T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA ANABİLİM DALI

İYONLAŞTIRICI ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN TUTULMASI İÇİN POLİMER ESASLI TUNGSTEN (VOLFRAM) TUZLARI KATKILI YENİ KOMPOZİT MADDE SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE DENEME ÇALIŞMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER CAN

NİSAN 2016
MUĞLA

Ö. CAN KİMYA ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS TEZİ MUĞLA 2016

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA ANABİLİM DALI

İYONLAŞTIRICI ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN TUTULMASI İÇİN POLİMER ESASLI TUNGSTEN (VOLFRAM) TUZLARI KATKILI YENİ KOMPOZİT MADDE SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE DENEME ÇALIŞMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER CAN

NİSAN 2016
MUĞLA

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

ÖMER CAN tarafından hazırlanan **İYONLAŞTIRICI ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN TUTULMASI İÇİN POLİMER ESASLI TUNGSTEN (VOLFRAM) TUZLARI KATKILI YENİ KOMPOZİT MADDE SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE DENEME ÇALIŞMALARI** başlıklı tezinin, 15/Nisan/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Prof. Dr. Hüseyin ÇİÇEK **(Jüri Başkanı)** İmza:
Kimya Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Prof. Dr. Gülasiye AYÇIK **(Danışman)** İmza:
Kimya Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Yrd. Doç. Dr. Bülent KIRKAN **(Üye)** İmza:
Su Enstitüsü,
Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Prof. Dr. Mehmet UĞURLU İmza:
Kimya Ana Bilim Dalı Başkanı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Prof. Dr. Gülasiye AYÇIK İmza:
Danışman, Kimya Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

Savunma Tarihi: 15/042016

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Ömer CAN

15/04/2016

ÖZET

İYONLAŞTIRICI ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN TUTULMASI İÇİN POLİMER ESASLI TUNGSTEN (VOLFRAM) TUZLARI KATKILI YENİ KOMPOZİT MADDE SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE DENEME ÇALIŞMALARI

Ömer CAN

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gül Asiye AYÇIK

Nisan 2016, 112 sayfa

Günümüzde iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon (İEMR) zırhlayıcısı olarak kurşun ve kurşun katkılı malzemeler oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun nedeni kurşunun İEMR tutma özelliğinin yüksek ve maliyetinin düşük olmasıdır. Ancak kurşunun yüksek yoğunluğu, toksik özelliği, işlenme zorluğu, esnek olmaması gibi dezavantajları vardır. Bu nedenle son yıllarda daha hafif, esnek, şekillendirilebilir, kimyasal direnci ve mekanik dayanımı yüksek ve insan sağlığına zararlı olmayan, kurşunun dezavantajlarını giderecek alternatif zırhlama malzemelerinin geliştirilmesi önem kazanmıştır.

Volfram, İEMR zırhlanmasında kurşunun yerine alternatif olarak kullanılabilecek bir elementtir. Atom numarası ve yoğunluğunun yüksek olması, yüksek mekanik ve kimyasal dayanıklılığı ve toksik özelliklerinin olmaması nedeniyle radyasyon zırhlamasında kurşunun yerini alabilir.

Bu amaçla polimer matrisi içine yüksek atom numaralı volfram metali ve volfram tuzları katılarak çapraz bağ oluşumu sağlayacak katkı maddeleri de eklenerek kalıplara dökülerek kompozit malzemeler üretilmiştir.

Çalışmalarımız sonucunda geliştirdiğimiz kompozit malzemelerin İEMR zayıflatma özelliğinin ortalama olarak kurşunun %60-100'üne ulaştığı bulunmuştur. Yüzde miktarlarındaki değişim takviye malzemesine, kompozit bileşimine ve deneysel şartlara bağlı olarak değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: İyonlaştırıcı Elektromanyetik Radyasyon, Radyasyon Zırhlama, Polimer Kompozit, Volfram, Volfram Tuzları

ABSTRACT

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND APPLICABILITY STUDIES OF A NOVEL POLYMER BASED WOLFRAM SALTS REINFORCED COMPOSITE MATERIALS IN IONIZING ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDING

Ömer CAN

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemistry

Supervisor: Prof. Dr. Gül Asiye AYÇIK

April 2016, 112 pages

In the present, because lead has high IEMR attenuation capacity and low cost, lead and lead additive composite materials are mostly used as ionising electromagnetic radiation (IEMR) shielding purposes. However, lead has some nonignorable disadvantages such as high density and toxicity, low mechanical stability and flexibility, processing difficulties. Thus, the studies on the development of novel shielding materials which is lighter, flexible, processable, chemical and mechanical stable to overcome the disadvantages of lead become important during recent years.

In the IEMR shielding processing, wolfram can be an alternative to lead. Because its atomic number and density is high enough, has no toxic properties and mechanical-chemical stability, it can take lead's place in radiation shielding.

For this purpose, wolfram and wolfram salts with higher atomic numbers as reinforcement and hardener-catalyst chemicals are added to the resins to start the cross-linking reaction in the polymer base. And the composite materials are moulded produced.

Following the search of this study, IEMR attenuation ratio of developed composite materials is found to reach %60-100 of lead. This percentage changes according to the added matter type, composite material composition and experimental conditions.

Keywords: Ionising Electromagnetic Radiation, Radiation Shielding, Polymer Composite, Wolfram, Wolfram Salt

ÖNSÖZ

Engin bilgilerinden yararlanma fırsatını bana sunarak bilimsel gelişimimi destekleyen, çalışmalarımı destekleyen ve bilimsel düşünme ile çalışmanın temellerini öğreten danışman hocam Sayın Prof. Dr. Gül Asiye AYÇIK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans dönemim boyunca bilgi ve tavsiyelerinden yararlandığım Araş. Gör. Ezgi Eren BELGİN'e teşekkür ederim.

Çalışmamın tüm aşamalarında sabırla beni destekleyen değerli anneme, babama ve kardeşime teşekkür eder, saygı ve sevgilerimi sunarım.

Ayrıca iyi ve kötü günlerimde yanımda olan değerli dostlarıma da teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, BAP-2014/016 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

Ömer CAN

15/04/2016

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ vi
İÇİNDEKİLER vii
ÇİZELGELER DİZİNİ x
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ xiv
1. GİRİŞ 1
1.1. Amaç 1
1.2. Kapsam 1
2. GENEL BİLGİLER VE KAYNAK ÖZETLERİ 3
2.1. Radyasyon ve Radyasyon Çeşitleri 3
2.1.1. Radyasyon 3
2.1.2. Radyasyon çeşitleri 3
2.1.2.2. Enerjisine göre radyasyon 4
2.1.2.3. Kaynağına göre radyasyon 6
2.1.3. İyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi 8
2.1.3.1. Fotoelektrik olay 10
2.1.3.2. Compton saçılması 11
2.1.3.3. Çift oluşumu 12
2.1.4. İyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon tayini, radyasyon dedektörleri . 13
2.1.5. Gama spektrometresi 15
2.2. Radyasyondan Korunma ve Zırhlama Malzemeleri 18
2.2.1. Radyasyondan korunmada temel kavramlar 19
2.2.2. Doğrusal ve kütlesel zayıflatma katsayıları, yarı değer kalınlığı 21
2.2.3. Kompozit malzemeler 23
2.2.4. Kurşun, kurşun katkılı kompozit malzemeler ve radyasyon zırhlamasında kullanılabilirliği 25
2.2.5. Volfram (tungsten), volfram katkılı kompozitler ve radyasyon zırhlamasında kullanılabilirliği 26
2.2.6. Diğer zırhlama malzemeleri ve radyasyon zırhlamasında kullanılabilirlikleri 28
2.2.7. Polimerler, temel özellikleri ve zırhlama çalışmalarında kullanımları 30

2.2.7.1. Termoplastik polimerler ve temel özellikleri 31
2.2.7.2. Elastomerler ve temel özellikleri 32
2.2.7.3. Termoset polimerler ve temel özellikleri 33
2.2.7.4. İzoftalik/NPG polyester reçinesi 35
3. MALZEME VE YÖNTEM 40
3.1. Malzemeler 40
3.1.1. Kullanılan malzemeler 40
3.1.2. Kullanılan cihazlar 40
3.2. Yöntem 42
3.2.1. Kompozit malzemelerin hazırlanması 42
3.2.1.1. Optimum parametrelerin oluşturulması 43
3.2.1.1.1. Kompozit malzeme derişimleri 43
3.2.1.1.2. Kobalt oktoat miktarı 43
3.2.1.1.3. Metil etil keton peroksit (mek-p) miktarı 43
3.2.1.1.4. Karıştırma süresi 43
3.2.1.1.5. Karıştırma hızı 44
3.2.1.2. Kompozit malzemelerin kalıplaştırılması 44
3.2.2. Kompozit malzemelerin homojenlik testleri 45
3.2.3. Kompozit malzemelerin İEMR % zayıflatma değerlerinin deneysel tayini 45
3.2.3.1. Kompozit malzemelerin İEMR doğrusal zayıflatma katsayısı değerleri 48
3.2.3.2. Kompozit malzemelerin İEMR kütlesel zayıflatma katsayısı değerleri 48
3.2.3.3. Kompozit malzemelerin İEMR teorik kütlesel zayıflatma değerleri . 49
3.2.4. Kompozit malzemelerin karakterizasyonu 49
3.2.4.1. Yapısal karakterizasyon 49
3.2.4.1.1. FTIR karakterizasyonu 49
3.2.4.1.2. SEM karakterizasyonu 51
3.2.4.1.3. EDS karakterizasyonu 52
3.2.4.2. Isıl karakterizasyonu 54
3.2.4.2.1. TGA karakterizasyonu 54
3.2.4.2.2. DSC karakterizasyonu 56

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME 59
4.1. Optimum Parametreler 59
4.2. Kompozit Malzemelerin Homojenliği 60
4.3. Kompozit Malzemelerin İEMR % Zayıflatma Değerleri 65
4.3.1. Kompozit malzemelerin İEMR doğrusal zayıflatma katsayıları deneysel sonuçları 71
4.3.2. Kompozit malzemelerin İEMR kütlesel zayıflatma teorik ve deneysel sonuçları 73
4.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu 82
4.4.1. Yapısal karakterizasyon 83
4.4.1.1. FTIR karakterizasyonu 83
4.4.1.2. SEM karakterizasyonu 86
4.4.1.3. EDS karakterizasyonu 94
4.4.2. Isıl karakterizasyon 96
4.4.2.1. TGA karakterizasyonu 96
4.4.2.2. DSC karakterizasyonu 97
5. SONUÇLAR 101
KAYNAKLAR 103
ÖZGEÇMİŞ 111

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. İEMR madde ile etkileşmesinin atom numarası ile orantısı 9
Çizelge 2.2. Çalışmada kullanılan polimerin yapı ve şematik ifadeleri..... 36
Çizelge 3.1. Karıştırma Süreleri..... 44
Çizelge 3.2. Polipol 381 + %99'luk saf W metal kompoziti için gama spektrumu pik alanı değerleri..... 46
Çizelge 3.3. Polipol 381 + WO_3 metal kompoziti için gama spektrumu pik alanı değerleri..... 47
Çizelge 3.4. Polipol 381 + WB metal kompoziti için gama spektrumu pik alanı değerleri..... 47
Çizelge 3.5. Polipol 381 + WC metal kompoziti için gama spektrumu pik alanı değerleri..... 48
Çizelge 4.1. RW, RWO_3, RWB ve RWC için bulunan ve çalışılan optimum parametreler..... 59
Çizelge 4.2. %99'luk Saf W metal kompozitinin kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma değerleri..... 66
Çizelge 4.3. WO3 metal kompozitinin kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma değerleri..... 67
Çizelge 4.4. WB metal kompozitinin kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma değerleri..... 68
Çizelge 4.5. WC metal kompozitinin kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma değerleri..... 69
Çizelge 5.1. Kompozit malzemeler ve kurşunun farklı enerjilerdeki kütlesel soğurma katsayıları 102

