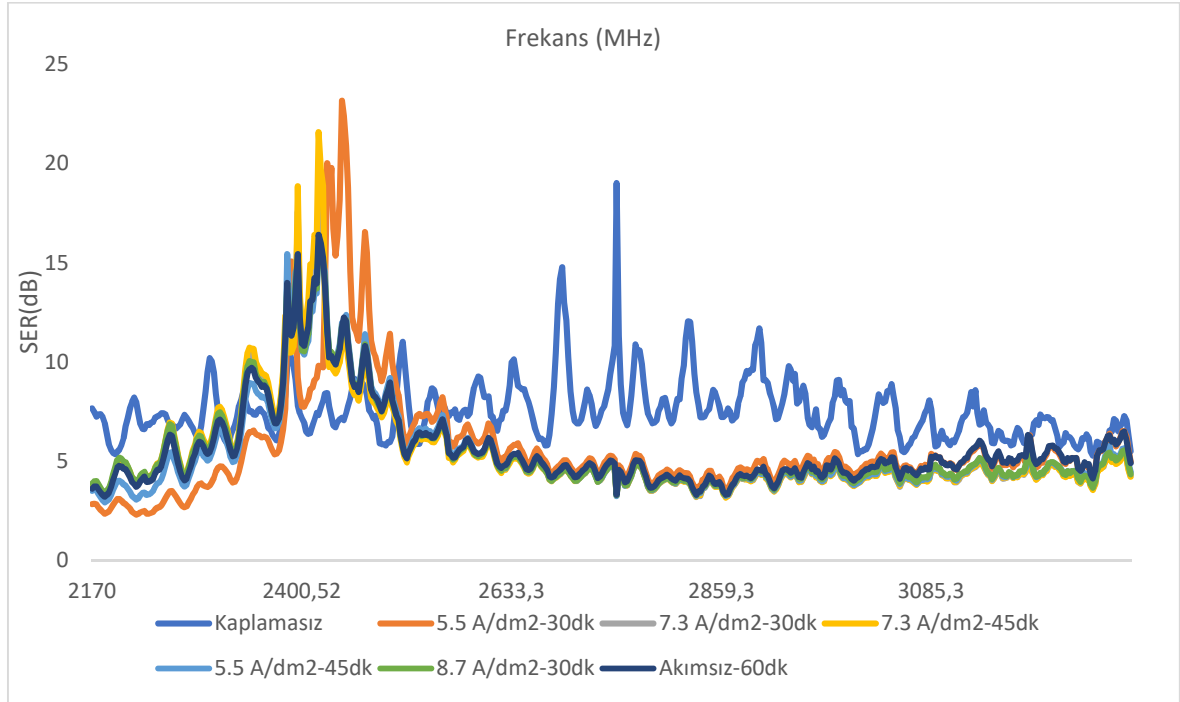
DESCRIPTION:	Carbon Fabric Woven - 200gr/sqm 3k plain	
PACKAGING:	Fabric tightly wound onto cardboard tubes; wrapped in clear plastic; packaged into double-walled cardboard boxes; roll is suspended in center of box by end-plates on both ends of tube; roll held tight in box by cardboard shims filling free end-play.	
SPEC TYPE	SPEC DESCRIPTIONS	DEFINITIONS
"FABRIC"	FABRIC "METRIC" SPECS:	FABRIC DEFINITIONS:
Areal Weight	gram/sq.m. =200 gr. (± 5%)	The weight of the fabric per square meter or square yard.
Roll Length/Width	meters(+/-)= 100m.(±0.5) centimeters(+/-)= 100 cm(± 2.5%)	Roll linear length, plus+ or minus tolerance.
"WEAVE"	WEAVE DETAIL SPECS:	WEAVE DEFINITIONS:
Style / Pattern	Plain	Weave style or pattern of woven fabric or material.
"FIBER"	FIBER DESCRIPTION SPECS:	FIBER DEFINITIONS:
Type / Model	WARP = "3K HS Carbon Fiber" 100GR WEFT = "3K HS Carbon Fiber" 100GR	Fiber manufacturers product or ID number.
Tow ("K" if Carbon)	Warp = 3K / Weft = 3K	Continuous filaments per fiber bundle. (K = 1000)
Filament Count	Warp = 3,000 / Weft = 3,000	The number of filaments per tow.
Filament Diameter(micron)	Warp = 7 / Weft = 7	The diameter of the filament.
Density	g/cm3 = 1.79	Mass per unit volume in3. Typically grams per cm cubed.
MASS (Yield)	tex (g/1000m) = 200 g/m = ND	Measurement of the amount of mass per unit length.
Tensile Strength (min) WARP/WEFT	Ksi = 552 Mpa = 3800	The force at which fiber breaks measured by the area width.
Tensile Modulus (min) WARP/WEFT	Msi = 34,8 Gpa = 240	Measurement of the elastic stiffness.
Tensile Strain (min)	% = 1,6	Elongation of fiber at breaking point (Percentage of stretch)
Sizing Level	% = 1.20%	Percentage of chemical treatment versus total fiber weight.
Electrical Resistivity /ohms/cm =	10-3 1.55	Electrical resistance in ohms per length specified
Carbon Assay	% = 95%	Percentage of actual carbon content in fiber.
Specific Gravity	gm/cm3 = 1.79	Compare Density; Water has a Specific Gravity of 1.0