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Radyasyon çeşitleri 3
Şekil 2.2. Fotonların cinsine göre radyasyon çeşitleri 4
Şekil 2.3. Fotonların enerjisine göre radyasyon çeşitleri 5
Şekil 2.4. Elektromanyetik dalga spektrumu 6
Şekil 2.5. Doğal ve yapay radyasyon kaynakları 7
Şekil 2.6. Fotoelektrik, Compton ve Çift oluşumu olaylarının baskın olduğu bölgeler 9
Şekil 2.7. Fotoelektrik olay 10
Şekil 2.8. Compton saçılımı 11
Şekil 2.9. Çift oluşumu 12
Şekil 2.10. Kuyu tipi HPGe dedektörlü gama spektrometresi 16
Şekil 2.11. Zaman, mesafe ve zırhlama 19
Şekil 2.12. Basit kübik yapı (polonyum) 21
Şekil 2.13. Radyasyon dozunu yarıya indirebilmek için gerekli zırh malzemeleri 22
Şekil 3.1. Mekanik karıştırıcı 42
Şekil 3.2. Kompozit kalıpları 45
Şekil 3.3. Gama spektrometresi çalışma esası 46
Şekil 3.4. İnfrared spektrofotometresi (Özkan, 2011). 50
Şekil 3.5. SEM cihazının işlem şeması (Egerton, 2005). 52
Şekil 3.6. Elementlerin piklerinin gösterimi 53
Şekil 3.7. EDS haritalama 54
Şekil 3.8. Termogravimetrik analiz sisteminin şematik diyagramı 56
Şekil 3.9. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) ısı akışlı sistemin şematik diyagramı 57
Şekil 4.1. Farklı (%20, 30, 40, 50, 60) derişimler de hazırlanan Polipol 381+%99'luk saf W metal kompoziti için r^2 değerleri 61
Şekil 4.2. Farklı (%20, 30, 40, 50, 60) derişimler de hazırlanan Polipol 381+WO_3 metal kompoziti için r^2 değerleri 62
Şekil 4.3. Farklı (%20, 30, 40, 50, 60) derişimler de hazırlanan Polipol 381+WB metal kompoziti için r^2 değerleri 63

Şekil 4.4. Farklı (%20, 30, 40, 50, 60) derişimler de hazırlanan Polipol 381+WC metal kompoziti için r^2 değerleri 64
Şekil 4.5. Polipol 381+%99'luk Saf W metal kompoziti İEMR % zayıflatma değerleri 65
Şekil 4.6. Polipol 381+WO_3 metal kompoziti İEMR % zayıflatma değerleri 66
Şekil 4.7. Polipol 381+WB metal kompoziti İEMR % zayıflatma değerleri 67
Şekil 4.8. Polipol 381+WC metal kompoziti İEMR % zayıflatma değerleri 68
Şekil 4.9. Toplam yüzde İEMR % zayıflatma değerleri 70
Şekil 4.10. Polipol 381+%99'luk Saf W metal kompoziti doğrusal zayıflatma katsayısı 71
Şekil 4.11. Polipol 381+WO_3 metal kompoziti doğrusal zayıflatma katsayısı 71
Şekil 4.12. Polipol 381+WB metal kompoziti doğrusal zayıflatma katsayısı 72
Şekil 4.13. Polipol 381+WC metal kompoziti doğrusal zayıflatma katsayısı 72
Şekil 4.14. Polipol 381+%99'luk Saf W metal kompoziti deneysel kütlesel zayıflatma katsayısı 73
Şekil 4.15. Polipol 381+WO_3 metal kompoziti deneysel kütlesel zayıflatma katsayısı 74
Şekil 4.16. Polipol 381+WB metal kompoziti deneysel kütlesel zayıflatma katsayısı 74
Şekil 4.17. Polipol 381+WC metal kompoziti deneysel kütlesel zayıflatma katsayısı 75
Şekil 4.18. Teorik ve deneysel kütlesel zayıflatma değerleri a) RW20; b) RW30; c) RW40; d) RW50; e) RW60 77
Şekil 4.19. Teorik ve deneysel kütlesel zayıflatma değerleri a) $RWO_3$20; b) $RWO_3$30; c) $RWO_3$40; d) $RWO_3$50; e) $RWO_3$60 78
Şekil 4.20. Teorik ve deneysel kütlesel zayıflatma değerleri a) RWB20; b) RWB30; c) RWB40; d) RWB50; e) RWB60 80
Şekil 4.21. Teorik ve deneysel kütlesel zayıflatma değerleri a) RWC20; b) RWC30; c) RWC40; d) RWC50; e) RWC60 82
Şekil 4.22. FTIR sonuçları a) Reçine (Pol 381); b) RW60; c) $RWO_3$60; d) RWC50 84
Şekil 4.23. FTIR sonuçları a) Reçine (Pol 381); b) RWB50; c) RWB60 85
Şekil 4.24. 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında RW60 metal kompozitinin (A) parlak yüzey ve (B) kırık yüzey SEM görüntüleri 88
Şekil 4.25. 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında $RWO_3$60 kompozitinin (A) parlak yüzey ve (B) kırık yüzey SEM görüntüleri 89
Şekil 4.26. 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında RWB40 kompozitinin

(A) parlak yüzey ve (B) kırık yüzey SEM görüntüleri 90
Şekil 4.27. 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında RWB50 kompozitinin (A) parlak yüzey ve (B) kırık yüzey SEM görüntüleri 91
Şekil 4.28. 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında RWB60 kompozitinin (A) parlak yüzey ve (B) kırık yüzey SEM görüntüleri 92
Şekil 4.29. (A) parlak yüzey 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında ve (B) kırık yüzey 250X, 500X, 1000X ve 5000X büyütme oranlarında RWC50 kompozitinin SEM görüntüleri..... 93
Şekil 4.30. W60 kompoziti için EDS elemental harita 94
Şekil 4.31. WB60 kompoziti için EDS elementel harita..... 94
Şekil 4.32. $WO_3$60 kompoziti için EDS elemental harita 95
Şekil 4.33. WC50 kompoziti için EDS elemental harita..... 95
Şekil 4.34. RW60, R$WO_3$60, RWB40, RWB50, RWB60 ve RWC50 kompozit malzemelerin TGA termogramları 96
Şekil 4.35. DSC termogramları a) RW60; b) R$WO_3$60; c) RWB40; d) RWB50; e) RWB60; f) RWC50 99

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

UV	Mor Ötesi
IR	Kızıl Ötesi
IAEA	International Atomic Energy Agency
MeV	Milyon elektronvolt
keV	Kilo elektronvolt
HPGe	Yüksek saflıkta germanyum
Bq	Becquerel
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
İEMR	İyonlaştırıcı Elektromanyetik Radyasyon
nm	Nanometre
°C	Celcius derece sıcaklık birimi
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
EDS	Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy
TGA	Thermal Gravimetric Analysis
DSC	Differential Scanning Calorimetry
SEM	Scanning Electron Microscope
Pol 381	İzoftalik/NPG doymamış polyester reçinesi
NIST	National Institute of Standards and Technology
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurement
TVL	Onda Bir Kalınlık Değeri (Tenth Value Layer)
HVL	Yarı Kalınlık Değeri (Half Value Layer)
mSv	MilliSievert
NPG	Neopentil Glikol

1. GİRİŞ

1.1. Amaç

Günümüzde iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon (İEMR) tutucu olarak kullanılan en yaygın zırhlama malzemeleri kurşun ve kurşun katkılı malzemelerdir. Bunun nedeni kurşunun İEMR tutma özelliğinin yüksek, maliyetinin düşük olmasıdır. Ancak kurşunun yüksek yoğunluğu, toksik özelliği, işlenme zorluğu, esnek olmaması gibi dezavantajları vardır. Bu nedenle son yıllarda daha hafif, esnek, şekillendirilebilir, kimyasal direnci ve mekanik dayanımı yüksek, insan sağlığına zararlı olmayan, kurşunun dezavantajlarını giderecek alternatif zırhlama malzemelerinin geliştirilmesi önem kazanmıştır. Volfram, atom numarası ve yoğunluğunun yüksek olması, yüksek mekanik ve kimyasal dayanıklılığı ve toksik olmaması nedeniyle iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon zırhlamada kurşunun yerine alternatif olarak kullanılabilecek bir elementtir. Ancak, volframın pahalı olması ve tek başına metalik olarak işlenme zorluğu nedeniyle çalışmamızda bu zorlukları gidermek amacıyla polimer matris içine saf volfram metali ve tuzları dağıtılarak çapraz bağ oluşumu sağlayacak katkı maddeleri de eklenerek, İEMR zayıflatıcı polimerik kompozit malzemeler üretilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Kapsam

Sunulan bu tez çalışmasında, iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyondan korunmak amacıyla hazırlanan ve üretilen kompozit malzemelerin esas maddesi olarak Polipol 381 kodlu izoftalik/neopentil glikol (NPG) polyester kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak farklı oranlarda %99'luk saf volfram metali, volfram (VI) oksit, volfram bor ve volfram karbür kullanılmıştır.

Optimum parametrelerin belirlenmesinden sonra hazırlanarak kalıp haline getirilen kompozit malzemelerin İEMR zayıflatma değerleri ölçülmüştür. Zayıflatma değerleri; % zayıflatma, deneysel ve teorik olarak bulunan doğrusal ve kütlesel İEMR soğurma katsayıları olarak bulunmuş ve kurşunun zayıflatma değerleriyle karşılaştırılmıştır. Teorik zayıflatma katsayılarının bulunmasında XCOM bilgisayar programı kullanılmıştır. En yüksek zırhlama özelliği gösteren kompozit malzemelerin karakterizasyon testleri yapılmıştır.

Karakterizasyon testleri FTIR-ATR ile kimyasal yapı karakterizasyonu, SEM ve EDS ile yapı ve elementel yapı analizleri, TGA ve DSC ile ısıl testleri içermektedir.

2. GENEL BİLGİLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

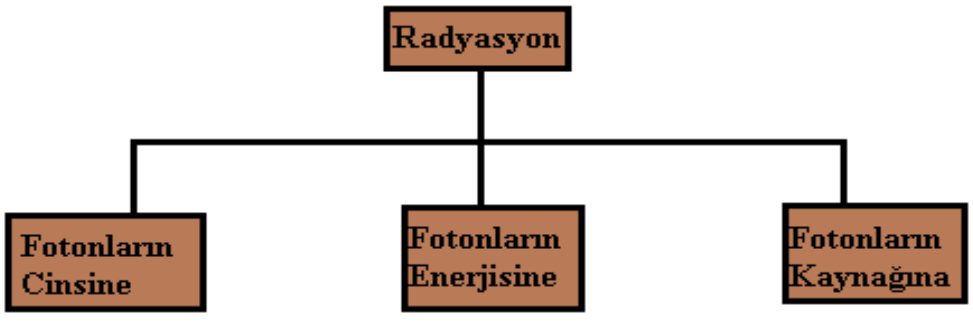
2.1. Radyasyon ve Radyasyon Çeşitleri

2.1.1. Radyasyon

Radyasyon, iç dönüşüm geçiren çekirdekler tarafından yayımlanan, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak tanımlanır. Bu enerji parçacık veya dalga karakterli olabilir. Varoluşundan bu yana insanoğlu hep radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Bilimsel ve teknolojik gelişiminin gereği, yapay olarak üretilen radyasyon kaynaklarının yanısıra Dünyanın oluşumuyla yerkabuğunda yer alan ve çok uzun yarı ömre sahip radyoaktif elementler karasal; güneşten gelen kozmik ışınlar da kozmik doğal radyasyon kaynaklarıdır.

2.1.2. Radyasyon çeşitleri

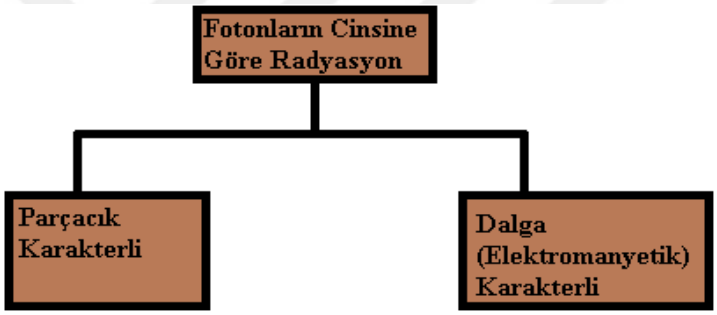
Radyasyon sınıflara ayrılırken fotonların cinsi, enerjisi ve kaynağı olmak üzere üç farklı faktör göz önüne alınır. Fotonların cinsine göre parçacık ve dalga karakterli radyasyon, enerjisine göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon, kaynağına göre ise doğal ve yapay radyasyon olarak sınıflandırılır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Radyasyon çeşitleri

2.1.2.1. Fotonların cinsine göre radyasyon

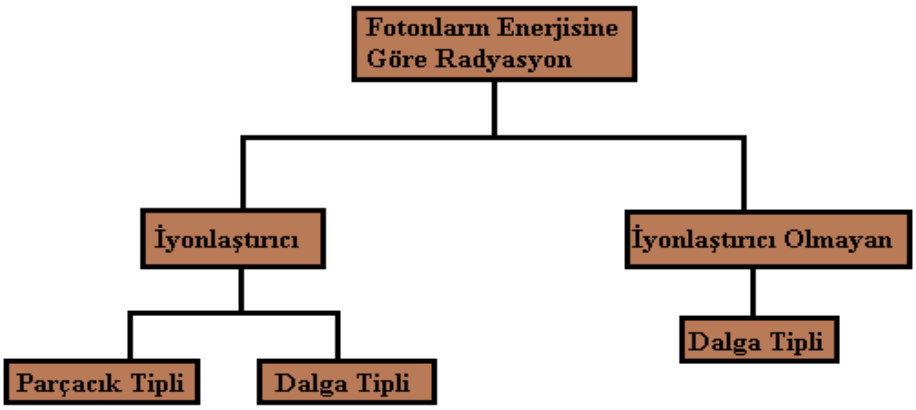
Fotonların cinsine göre radyasyon parçacık ve dalga (elektromanyetik) karakterli radyasyonolmak üzere iki grupta toplanabilir (Şekil 2.2.). Parçacık karakterli radyasyon; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden yüklü veya yüksüz parçacıklarından kaynaklanan radyasyonu ifade eder. Alfa, β^- ve nötronlar parçacık karakterli radyasyonunun en tipik örnekleridir. Elektromanyetik radyasyon da denilen dalga karakterli radyasyon ise belli enerjili, kütlesiz olup titreşim yaparak ilerleyen elektromanyetik enerji dalgaları halindedir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla ($3x10^8$ m/saniye) hareket eder. Gama ışınları, X-ışınları, görünür ışık, mor ötesi (UV), kızıl ötesi (IR), radyo dalgaları vb. elektromanyetik radyasyon çeşitleridir.



Şekil 2.2. Fotonların cinsine göre radyasyon çeşitleri

2.1.2.2. Enerjisine göre radyasyon

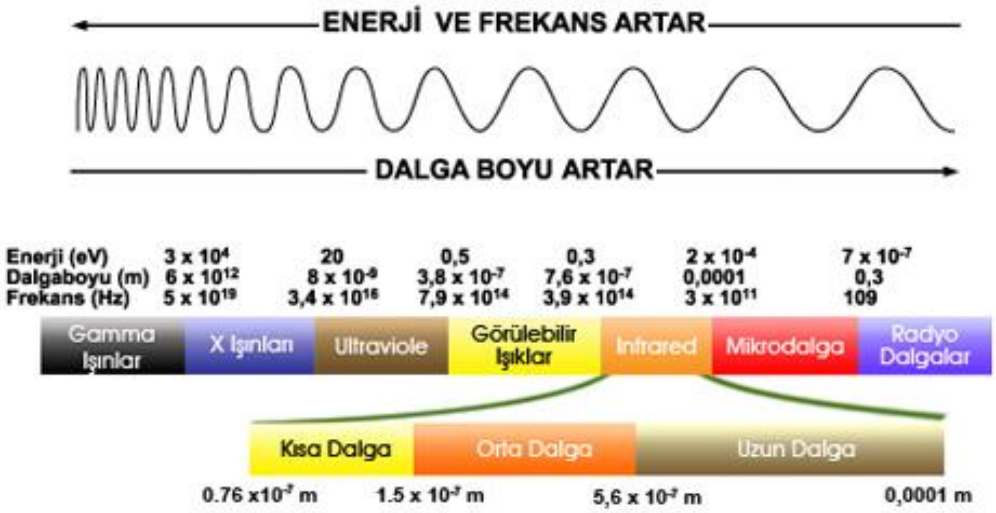
Enerjilerine göre radyasyon iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki grupta toplanır (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Fotonların enerjisine göre radyasyon çeşitleri

İyonlaştırıcı radyasyon yüksek enerjilidir. Yüksek enerjisi nedeniyle etkileştiğiatomdan bir elektron koparark bu atomu iyonlaştırabilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun enerjisi, elektronların bağlanma enerjisinden küçük olduğundan, atomdan elektron koparması mümkün değildir. Bu nedenle de atomik orbitallerde bulunan elektronlarda sadece uyarmaya neden olabilir. İyonlaştırıcı radyasyon alfa, beta, nötronlar gibi parçacık veya X-ışınları, gama ışınları gibi dalga karakterli olabilirken, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi (IR), morötesi (UV) ve görünür ışık gibi sadece dalga karakterlidir.

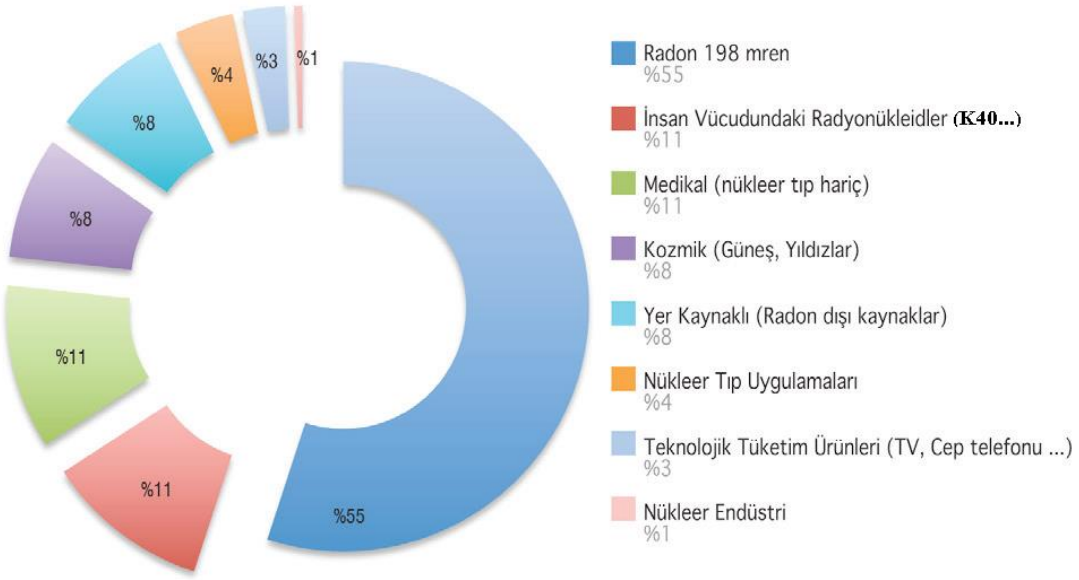
Elektromanyetik radyasyonun enerjisi radyasyonun dalga boyu ile ters orantılıdır. Kısa dalga boylu elektromanyetik dalgalar daha yüksek enerjili olduklarından iyonlaştırıcı özellikte iken uzun dalga boylu elektromanyetik radyasyon iyonlaştırıcı değildir. Elektromanyetik dalga spektrumu Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Elektromanyetik dalga spektrumu

2.1.2.3. Kaynağına göre radyasyon

Radyasyon kaynakları **doğal** ve **yapay** olmak üzere, iki grupta toplanabilir (Şekil 2.5.). Günlük yaşamda maruz kalınan radyasyonun %88'ini doğal kaynaklar, %12'sini de yapay kaynaklar oluşturur. Doğal kaynaklar da kendi arasında kozmik ve karasal olarak ikiye ayrılırken, yapay kaynaklar da antropojenik ve antropojenik olarak zenginleştirilmiş olarak ikiye ayrılır (Ayçık, 2009).



Şekil 2.5. Doğal ve yapay radyasyon kaynakları

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulur. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv/yıl'dır. Karasal radyoaktivitenin kaynağını yerkürede bulunan ^{238}U, ^{232}Th ve ^{235}U üç ana radyoaktif çekirdek ve bu ana çekirdeklerin bozunma ürünleri oluşturur. Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli nedenlerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin (^{226}Ra) bozunması sonucu oluşan radon gazıdır.Radon gazı nedeniyle dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz **1,3 mSv/yıl**'dır. Radon gazı hariç doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı bir etkisi görülmez. Radon gazı hariç, yerküreden maruz kalınan doğal radyasyon dozunun dünya ortalaması **0,46 mSv/yıl**'dır (IAEA, 1996).

İnsanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay olarak üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, endüstriyel, zirai ve medikal alanlarda pek çok işin daha iyi, kolay, çabuk, ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda alternatifleri yok gibidir.

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla özel olarak üretilen X-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç kaynaklarından salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Antropojenik olarak üretilmiş bu kaynaklara ek olarak antropojenik olarak zenginleştirilmiş doğal radyasyon kaynakları da vardır. Fosfat üretimi nedeniyle uranyumun deriştirilmesi veya fosil yakıtlar kullanılması durumunda yanmayan inorganik maddeler içinde zenginleştirilmiş olarak kalan uranyum ve toryum radyoaktif izotopları bu tip radyasyon kaynaklarının en tipik örneklerindendir (Ayçık, 2009).

2.1.3. İyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi

İster parçacık ister dalga karakterinde olsun radyasyonun nicel ve nitel olarak tanımlanabilmesi için madde ile etkileşime girmesi gerekir. Radyasyonun tür ve enerjisine göre madde ile etkileşimi de farklıdır. Radyasyonun, cinsine bağlı olmaksızın madde ile etkileşimi, enerjinin madde içinde soğurulmasına ve ışının enerjisini kaybetmesine dayanır. Yüklü parçacıklar enerjilerini kısa mesafede kaybederken, elektromanyetik radyasyon yüksüz ve kütlesiz olduğundan madde ile etkileşimi parçacık etkileşimine göre daha az, menzili daha uzun olur (Ayçık, 2009).

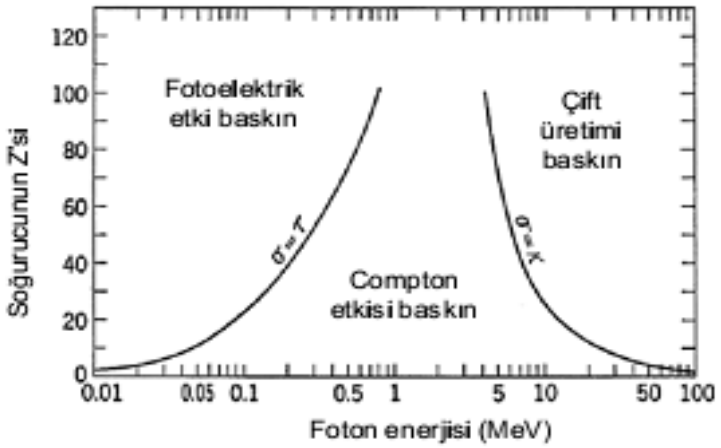
Enerjinin belli frekansta, sabit paketçikler şeklinde yayıldığı elektromanyetik radyasyonun birim elemanına **foton** denir. Elektromanyetik radyasyonun belli frekansı için paketin taşıdığı sabit enerji (E) Eşitlik 2.1'de gösterilmiştir.

$$E = hv \tag{2.1}$$

Burada, h Planck sabiti, ν elektromanyetik radyasyonunun frekansıdır. Belli enerjideki bir foton madde içerisinden geçerken soğurulmasına bağlı olarak şiddetindeki azalma da Eşitlik 2.2'de verildiği şekildedir.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{2.2}$$

Burada I_0 ve I radyasyonun malzemeye girmezden önce ve malzemeden çıktıktan sonraki şiddetidir. μ, doğrusal soğurma katsayısı, x malzeme kalınlığıdır. Eşitlik 2.2'de görüleceği gibi aynı enerjideki fotonların farklı maddeler içinde soğurulmaları da farklı olacaktır. Elektromanyetik radyasyon madde tarafından esas olarak fotoelektrik olay, Compton saçılımı ve çift oluşumu olmak üzere üç farklı önemli mekanizma üzerinden soğurulur. Hangi olayın etkin olacağı radyasyonun enerjisi, maddenin cinsi ve yoğunluğu gibi parametrelere bağlıdır. Şekil 2.6'da fotoelektrik, Compton ve çift oluşumu olaylarının baskın olduğu enerji aralıkları gösterilmektedir (Krane, 2001).