EK 2: 2170-3300 MHz Frekans Aralığında SEA Değerleri



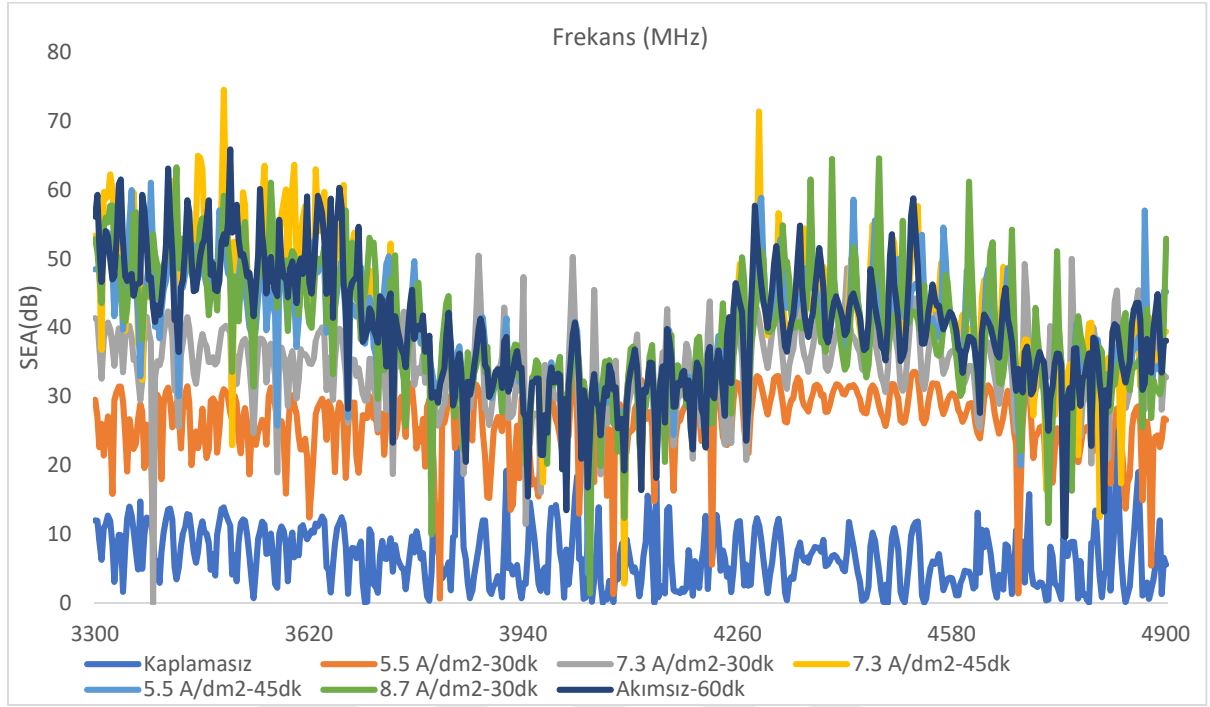
Şekil Ek.2. Numune a. A b. B c. C d. D e. E f.F ve g. Kaplamasız Numuneler için 2170-3300 MHz Frekans Aralığında SEA Değerleri