Şekil 2.6. Fotoelektrik, Compton ve Çift oluşumu olaylarının baskın olduğu bölgeler

Etkileşime girilen maddenin atom numarası (Z) ile elektromanyetik etkileşim arasındaki ilişki Çizelge2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. İEMR madde ile etkileşmesinin atom numarası ile orantısı

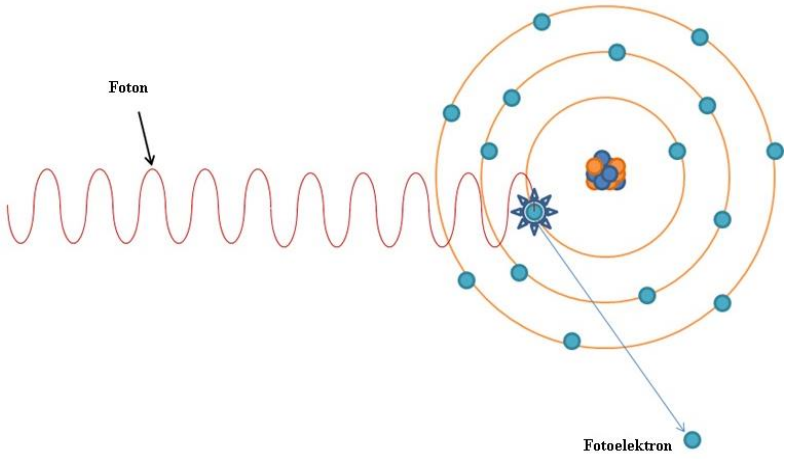
İEMR Madde ile Etkileşmesi	Atom numarası(Z)
Fotoelektrik Olay	Z^4-Z^5
Compton Saçılımı	**Z**
Çift Oluşum	Z^2

2.1.3.1. Fotoelektrik olay

Düşük enerjili (0,001-0,5 MeV) fotonların soğurulmasında fotoelektrik olay etkindir. Bu etkileşimde foton, atomun bir elektronuna çarpar, tüm enerjisini bu elektrona vererek elektronun atomdan fırlatılmasına neden olur. Dışarıya fırlatılan bu elektrona **fotoelektron** denir (Ayçık, 2009). Bu olay sırasında foton enerjisinin bir kısmı bağlı olduğu atomdan elektronu koparabilmek için harcanır, geri kalan kısmı ise koparılan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır Eşitlik (2.3).

$$hv = E_{\text{bağlanma}} + E_{\text{kinetik}} \qquad (2.3)$$

Düşük enerjili foton etkileşimlerinde elektronun atomdan uzaklaşması gelen fotonun yönünde olurken daha yüksek enerjili fotonlarla etkileşimde elektron, fotonun geliş yönünden saparak atomdan uzaklaşır. Uzaklaşan elektrondan kalan boşluk ise bir üst seviyedeki bir elektron tarafından doldurulur. Bu durumda iki seviye arasındaki enerji farkı X-ışını şeklinde atomdan yayılır (Ayçık, 2009). Şekil 2.7'de fotoelektrik olay şematik olarak gösterilmiştir.



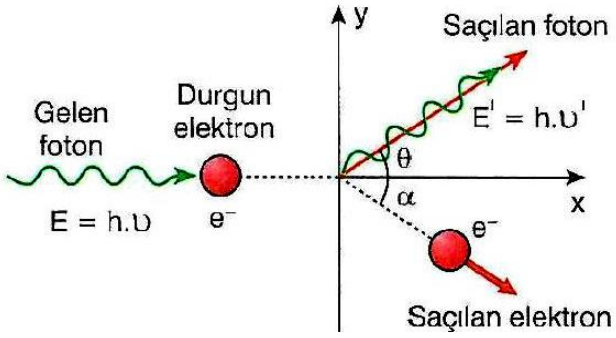
Şekil 2.7. Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olay sonrasında momentumun korunabilmesi için atom geri tepilir. Atomun kütlesi çok büyük olduğundan geri tepme enerjisi çok küçüktür.

Bu nedenle serbest elektronlarda fotoelektrik olay gerçekleşmesi mümkün değildir. Fotoelektrik olayın olma olasılığı düşük foton enerjilerinde ve yüksek atom numaralı çarpışma maddelerinde en yüksektir (Ayçık, 2009).

2.1.3.2. Compton saçılması

Yüksek enerjili (0,5-2,0 MeV) fotonlar hafif elementlerden oluşan ortamlarda soğurulunca Compton saçılımı önem kazanır. Compton saçılım mekanizması da fotoelektrik olaya benzer ancak burada foton, enerjisinin tümünü elektrona aktarmaz. Fotoelektron atomdan saçılarak fırlarken fotonun kendisi de kalan enerjisiyle yolundan sapacak şekilde saçılır. Gelen fotonun enerji ve momentumu saçılan foton ve fırlatılan elektron arasında paylaşılır (Ayçık, 2009). Şekil 2.8'de Compton saçılmı gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Compton saçılımı

Burada saçılma açısı (α) önemli bir faktördür. Saçılma açısının küçük olması fotonun daha az enerji kaybına uğrayarak saçıldığını gösterir. Bu açının büyümesi, fotonun enerji kaybının arttığını gösterir. Enerji ve momentumun korunumu yasalarından hareket edilerek Compton saçılması için saçılan fotonun enerjisi Eşitlik 2.4 ile ifade edilir.

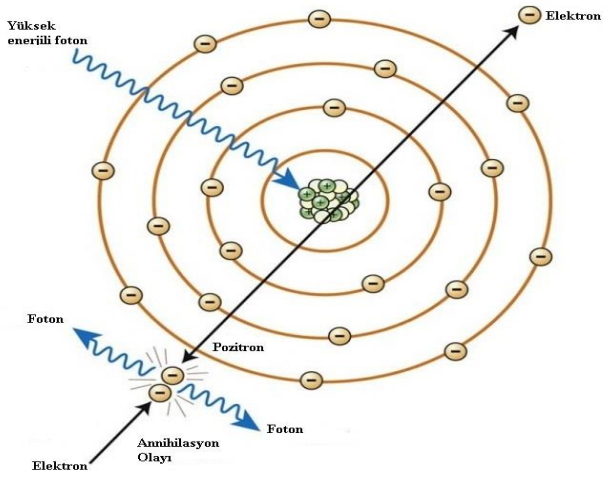
$$E_\gamma = \frac{E_0}{1+\frac{E_0}{m_0c^2}x(1-cos\alpha)} \qquad (2.4)$$

Burada E_0 radyasyonun Compton etkileşimi yapmadan önceki enerjisini, Eγ Compton etkileşimi yapmış saçılan radyasyonun enerjisini, $m_0$ise atomun durgun haldeki kütlesini göstermektedir. Fırlatılan elektronun enerjisi ise gelen ve yayılan fotonların enerjileri arasındaki farka eşittir. Compton saçılımı ile yüksek enerjili fotonlar tamamen soğurulamaz. Bu fotonlar, enerjileri belli bir seviyeye düşene kadar Compton saçılımına uğrar. Enerjisi azalmış fotonlar ise fotoelektrik olay ile enerjilerinin tümünü kaybederek madde tarafından tamamen soğurulur (Ayçık, 2009).

2.1.3.3. Çift oluşumu

Foton enerjisinin yüksek olması durumunda (>1,02 MeV) foton, atom çekirdeğinin çok yakınından geçerken, çekirdeğin elektromanyetik alanı etkisi nedeniyle çift oluşumu gerçekleşir. Bu olayda foton yok olurken negatif ve pozitif yüklü elektronlardan oluşan bir iyon çifti meydana gelir (Ayçık, 2009). Böylece Eşitlik 2.5'de verilen Einstein'in ünlü ifadesinin kanıtı olarak enerji-madde dönüşümü gerçekleşir, Şekil 2.9.

$$E = mc^2 \tag{2.5}$$



Şekil 2.9. Çift oluşumu

Çift oluşumu ile ortaya çıkan iyon çiftinden pozitif elektron (pozitron), ortamda bulunan bir elektron ile birleşerek 0,511 MeV enerjili iki adet gama ışını yayar. Bu olaya da **annihilasyon** (ortadan kaybolma-yok olma) denir.

2.1.4. İyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon tayini, radyasyon dedektörleri

Madde içerisinden geçerken yaptığı etkileşimlerden yararlanarak radyasyon nitel ve nicel olarak tanımlanır. Bu tanımlama radyasyonun tipi, enerjisi ve şiddetine bağlı olarak farklı dedektörler kullanılarak yapılır. Örneğin gazlı bir orantılı sayıcı 14,4 keV'lik gama veya X-ışını için uygunken 1 MeV'lik gama ışınını göremez. Bunun nedeni 1 MeV enerjideki gama ışınının gazlı sayıcıda soğurulması olasılığının çok düşük olmasıdır (Ayçık, 2009).

Radyasyon dedektörleri, iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon ölçüm dedektörleri olarak iki genel sınıfa ayrılır. İyonlaştırıcı radyasyon dedektörleri, doğrudan içlerinden geçen radyasyonun oluşturduğu iyonları esas alan bir çalışma prensibine dayanır. Bu dedektörler, radyasyonun iyonlaştırıcı etkisiyle oluşan iyon çiftlerinden gelen elektrik yükünün toplanıp elektronik olarak genleştiği düzeneklerdir. En çok kullanılan iyonlaştırıcı radyasyon dedektörleri; iyonlaşma odası, orantılı sayıcı, Geiger Müller sayıcılar ve yarı iletken dedektörlerdir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun dedeksiyonunda ise genellikle sintilasyon dedektörleri kullanılır. Radyasyonun nitel ve nicel analizi için en çok kullanılan dedektörler radyasyonun etkileştiği ortamın gaz veya katı-sıvı olmasına göre de sınıflandırılabilir. Bu durumda iyonlaşma odası, orantılı sayıcı ve Geiger Müller sayıcılar gazlı sayıcılar olarak sınıflandırılırken yarı iletken ve sintilasyon dedektörleri katı hal dedektörleri olarak gruplandırılır (Ayçık, 2009).

Gazlı sayıcılar en eski dedektör tipleri olup halen kullanılmaktadır. Bu sayıcıların hepsi asal gaz doldurulmuş bir odacık ve elektrik alanı uygulanmış anot ve katottan oluşur. İyonlaştırıcı radyasyon gaz dolu odacığa girdiğinde gazda iyonlaşmaya neden olur. Oluşan negatif yüklü iyonlar anoda, pozitif yüklü iyonlar katoda hareket eder ve böylece bir akım darbesi elde edilir. Gazlı sayıcılar birbirlerinden esas olarak uygulanan voltaj bakımından ayrılır.

Anot ve katot arasına uygulanan gerilime bağlı olarak, radyasyonun gaz içinde oluşturduğu iyonların dağılımı değiştiğinden gazlı sayıcıların ölçüm alanları da farklı olur. Bu nedenle, gazlı sayıcılar uygulanan voltaj değerine göre orantılı, sınırlı orantılı, Geiger Müller gibi isimler alır (Ayçık, 2009).

Gazlı sayıcıların en elverişsiz yönü düşük verimli olmalarıdır. Yüksek yoğunluğa sahip katı hal dedektörler ise uygun kristal boyutlarında radyasyonun menzilinin uzun olması durumunda dahi soğurma yapabilir. Ancak çalışılabilir bir katı hal dedektör için iki şartın sağlanması gerekir. Bunlardan ilki, elektron ve iyonların yeteri kadar birikip elektronik pulsların oluşabilmesi için yüksek elektrik alanına dayanabilecek dedektör malzemesinin olmasıdır. Bu malzeme radyasyon olmadığında taban gürültüsünü engellemek için akım geçirmemelidir. İkinci şart ise; elektronların radyasyon etkisi ile atomdan kolayca ve çok sayıda kopabilmesidir. Ayrıca, elektronlar ve ilk iyonlaşan atomlar kristal malzemesi boyunca hareket edebilmelidir. Açıkça görüldüğü gibi birinci şart dedektör kristal malzemesinin yalıtkan olmasını gerektirirken ikinci şart iletken olmasını gerektirmektedir. Her iki şart birden ise ancak yarı iletken bir malzeme kullanılarak sağlanabilir (Krane, 2002).

Bir önceki paragrafta bahsedilen ikilem, sintilasyon dedektörlerinde iyonlaşma sonucu oluşan elektronlarla, elektronik pulslarla oluşan elektronların aynı olmamasıyla giderilmiştir. Bir sintilasyon dedektöründe ışın kristalden geçerken kristaldeki atomları uyarır ve bu uyarma sonucu görünür bölgede bir foton yayınlanır. Bu fotonlar foto duyarlı yüzeye çarparak fotoelektron salınmasına sebep olur. Salınan ikincil fotonlar fotoçoğaltıcı tüpte çoğaltılır, hızlandırılır ve elektriksel pulslara dönüştürülerek iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun tayini yapılır. Sintilasyon dedektörlerinin yapımında en çok çinko sülfür, sodyum iyodür kristalleri kullanılır.Katı hal dedektörü olan sintilasyon dedektörleri nispeten yüksek verimli ve uygun çözme gücüne sahiptir (Krane, 2002).

Diğer katı hal dedektörleri de yarı iletken dedektörleri olup diğer dedektör çeşitleri arasında en yüksek ayırma gücüne sahiptir. Bu dedektörlerde germanyum ve silisyum gibi yarı iletken malzeme kullanılır. Germanyum ve silisyum dört değerlikli atomların komşu atomlarla dört kovalent bağ oluşturdukları kök kristaller şeklindedir.

Yani tüm değerlik elektronları bağa katılmıştır ve bant yapısı bir dolu bant ve bir boş iletkenlik bandı şeklindedir. Dolu bant ile boş iletkenlik bandı arasındaki enerji aralığı bir yalıtkana göre oldukça düşüktür. Yarı iletken maddede, az sayıda elektron oda sıcaklığında değerlik bandında deşik adı verilen pozitif (+) bir boşluk bırakarak termal olarak iletkenlik bandına uyarılır. Oluşan (+) boşluk komşu elektronlardan biri ile doldurulur ve yeni bir deşik oluşmuş olur. Böylece, (+) yüklü deşikler kristal içinde hareket ediyorlarmış gibi görünür. Radyasyonun oluşturduğu elektronlar ve pozitif boşluklar elektrik alan yardımı ile farklı kutuplara çekilir. Bir kutupta biriken elektronlar elektronik pulslar oluşturur. Oluşan pulsların genliği radyasyonun enerjisi ile doğru orantılı olduğundan radyasyonun enerjisi analiz edilebilir. Bazen elektrik iletimini kontrol etmek için yarı iletken malzemelere katkı maddesi de ilave edilebilir (Krane, 2002). En çok kullanılan yarı iletken dedektör çeşitleri; silisyum-lityum (Si(Li)), germanyum-lityum (Ge(Li)), silisyum diot, yüksek saflıkta (high purity) germanyum (HPGe) ve germanyum-kadmiyum-tellür (Ge-Cd-Te) dedektörlerdir (Ayçık, 2009).

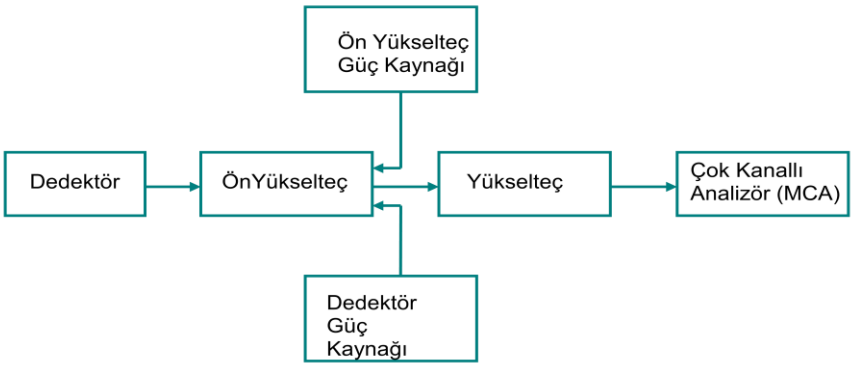
2.1.5. Gama spektrometresi

Dedektör ve bazı elektronik modüllerin uygun kombinasyonu spektrometre olarak adlandırılır. Radyoizotopların tayin ve analizinde alfa-gama spektrometreleri ve beta sayıcısı kullanılır. Gama spektrometresi, radyoaktivite içeren örneklerdeki radyoizotopların nitel ve nicel olarak tanımlanmasında en çok kullanılan tekniktir. Bunun nedeni her alfa veya beta bozunmasını genellikle ölçülebilir nitelikte bir gama ışını takip ettiğinden çok sayıda radyoizotopun gama spektrometresi ile tayin edilebilir olmasıdır. Üstünlük sağlayan bir diğer önemli özellik de gama ışınlarının enerjisi her bir çekirdek için kesikli ve karakteristik olduğundan aynı örnekte, farklı radyoaktif çekirdeklerin tek tek ve aynı anda nitel ve nicel analizinin mümkün olmasıdır.

Gama spektrometresinin tercih edilmesinin diğer sebepleri düşük tayin sınırı, ölçümlerdeki yüksek kararlılık, veri işlemedeki doğruluk ve analiz edilen bilgilerin güvenilirlik düzeylerinin yüksek olmasıdır.

Gama ışınlarının ulaşma uzaklıkları yüksek olduğundan analiz örnekleri genellikle kimyasal bir ön hazırlık işlemi gerektirmez. Tüm bu sayılan avantajlar gama spektrometresi ile ölçümü diğer ölçüm yöntemlerinden üstün kılar (Ayçık, Demirel, 2003).

Gama spektrometresi çalışma esası gama ışınlarının dedektör kristali ile etkileşmesine dayanır. Spektrometre ile analizde Bölüm 2.1.3.1'de anlatılan fotoelektrik olay nedeniyle oluşan fotopikler kullanılır. Gama spektrometrik analizin esası, gelen radyasyonun dedektöre girerek dedektör kristali ile etkileşmesine dayanır. Bu etkileşim sonucu, gelen radyasyon enerjisinin bir kısmını ve/veya tamamını kaybederek daha düşük enerjili elektronlar salınmasına neden olur. Salınan bu elektronlar toplanır ve analiz edilmek üzere elektronik devre tarafından akım pulsuna dönüştürülür, yükseltgenir ve Çok Kanallı Analizörde (MCA) analiz edilir. Böylece, gelen gama ışınının enerjisine bağlı olarak, dedektörden elde edilen elektrik darbeleri, bir seri elektronik modülden geçirilerek MCA'da enerji dağılımlı gama spektrumu olarak gözlenir. Gama spektrometresi özellikleri kullanılan dedektör malzemesine göre değişir. Yüksek saflıkta germanyum (HPGe) yarı iletken dedektör, gama spektrometresinde yüksek çözme gücü sebebiyle oldukça tercih edilen bir dedektör tipidir. HPGe kristalin radyasyon ile etkileşimi ve bu etkileşimin deteksiyonu Bölüm 2.1.4'de anlatıldığı şekilde gerçekleşir. Şekil 2.10'da kuyu tipi HPGe dedektörlü bir gama spektrometresinin akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Kuyu tipi HPGe dedektörlü gama spektrometresi

Gama spektrometrelerinde çok az miktardaki örneklerin analizinde kullanılan kuyu tipi dedektörlerin avantajı sayım açısının geniş olmasıdır. Analiz işlemlerinde örnek kabı olarak dedektör üzerine bir şapka gibi oturan özel Marinelli kabı veya kuyu içine yerleştirilen tüplerin kullanılması durumunda dedektör ve örnek kabının geometrisi nedeniyle sayım kayıpları düşük olur. Kuyu tipi geometri 4π geometrisi kabul edilebilir. Ayrıca dedektör kristali olarak saf germanyum kristali kullanılmasının bir diğer avantajı da sürekli soğutma yapılmasını gerektirmemesidir. İçinde safsızlık barındıran Ge (Li), Si (Li) gibi katı hal dedektörleri, sürüklenmiş olan safsızlık atomlarının dizilişinin bozulmaması için sürekli soğutma gerektirirken saf germanyum kristal dedektörlerinde sadece yüksek voltaj uygulanması durumunda soğutma işlemi gerekir. Bu da HPGe dedektörlerin Ge (Li) ve/veya Si (Li) dedektörlere göre çok önemli bir üstünlüğüdür.

Gama ışınları enerjisinin her bir çekirdek için kesikli ve karakteristik olması nedeniyle gama spektrometresi kullanılarak aynı örnekte, farklı radyoaktif çekirdekler aynı anda ayrı ayrı nitel ve nicel olarak analiz edilebilir. Nitel analizde spektrumdaki pik tepe noktasına karşı gelen enerjiler belirlenir. Gama ışınlarının yayılma olasılığı ve yarılanma ömürleri göz önünde tutularak bu enerjilerin hangi radyoizotoplara ait olduğu belirlenir.

Gama spektrumunda ilgilenilen pikin net alanı kullanılarak örnekteki herhangi bir radyonüklitin özgül aktivitesi bulunarak da nicel analiz yapılır. Özgül aktivite (A) ile radyoaktif tanecik sayısı (N) arasındaki ilişki Eşitlik 2.6'da verilmiştir.

$$A = N \times \lambda \tag{2.6}$$

Gama spektrometrik sistemlerde örneğin özgül aktivitesi, ilgilenilen pik alanı ve diğer parametreler kullanılarak Eşitlik 2.7'den yararlanılarak bulunur (Ayçık, Demirel, 2003).

$$A(Bq/kg) = \frac{PA}{t \times \varepsilon \times f_T \times D \times m} \tag{2.7}$$

Burada PA laboratuvar ve Compton zemin düzeltmesi yapılmış net pik alanını, t sayım süresini (s), ε gama spektrometrik sistemin verim kalibrasyonunu, f_T bozunma faktörünü, D sayım süresince radyoaktivitenin azalma katsayısını (kısa yarı ömürlü radyonüklit analizlerinde önemlidir), m örneğin kütlesini göstermektedir.

Net pik alanı elde edilen spektrumda ilgilenilen pikin sınırlarının kullanıcı tarafından belirlenmesi sonrası spektrometreye bağlı yazılımın, bu pikin altında kalan alandan Compton fon alanını çıkarması ile elde edilir. Böylece çevrede doğal fon oluşturan radyoizotopların etkisi ve Compton zemin etkisi giderilerek sadece seçilen radyoizotoptan gelen verilere ait net pik alanı bulunur. İlgilenilen radyoizotoplar için yayılma olasılığı değerleri veri tablolarından bulunabilir. Radyoaktivite azalma faktörü hesaplanır. Aktivite hesaplamalarında bulunması en zor parametre verim kalibrasyonudur.

Burada bahsi geçen verim değeri, spektrometrenin zırhlanması, dedektör kristal cinsi ve hacmi, kullanılan elektronik donanımın özellikleri, örnek-dedektör geometrisi gibi birçok faktöre bağlı olarak her spektrometre için farklıdır. Örnek geometrisi, dedektöre göre konumlandığı yer, örneğin cinsi ve matrisi gibi faktörler de verimi etkiler. Bu kadar çok parametrenin etkilediği bir değişkenin tam olarak belirlenebilmesi de oldukça güçtür.

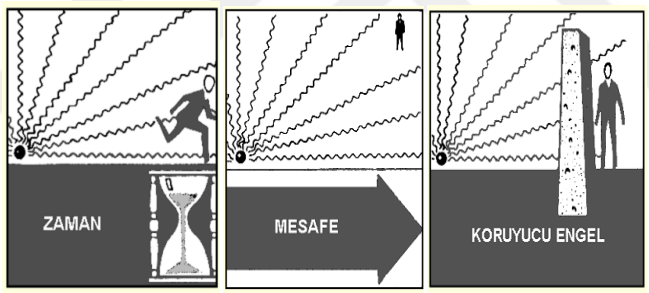
2.2. Radyasyondan Korunma ve Zırhlama Malzemeleri

Günümüzde teknolojik gelişmeye paralel olarak radyasyon kaynaklarının kullanımı artmıştır. Çeşitli radyasyon karakteristiklerinin tanımlanması ile bunların potansiyel faydalarının anlaşılmasının yanında, radyasyondan etkilenmesi halinde oluşabilecek potansiyel zararlar da ortaya konmuştur. Günümüzde nükleer santrallerinin sayısının artması, savaşlarda nükleer silahların kullanım olasılıkları, radyasyon yayan cihaz ve kullanılan radyoizotopların artması da göz önüne alınırsa, radyasyondan korunmak için daha etkin önlemlerinin alınması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla radyasyondan korunmak amacıyla radyasyon zırhlama malzeme ve tasarımı üzerine yapılan çalışmalar da artmıştır.

2.2.1. Radyasyondan korunmada temel kavramlar

Radyasyondan vazgeçmek mümkün olamayacağına göre zararlı etkilerini azaltacak korunma önlemleri alınmalıdır.

Radyasyondan korunmada temel düşünce, radyasyona mümkün olan en alt düzeyde maruz kalmaktır. Bu amaçla öngörülen ALARA prensibi herhangi bir radyoaktif kaynaktan yayılan ve maruz kalınan dozun en aza indirilmesi gerekliliğini ifade eder. Kelime anlamı olarak "ulaşılabilir en düşük makul doz değeri" anlamına gelen (As Low As Reasonably Achievable) ifadesinin kısaltılmış gösterimidir. ALARA prensibi sadece güvenlik amaçlı olmayıp, tüm radyasyondan korunma programları için sağlanması gerekli mevzuat işlemlerini de içeren bir düzenlemeyi kapsar. Bu prensibe göre radyasyondan korunmada üç temel unsur vardır. Bunlar; mümkün olduğunca kısa zaman, mümkün olduğunca uzun mesafe ve zırhlamadır (Şekil 2.11.) (TAEK, 2016).



Şekil 2.11. Zaman, mesafe ve zırhlama

Zaman: Alınan doz miktarı ile zaman doğru orantılı olduğundan, radyoaktif bir kaynağın yanında kalma süresi ne kadar kısa olursa, o kadar düşük doza maruz kalınır. Bu nedenle radyoaktif kaynakların yanında mümkün olan en kısa süre kalınmalı ve gereksiz ışınlamalardan kaçınılmalıdır.

Mesafe: Radyasyon kaynağından uzakta durmakla da maruz kalınabilecek doz miktarı azaltılabilir. Radyasyon, kaynağından uzaklaştıkça çevreye yayılır ve havadaki etkileşimlerle enerji ve şiddetini kaybeder.