EK 3: 2170-3300 MHz Frekans Aralığında SER Değerleri



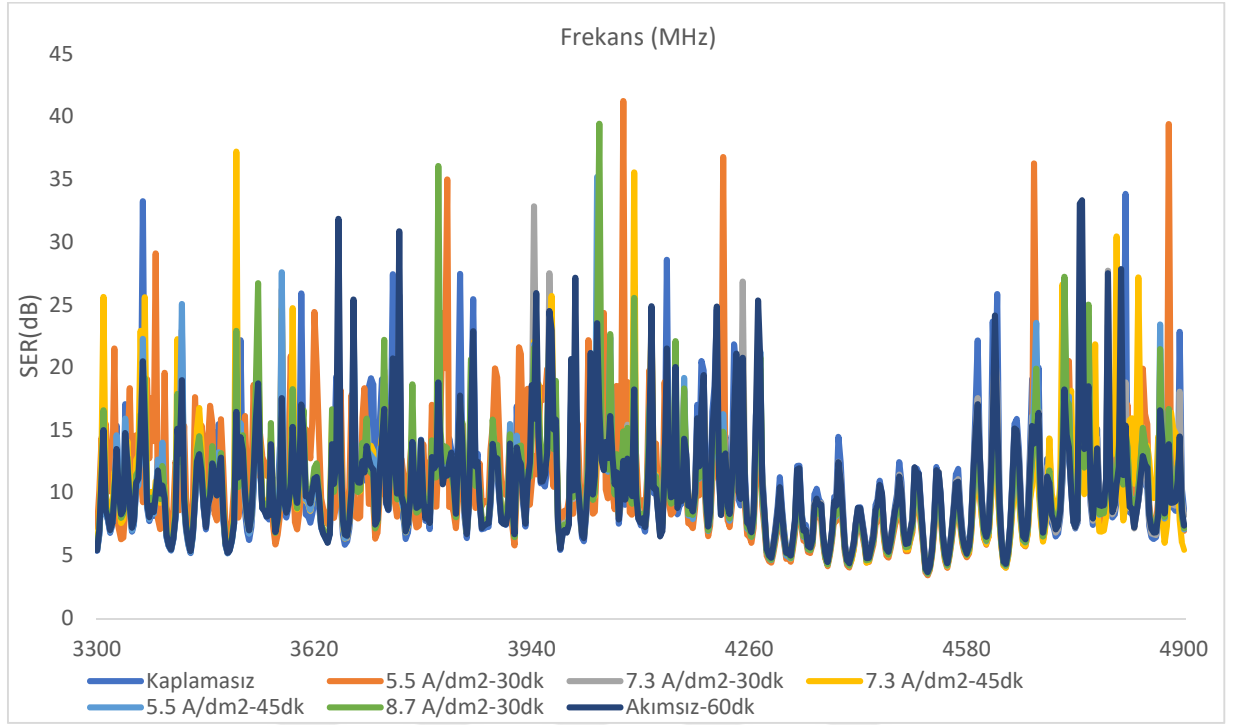
Şekil Ek.3. Numune a. A b. B c. C d. D e. E f.F ve g. Kaplamasız Numuneler için 2170-3300 MHz Frekans Aralığında SER Değerleri

EK 4: 3300-4900 MHz Frekans Aralığında SEA Değerleri



Şekil Ek.4. Numune a. A b. B c. C d. D e. E f.F ve g. Kaplamasız Numuneler için 3300-4900 MHz Frekans Aralığında SEA Değerleri

EK 5: 3300-4900 MHz Frekans Aralığında SER Değerleri



Şekil Ek.5. Numune a. A b. B c. C d. D e. E f.F ve g. Kaplamasız Numuneler için 3300-4900 MHz Frekans Aralığında SER Değerleri