Bir radyasyon kaynağından (r) uzaklığında maruz kalınabilecek doz miktarı (D) Eşitlik 2.8'de verilmiştir.

$$D_r = D_0(r_0/r)^2 \quad (2.8)$$

Zırhlama: Radyasyon dozunu azaltan diğer bir etkili faktör, radyasyon kaynağı ile kişi arasına engel konulmasıdır. Bu engeli oluşturan malzeme zırh malzemesi olarak adlandırılır. Zırh tasarımında kullanılacak malzeme, zırhlanacak radyasyonun tür ve enerjisine göre farklılık gösterir. Alfa ışınları bir kâğıtla engellenebilirken, giriciliği daha fazla olan beta ışınlarını ince bir alüminyum levha ile zırhlamak yeterli olmaktadır. Gama ışınlarının giriciliği ise ışınım yapan kaynağın enerjisine bağlı olarak beta ışınlarından 100, alfa ışınlarından 10000 kat daha fazladır. Bu kadar yüksek giriciliğe sahip olan elektromanyetik radyasyonu durdurmak ise ancak özel malzemeler kullanımıyla olur. Bu "özel" zırhlama malzemelerinin ortak özelliği yüksek yoğunluk, yüksek atom numarası ve en sık istiflenmiş kristal yapısına sahip olmalarıdır (TAEK, 2016).

İyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyonun zırhlamasında malzemenin atom numarasının yüksek olması en öncelikli özelliklerdendir (Bölüm 2.1.3.1.). Yayılan radyasyonun enerjisine göre zırhlama amacıyla uygun atom numaralı elementler içeren malzemeler kullanılır.

0,001-0,5 MeV aralığındaki düşük enerjilerde, zırhlama malzemesinin elektron başına fotoelektrik soğurma tesir kesiti atom numarasına çok bağlıdır (Z^5). 0,5-2,0 MeV aralığındaki orta enerjilerde durdurucu malzemenin elektron başına Compton saçılma tesir kesiti, Z ile orantılıdır. Yani bu aralıktaki İEMR'nin zırhlanmasında kullanılacak malzemenin atom numarası çok da önemli değildir. Yüksek foton enerjileri için (>1,02 MeV) çift oluşumu tesir kesitinin foton enerjisi ile değişimi karmaşık olmakla beraber, soğurucunun atom numarası ile (Z^2) şeklinde orantılıdır.

İEMR zırhlamasında yüksek atom numarası dışında maddenin yoğunluğu ve kristal yapısı da öncelikli özelliklerdendir. Esasen malzeme yoğunluğunu da malzemeyi oluşturan elementlerin atom numaraları ve malzemenin kristal yapısı belirlemektedir. Atomların üç boyutlu uzayda düzenli (kendini tekrar eden) bir şekilde dizilmesiyle oluşan yapıya **kristal yapı** denir.

Katı içerisinde tanecikler belirli bir düzene göre sıralanarak kristal örgüsünü oluşturur. Kristal örgüyü tanımlayan en küçük parça birim hücre olup kristal yapının tüm geometrik özelliklerine sahiptir (Ayçık, 2009). Polonyum atom numarası yüksek bir elementtir. Ancak, kristal yapısı basit kübik sistem olduğundan kristal yapıda tanecikler arası boşluk çok fazladır. Bu nedenle de atom numarası yüksek olmasına rağmen, yoğunluğu düşüktür. Polonyum elementinin (Z=84) yoğunluğu 9,4 g/cm^3 iken daha düşük atom numaralı kurşun elementinin (Z=82) yoğunluğu 11,34 g/cm^3'dür. Polonyumun yoğunluğundaki bu azalma basit kübik örgüsündekikristal yapı boşluk miktarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Kristal yapıdaki bu boşluklar gelen radyasyonun büyük bir kısmınınmalzeme içinde soğurulmadan ilerlemesine neden olacaktır. Polonyuma ait kristal yapı Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Basit kübik yapı (polonyum)

2.2.2. Doğrusal ve kütlesel zayıflatma katsayıları, yarı değer kalınlığı

I_0 şiddetindeki bir İEMR demeti, x kalınlığındaki soğurucu bir malzeme içinden geçerken, malzemeyi oluşturan madde atomlarının elektron ve çekirdekleriyle etkileşerek I şiddetine ulaşır Eşitlik (2.9).

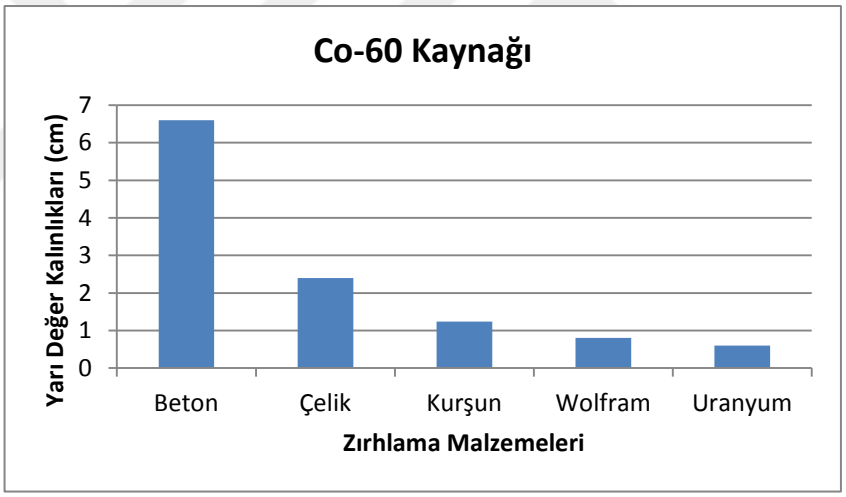
$$I = I_0 \exp(-\mu x) \qquad (2.9)$$

Burada μ malzemenin toplam doğrusal zayıflatma katsayısını (cm^{-1}), x (cm) malzemenin kalınlığını göstermektedir. Eşitliğe göre malzemenin toplam doğrusal zayıflatma katsayısı değeri x'e karşı ln(I/I_0) grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğrunun eğiminden bulunur.

Kütlesel zayıflatma katsayısı, malzemenin fiziksel hali ve yoğunluğundan bağımsız olduğundan zırhlama malzemelerinin performanslarının kıyaslanmasında önemli bir başka ifadedir. Kütlesel zayıflatma katsayısı, malzemenin birim kütlesi(gram)için İEMR zayıflatma performansıdır. Malzemenin İEMR soğurma yeteneğinin bir başka ifadesi olankütlesel zayıflatma katsayısı malzemenin doğrusal zayıflatma katsayısının malzeme yoğunluğuna (ρ, g/cm3) bölünmesi ile bulunur Eşitlik (2.10) (Ayçık, 2009).

$$\mu_{kütlesel} = \mu / \rho \qquad (2.10)$$

Radyasyonun şiddetini yarıya indiren kalınlığa "yarı değer kalınlığı" (half value layer, HVL) denir. Zırhlama amaçlı olarak kullanılan bazı malzemelerin yaklaşık yarı değer tabaka kalınlıkları Şekil 2.13'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.13. Radyasyon dozunu yarıya indirebilmek için gerekli zırh malzemeleri

Şekilde uranyum metalinin en etkili zırh malzemesi olduğu görülmektedir. Ancak, uranyum metalinin radyoaktif, işlenebilirliğinin ve bulunabilirliğinin zor olması, suda çözünmesi nedeniyle zırhlama malzemesi olarak kullanımı yaygın değildir. Yoğunluğunun çok yüksek olması nedeniyle Bosna savaşında tank zırhlama amacıyla uranyum kullanıldığı bilinmektedir.

2.2.3. Kompozit malzemeler

Son yıllarda teknolojik gelişmelere paralel olarak gittikçe artan oranlarda ve farkli sektörlerde, farklı amaçlarla malzemelere gereksinim duyulmaya başlanmıştır. Bir malzemede aynı anda birçok özellik istenebilir ancak istenen tüm özellikleri tek başına gösteren bir malzeme bulunmayabilir. Örneğin, yüksek performanslı bir malzemenin sağlamlık, aşınma dayanımı, darbe dayanımı, hafiflik gibi özellikleri de taşıması istenebilir. Bu özelliklerin tümünün metal, seramik veya polimer gibi tek bir malzeme türüyle elde edilmesi zordur. Bu durumda her biri farklı, iyi özellikteki malzemeler, kompozitin bir fazını oluşturacak şekilde bir araya getirilip kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Genel olarak kompozit malzeme fiziksel ve kimyasal özellikleri makroskobik olarak birbirinden farklı, birbirine karışmayan iki veya daha fazla malzemenin en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da bileşenlerin hiç birinde tek başına mevcut olmayan yeni bir özelliği ortaya çıkarmak amacıyla makro seviyede uygun yöntemlerle bir araya getirilerek oluşturulan, üstün özelliklere sahip malzemelerdir. Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzeme veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir. Buna göre malzeme mikroskobik açıdan heterojen bir malzeme özelliği göstermekte ancak makroskobik açıdan homojen bir malzeme gibi davranmaktadır (Şahin, 2015).

Kompozitler malzemeye, yüksek mukavemet, mekanik ve termal kararlılık, sertlik, tokluk, darbe ve aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikler vererek pek çok avantaj sağlar. Örneğin, kompozit bir malzeme, dayanıklı ve sert olmasının yanısıra çok hafif de olabilir. Her bir fazın kompozitteki işlevi farklıdır.

Kompozit malzeme bileşenleri arasında elektron alışverişi yoktur. Birbiri içerisinde çözünemeyen farklı özelliklere sahip bileşenler kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler. Bileşenler birbiri içerisinde çözünürse bu tür malzemeler kompozit değil, alaşım olur.

Kompozit malzemelerin üretimi ile hafiflik, sertlik veboyut kararsızlığı (genleşme katsayıları nispeten düşük olup sert, sağlam bir yapı ve büyük bir boyut kararlılığı gösterir), yüksek mukavemet ve mekanik özellikler (çekme, basma, darbe), aşınma-yorulma-korozyon dayanımı, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık performansı, yüksek ısı dayanımı, ısıl-elektriksel özellikler, ısıl ve akustik iletkenlik, yüksek kimyasal direnç, maliyet, uzun raf ömrü, estetik görünüm, üretim kolaylığı gibi özelliklerin bir ya da birkaçının geliştirilmesi amaçlanır (Şahin, 2015).

Kompozit malzemede, matris adı verilen bir ana bileşenle takviye faz olarak adlandırılan yüksek mukavemet ve elastik modülüne sahip yapısal bileşen olmak üzere iki temel faz vardır. Bu malzemeler birbirlerinden farklı fiziksel özelliklere sahip olup bir araya getirilmeleri ile oluşan kompozit malzeme her ikisinden de farklı özelliktedir. Bu iki unsurun özellikleri gerek duyulan nitelikleri karşılayacak şekilde kontrol edilebilir. İlaveten, kompozit malzemenin özelliklerin geliştirilmesi amacıyla niteliklerine göre bazı dolgu maddeleri, kimyasallar ve diğer katkılar da ilave edilebilir.

Matris fazı, takviye malzemesini birarada tutan ve destekleyen esas faz'dır. Faz; bir malzemenin iç yapı yönünden farklı olan kısımlarına denir. Bir kompozit yapıda matrisin üç temel fonksiyonu vardır: Yapıştırıcı ve tutucu özelliği ile takviyeyi bir arada tutmak, yükü takviyeye aktarmak-homojen olarak dağıtmak ve kompozit yapıyı dış etkenlerden korumak. Böylece kompozit yapının mekanik özelliklerinin oluşumunu dolaylı olarak etkiler ve takviye fazını fiziksel ve kimyasal dış etkenlerden koruyarak kompozit yapının bir sistem olarak ortaya çıkmasını sağlar.

Matris fazın cinsine göre; polimer matris, metal matris, seramik matris, karbon-karbon ve nano kompozitler olarak sınıflandırılabilir. Polimer matrisli kompozitler, matris olarak plastik esaslı malzemelerin kullanıldığı kompozit malzemelerdir. Metal matrisli kompozitler, matris olarak, Al, Mg, Cu ve çelik ile benzeri metallerin kullanıldığı kompozit malzemeler olup büyük çaplı uygulamalarda kullanılmak için çok pahalı ve çalışılmaları çok zordur. Seramik matriskompozitleri, Al_2O_3, SİC, Si_3N_4, B_4C, CbN, TiC, TİB, TİN, AIN gibi yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramiklerin matris malzemesi olarak kullanıldığı kompozitlerdir.

Seramik matrisler yüksek oranda kırılgan olmaları nedeniyle yeterli dayanıklılığa sahip değillerdir ve kullanım alanları yüksek sıcaklık ile kullanılan yerlerle sınırlıdır. Karbon matrisli kompozit malzemeleri üretmek çok zor ve çok pahalıdır. Kompozit bileşenlerinin tanecik boyutu 300 nm'nin altında ise bu tür kompozitlere nano kompozit denir (Şahin, 2015).

Çalışmamızda matris polimeri olarak izoftalik/NPG doymamış polyester reçinesi kullanılmıştır.

Takviye Fazı, kompozit yapının mekanik mukavemetini sağlamakla yükümlü olup, pekiştirici işlevi olan malzemelerdir. Taşıyıcı görevi üstlenen takviye faz yükün %70-80'ini taşıyarak kompozitleri dayanıklı yapar. Bu dayanıklılık, takviye faz-matris faz arasındaki uyum ve bağlanma kuvvetlerine bağlıdır.

Çalışmamızda takviye faz olarak volfram ve volfram katkılı metal tuzları kullanılmıştır.

2.2.4. Kurşun, kurşun katkılı kompozit malzemeler ve radyasyon zırhlamasında kullanılabilirliği

Yeryüzünde rastlanan elementler arasında 34.sırayı alan kurşunun atom numarası 82, atom ağırlığı 207,21 g/mol'dür. Doğada özgün kristal yapısına ender rastlanan kurşun yüzey merkezli kübik-sık istifli kristal yapıya sahiptir. Ergime noktası düşük (327°C), kaynama noktası (1 atmosferde) 1525°C'dir. Yüksek yoğunluğa (11,34 g/cm³) sahiptir (Vikipedi1, 2016).

Günümüzde yüksek İEMR tutma özelliği ve düşük maliyeti nedeniyle kurşun ve kurşun katkılı malzemeler, nükleer ve radyasyonla çalışanları radyasyondan korumak için zırhlama amacıyla çok yaygın olarak kullanılırlar. Ancak kurşunun çok iyi zırhlama özelliği, ucuz olması gibi avantajlarının yanı sıra, yüksek yoğunluğu (11,34 g/cm³), düşük erime noktası nedeniyle yüksek sıcaklıklarda kullanılamaması, işlenme zorluğu, esnek olmaması, insan-doğa için toksik olmasıve çevre için zararlı olabilecek atıklar üretilmesine neden olması gibi dezavantajları vardır. Kurşunun zırhlama malzemesi olarak kullanımını zorlaştıran bu dezavantajları giderecek alternatif zırhlama çalışmaları önem kazanmıştır (Archer, 2005).

Hanifi Binici ve arkadaşları (Binici, 2013) barit, uçucu kül ve kurşun kullanılarak üretilen kompozitlerin 20,7, 26 ve 60 keV enerji aralığında zırhlama özelliklerini araştırmışlar ve barit katkılı kurşun kompozitlerin radyasyon yalıtımının yüksek oranda olduğunu raporlamışlardır.

2.2.5. Volfram (tungsten), volfram katkılı kompozitler ve radyasyon zırhlamasında kullanılabilirliği

Volfram veya diğer adıyla tungsten atom numarası 74 ve atom ağırlığı 183,85 g/mol olan gümüş grisi renginde bir geçiş metalidir. Volfram 3410°C ile en yüksek erime noktasına ve 20°C de 19,3 g/cm^3 yoğunluğu ile en ağır elementtir. Aşınmaya karşı direnci ve ısı-elektrik iletkenliği yüksek, genleşme katsayısı düşüktür. 1650°C den yüksek sıcaklıklarda volfram en yüksek gerilim mukavemetine sahiptir. Hacim merkezli kübik en sık istifli kristal yapısındadır (Vikipedi2, 2016).

Volframın Cr, Ni, V, Co, Mo ile yaptığı alaşımları yüksek devirli kesme aletleri, valf, yay, buji üretiminde, metalik volfram ise galvanometre, teleskop, yay, jilet, piyano teli, metal aynası, ısıtma elemanı, termostat yapımında kullanılır. Volframın en geniş kullanımlarından biri de volfram karbürbileşiğidir. Bu şekliyle yüksek sıcaklıkta (1000-1500°C) sertliğini ve aşınma direncini koruduğu için metal işleri, madencilik ve yapı endüstrisinde kullanılır. Askeri malzeme, ısı oluğu, radyasyon zırhı, ağırlık ve karşı ağırlıkların üretimi, çelik aksam ve aşınmaya dayanıklı parça ve kaplama malzemelerinin yapımında da kullanılır.

Volfram yüksek yoğunluğu ve erime noktası nedeniyle yüksek enerjili gama ışınlarının tutulmasında çok çalışılan maddelerdendir. Kararsız olduğundan saf, katı volfram bulunmaz. Saf metalik volframın mekanik işleme veya döküm zorluğu da vardır. Bakır, nikel veya demir gibi bağlayıcı metallerle mekanik olarak işlenebilir ve toksik özelliği olmayan volfram alaşımları elde edilebilir. Bu alaşımlar radyasyon zırhlama maddesi olarak da oldukça iyi sonuçlar vermiştir (Anonim1, 2016).

Toz metalurjisindeki gelişmeler sinterleşme ile elde edilen volframdan, yoğunluk olarak çok farklı olmayan ancak sertlik gibi fiziksel özellikleri metalik volframdan farklı olan yapılar elde edilmesine olanak sağlamıştır.

Böylece volfram alaşımları radyasyon zırhlanmasında çalışılan önemli malzeme haline gelmiştir.

Volfram alaşımlarının zırh malzemesi olarak kullanılmasıyla ilgili çalışmalarda (Anonim 2, 2013; Anonim 3, 2013) radyasyon zırhlamada volfram ağır alaşımlarının (W-Ni-Fe, W-Ni-Cu-Fe) iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyonu soğurması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Volfram, kurşundan %65, çelikten ise %130 daha yoğundur. Yapılan çalışmaların sonuçları doğrultusunda volfram alaşımlarının kurşuna göre ışınları soğurmasının %30-40 daha fazla olduğu, termal iletkenliğinin daha fazla (yaklaşık 5 kat) olduğu, iyi bir kaynaklanma yeteneği ve reaksiyon verme yeteneğinin olduğu rapor edilmiştir.

Kobayashi ve arkadaşlarının (1997) çalışmalarında zırhlama açısından volfram karbür, kurşun ile yaklaşık aynı etkiyi gösterirken, volfram-bakır alaşımının davolfram ile aynı etkiyi gösterdiği bulunmuştur. Böylece 356-661 keV enerji aralığında radyasyon zırhlamasında bakırın çok fazla bir katkısının olmadığı anlaşılmıştır. Düşük sıcaklıkta sinterleşmiş volfram, volfram karbür, volfram-bakır alaşımı ve kurşunun gama ışınlarını zırhlama özellikleri karşılaştırılmış ve volfram-bakır alaşımının kurşuna göre daha iyi zırhlama özelliği verdiği bulunmuştur.

Lee (1987) lityum hidrür-volfram kompozitininin (n,γ) tepkimelerinde gama ışınlarının zırhlanmasında çok hafif bir malzeme olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir. Ancak volfram kullanımının hızlı nötron üretilen sistemlerde esnek olmayan saçılmalar nedeniyle ikincil gama ışınlarının üretilmesine neden olacağından zırhlamanın etkisizleşmesine sebep olacağını da belirtmiştir.

Park ve arkadaşları (2011) ise ısı kalkanı olarak kullanılmak üzere, $NaWO_3$ parçacıklarının Taguchi optimizasyon metoduyla hazırlanması ve karakterizasyonu üzerine çalışmalar yapmıştır. $NaWO_3$ elektronik ve optik karakteristiği sayesinde ilgi çekmiştir. Başlangıç maddesi olarak sodyum tungstat (Na_2WO_4) kullanarak $NaWO_3$ tozu sentezlenmeye çalışmışlardır. Optimum şartları belirlemek için ve $NaWO_3$ parçacık boyutu ve dağılımı üzerinde en çok etkisi olan parametreleri seçmek için Taguchi tasarım yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen $NaWO_3$'ün 500-600 ve 700°C derecedeki davranışları incelenmiştir.

Kobayashi (1997), Akkurt (2010) korozyona karşı direnç ve manyetik özellikleri nedeniyle volfram alaşımlarının zırhlama malzemesi olarak seçilebilirliği ile ilgili çalışmalar yapmışlardır.

Çalışmamızda matris malzemesi olarak izoftalik/NPG doymamış polyester reçinesi ve takviye malzemeleri olarak da %99'luk saf volfram metali, volfram (VI) oksit, volfram bor ve volfram karbür kullanılmıştır. Böylelikle tek matris için 4 farklı metal ve metal tuzu takviye malzemesi ile %20, 30, 40, 50, ve 60 takviye oranlı kompozitler hazırlanmıştır.

2.2.6. Diğer zırhlama malzemeleri ve radyasyon zırhlamasında kullanılabilirlikleri

Zırhlama malzemesi olarak volfram, bakır, bizmut, demir gibi metaller, bu metallerin alaşımları, bu metallerin oluşturduğu kompozit malzemeler ve sabit zırhlama amacıyla özel katkılı beton bloklar da kullanılmaktadır.

Zırhlayıcı malzeme olarak çeşitli metallerle takviye edilmiş beton kullanımı ile ilgili çalışmalarda gama ve özellikle nötron zırhlaması konularında yoğunlaşılmıştır (Abdo, 2002; Akkurt, 2005, 2006, 2010; Bashter, 1997; Demir, 2010). NCRP raporlarında (NCRP, 2005) 6-18MeV enejili demetlerde beton, kurşun ve çelik için TVL değerlerinin betonda kurşundan 6-8 kez, çelikten 3,5-4,5 kez daha az olduğu belirtilmiştir. Facure ve Silva(2007) TVL değerlerini teorik olarak 4, 6 ve 10 MeV enerjilerinde ferrofosfor, limonit, ilmenit, manyetit ve barit içeren betonlarda Monte Carlo yöntemiyle ölçmüş ve beton derişimi arttıkça TVL'lerin azaldığını bulmuştur. Gama radyasyonunun Pb ve Ba gibi ağır atomları içeren yoğun malzemeler (Dresner, 1965), mermer, beton gibi bazı inşaat malzemeleri (Akkurt, 2004) ve $BaSO_4$ (barit)'ın agregat olarak kullanıldığı betonlar (Akkurt, 2006) ile de zayıflatılabileceği raporlanmıştır.

Paslanmaz çelik, karbon çeliği ve speed çelik tiplerinin borlaştırılarak zırhlama malzemesi olarak kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalarda vardır.

Bu çalışmalarda paslanmaz çelik için kütlesel soğurma katsayısı değerinin diğer çeliklere göre en yüksek olduğu ve bor katılınca kütlesel soğurma katsayısı değerinin arttığı bulunmuştur (Akkurt, 2008).

Kılınçarslan ve arkadaşları (2011) çalışmalarında değişik enerji aralıklarında zırhlama için gerekli olan normal ve barit agregalı betonlar için duvar kalınlıkları hesabı yapmıştır. Barit agregalı betonun radyasyon tutuculuk özelliğinin yüksek, kesit kalınlıklarının küçük çıktığı çalışma sonucunda daha az malzeme ve çimento kullanılacak olmasının baritli betonun zırhlama amacıyla kullanılmasında avantaj sağlayacağı öne sürülmüştür.

Singh ve arkadaşları (2008) çalışmalarında farklı mol kesirlerinde $PbO\text{-}SiO_2$ camlar hazırlamış ve bunların gama ışınlarını tutma özelliklerini incelemiştir. Sonuçta bu camların betondan daha iyi zırhlama özelliği gösterdiğini rapor etmiştir. Limkitjaroenporn ve arkadaşları (2011) ise $PbO\text{-}Na_2O\text{-}B_2O_3$ camlar hazırlamış bu camların baritli ve demirli betonlardan %15 daha iyi zırhlama özelliği gösterdiğini belirtmiştir. H.A. Batal ve arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada WO_3 katkılı kurşun borat camları ile katkısız olarak üretilen kurşun borat camların gama ışıması öncesi ve sonrası durumlarında UV-görünür bölgedeki soğurmalarını incelemiş ve en çok soğurmanın %15 WO_3 içeren kurşun borat camlarda olduğunu bulmuştur.

Bir kısım araştırmacı ise çimento ve metal alaşımlarını matris olarak kullanarak yeni zırh malzemeleri geliştirmeyi hedeflemiştir. Örneğin, Sivaraja ve Chung (2010) yaptıkları çalışmada poliakrilonitrilden üretilen karbon-fiber katkılı çimento matrisleri hazırlamış ve zırh özelliklerini incelemiş ve katkı miktarı arttıkça zırh özelliğinin arttığı ve malzemeye kum ilavesiyle zırhlama özelliğinin azaldığını rapor etmişlerdir. El-Enany ve arkadaşları (1994) da gama zırhı olarak kullanılabilecek yeni alaşımlar geliştirmiştir. Cu, Fe, Pb ve Al'dan oluşan bu alaşımların farklı kalınlıkları için doğrusal soğurma katsayılarını bulmuş ve süreç sıcaklığını optimize ederek 8.13±03 g/cm^3 alaşım yoğunluğunun gama zırhlaması için uygun olduğunu iddia etmişlerdir.

Yine alaşımlar üzerine çalışan Orlov ve arkadaşları (2004) ise nükleer yakıt taşımacılığında zırhlayıcı olarak kullanılmak üzere zenginleştirilmiş uranyum ile Fe, Ni, Si, Al alaşımları üzerine çalışmış ve elde ettikleri alaşımların öngörülen zırhlama standartlarını sağladığını raporlamıştır.

Bor maddesinin iyi bir nötron soğurucu olduğu bilinmektedir. Bor ve bor takviyeli çeşitli malzemelerin nötron tutma özelliği ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. B_4C doğal kauçuğa katılarak termal nötron radyasyon zırh malzemesi olarak önerilmiştir (Gwally, 2003). Çalık ve arkadaşları (2009) çeliklerin radyasyon soğurma özelliklerini incelemiş ve borlama yapılan çeliklerin borlama yapılmayan çeliklere göre zayıflatma katsayısının daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Calzada ve arkadaşları (2011) tarafından çelik, parafin/polietilen ve bor bileşikleri içeren kompozit yapıların nötron zırhlama özelliklerini incelemiş ve bu malzemelerin nötron yakalama malzemesi olarak kullanılabileceğini bulmuşlardır. Epoksi, amid-polimer ve amid-polimer-amin katılmış borlu kompozitler kullanılarak termal nötronları yakalamak ve ikincil gama ışınlarını durduracak bir malzeme geliştirilmesinin mümkün olabileceği Craft ve arkadaşları (2013) tarafından rapor edilmiştir. Ancak borun nötrona göre çok daha yaygın kullanım alanı bulunan iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyonu tutma özelliği ile ilgili çok az sayıda çalışma vardır.

Nanomalzemeler kullanılarak yapısal güçlendirme yapılmış malzemelerin de elektromanyetik radyasyonu zayıflatması özellikleri incelenmiştir (Kim, 2004; Lines, 2008; Niu, 2008; Poole ve Owens, 2003). Polimer nanokompozitler (polimer matrise nanomalzeme implante edilmiş yapılar) kullanılarak radyasyon zayıflatılmasının teorik ve deneysel olarak incelendiği uygulamalar vardır. Bu çalışmalar sonunda nanomalzemelerin radyasyon zırhlamalarında takviye olarak kullanılmaya aday oldukları rapor edilmiştir (Ackland, 2010; Bai, 2010; Nita, 2005; Samaras, 2003).

2.2.7. Polimerler, temel özellikleri ve zırhlama çalışmalarında kullanımları

Birbirlerine kovalent bağlarla belirli bir düzende bağlanan küçük mol kütleli kimyasal moleküllere **monomer** denir.

Monomer, polimer içinde tekrarlanan en küçük molekül birimidir. İki monomerin kimyasal bağ ile birleşmesi ile oluşan moleküle dimer, üç monomerin birleşmesi ile oluşan moleküle de trimer denir. **Polimer** ise çok sayıda monomerin bir araya gelerek bağlanması ile oluşan büyük moleküllerdir. Monomer birimleri polimerleşme (polimerizasyon) tepkimeleri ile birbirine bağlanarak polimer molekülüne dönüşürler. Bir polimer molekülünde onlarca, yüzlerce hatta binlerce monomer birimi bulunabilir (Saçak, 2012).

Reçine katkı malzemeleri ilave edilmiş reçinelerin cam, karbon, aramid gibi katkı veya farklı özellik veren dolgu maddeleri takviye edilmesi ve bu karışımın belirli bir sürece tabi tutulması sonucunda sertleşmesi ile elde edilen ürünler polimer kompozit malzeme olarak adlandırılır.

Kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karsı dayanımı arttırması polimer kompozitlerin en önemli özellikleridir. Polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi pek çok avantajının yanında dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle yarışabilecek özelliktedir. Bütün bu özelliklerine ilaveten hafif olmaları da polimer kompozit malzemelere pek çok alanda üstünlük sağlar (Saçak, 2012).

Polimerler termoplastik, termoset ve elastomerler olarak üç sınıfa ayrılır. Çalışmamızda termoset sınıfından olan izoftalik/NPG polyester reçinesi kullanıldığından diğer polimer türleri olan termoplastikler ve elastomerlerden yüzeysel bahsedilmiştir.

2.2.7.1. Termoplastik polimerler ve temel özellikleri

Molekül yapısı olarak yan zincir ve gruplar ihtiva ederler. Moleküller elastomerler ve termosetlerde olduğu gibi üç boyutlu bir yapı teşkil etmezler. Moleküller arasında zayıf Vander Waals bağları vardır. Bu nedenle katı-sert yapıya sahip değildirler.

Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunur, ısıtıldıklarında yumuşar ve bu özelliklerinden faydalanarak ısıtılmak suretiyle şekillendirilirler. Bu şekil değişikliği esnasında hiçbir kimyasal değişikliğe uğramazlar.

Termoplastik polimerler özelliklerinde önemli değişiklikler olmadan defalarca ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Isı ve basınç altında yumuşayarak akar ve böylece çeşitli formlarda şekillenebilir, uygun çözücülerde çözünebilirler. Alev veya aşırı ısı karşısında yanarak özelliklerini kaybederler. Alevden uzaklaştırıldıklarında yanma durur. Genel olarak termoplastikler asidik, bazik ve tuzlu çözeltilere dayanıklıdır. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geridönüşüm kapasitesi ve sertleşme süreci için organik çözücülere ihtiyaç duyulmaması nedeniyle güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları vardır. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastik malzeme, soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine sahip olduklarından malzemenin çekme ve eğilme dayanımlarının artırılması amacıyla kullanılırlar (Yalçın ve Gürü, 2006).

Termoplastik polimer çeşidinin çok fazla olmasına rağmen matris olarak kullanılan polimerler sınırlıdır. Termoplastiklerin kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmemelerinin başlıca nedeni üretimindeki zorlukların yanısıra yüksek maliyetleridir. Oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlamaları üretimlerinde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere de ihtiyaç duyulabilir. Piyasada toz ve granül halde bulunan termoplastik hammaddeleri termosetlere göre daha pahalıdır.

Termoplastik grubunu oluşturan en önemli polimerler akrilik, naylon, polistiren, polietilen, selülozikler ve vinillerdir. Termoplastik grubunda matris faz olarak poliamid, poliamid imide (PAI) ve polipropilen (PP) kullanımı yaygındır. Bunların yanısıra hibrid formda polietilen (PE) ve polibutilen tereftalat (PBT), polfenilen sulfit (PPS), polieterimid (PEI), polietereterketon (PEEK) ve polietersulfon (PES) kullanımı da önemlidir (Yalçın ve Gürü, 2006).

2.2.7.2. Elastomerler ve temel özellikleri

Elastomerler doğal ve sentetik lastiklerdir. Üç boyutlu şebeke yapısı oluşturularak yüksek esneklik gösteren polimerlerden meydana gelmişlerdir.

Çok düşük yükler altında yüksek deformasyon veren düşük elastiklik modülüne sahiptirler. Yük kaldırıldıktan sonra orjinal boyutlarına dönerler. Doğrusal polimer çok az miktarda moleküller arası çapraz bağ yapısına sahiptir. Birçok durumda helezoni yay gibi davranırlar. Yükün kaldırılmasından sonra eski boyutlarına dönmelerinin nedeni çapraz bağlardır. Doğal lastik (vulkanize edilmiş-kauçuk), tonajları doğal lastikten fazla olan sentetik lastikler elastomerlere örnek olarak verilebilir (Yalçın ve Gürü, 2006).

2.2.7.3. Termoset polimerler ve temel özellikleri

En çok kullanılan polimer kompozit malzeme matrisleridir. Termoset matrislerde moleküller üç boyutlu şebeke yapısı teşkil edecek şekilde birbirine çapraz bağlanmışlardır. Termoset plastikler sıvı halde bulunur, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleştirilerek sağlamlaşırlar. Ancak termosetler asidik, bazik ve tuzlu çözeltilere, kimyasal etkilere dayanıksızdır. Termoset polimerlerin polimerizasyon süreci termoplastiklerden farklı olarak geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Termoset polimerler kalıcı bir biçimde şekillendirilip kimyasal bir tepkimeyle sertleştirildikten sonra ısıtılarak yeniden yumuşatılamazlar veya diğer bir şekle sokulamazlar, ancak çok yüksek sıcaklıklara ısıtılınca bozunurlar. Bu nedenle kısmen polimerleşmiş durumda ısıtılarak kalıplanırlar. Kalıplama sırasında polimerleşme ilerleyerek plastik çapraz bağlanmaya geçer ve akma özelliğini kaybeder. Bu nedenle termoset plastikler yeniden üretim sürecine girmezler. Termoset malzemeler "ısıl sert" plastik olarak da adlandırılırlar. Isıl sert denmesinin nedeni plastiğin kalıcı olarak şekillendirilebilmesi için ısıya ihtiyacı olması ve sertleştikten sonra ısıyla sertliğini kaybetmemesidir. Her zaman amorfturlar ve camlaşma geçiş sıcaklıkları yoktur. Kimyasal çözücülerde çözünmezler. Çoğu termoset matris, sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Dondurucudan çıkarılıp oda sıcaklığında bir müddet (1-4 hafta arası) bekletildiğinde sertleşmeye başlar ve özelliklerini kaybederek biçim verilmesi zor bir hal alır, kullanılamaz duruma gelir. Dondurucu içinde olmak şartıyla raf ömürleri 6 ila 18 ay arasında değişir (Yalçın ve Gürü, 2006). En yoğun kullanılan termoset matrisler ve genel özellikleri şöyle özetlenebilir:

Polyester Reçineler; dibazik asitlerin, dihidrik alkoller (glikol) ya da dihidrik fenollerle karışımının yoğuşması ile şekil alırlar. Polyesterlerin ana tipleri polyester bileşeninin doymuş asitle ya da alternatif malzeme olarak glikolle modifikasyonu temeline dayanır. Kür işlemiyle matrisin esnekliği iyileştirilerek kopma gerilmesi arttırılabilir. Sert, kimyasal maddeler ve hava şartlarına direnci çok yüksektir. Polimerizasyon süreçlerinin tamamlanması için katalizör ve hızlandırıcı olarak adlandırılan ek maddelere ihtiyaç duyarlar. Kompozit malzemelerde daha ekonomik olan ortoftalik ve suya dayanım gibi daha iyi özelliklere sahip olan izoftalik polyester gibi iki tip polyester reçine vardır. Üretim kolaylığı ve düşük yatırım maliyeti nedeniyle en tercih edilen ve yaygın kullanılan reçinelerdir.

Epoksi Reçineleri; iki ya da daha fazla epoksit içeren bileşenlerden oluşur. Bifenol A ile epiklorhidridin bazik şartlardaki tepkime ürünü olup sertleştirici (katalist) ile karıştırıldığında oda sıcaklığında veya fırınlama sonucu (70–90°C) belli bir sürede sertleşerek, plastik görünümü alırlar. Sıvı, viskoz sıvı veya katı hallerde bulunabilir. Elektrik, ısı, kimyasal dirençleri ve mekanik özellikleri yüksektir. Hava şartlarından etkilenmezler. Düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler. Büzülmeleri %2'den azdır. Polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur. Genellikle gelişmiş kompozitlerin üretiminde kullanılırlar.

Fenolikler; fenol formaldehit kondenzasyon ürünüdür. Kür işleminin buharlaşma özelliği hava boşluklarının oluşmasına ve yüzey kalitesinin düşmesine neden olur. Sertleşme ısı enerjisiyle gerçekleşmekte, laminant ve kalıplama için basınç gerekmektedir. Fenolik reçinelerin ısı kararlılıkları, elektrik özellikleri, su ve alkaliler dışındaki kimyasal maddelere dayanımları çok iyidir. Bu reçineler 300°C'ye kadar sürekli, asbest lifleriyle donatılmaları halinde ise kısa süreli olarak 1000°C'ye kadar kullanılabilir. Fenolik reçineler yüksek mukavemetin yanı sıra, büyük ısı direncine sahip olduğundanateşe dayanıklılık gerektiren yerlerde kullanılır.

Vinylester reçine matrisler; polyestere benzer. Polyesterle glikolün bir kısmının yerine doymamış hidrosilik bileşenlerin kullanılması ile elde edilirler. En önemli avantajları elyaf ve matris arasında iyileştirilmiş bir bağ direncine sahip olmalarıdır.

Üretan Reçineleri; bir izosiyanatla bir polialkolün oda sıcaklığında katılma polimerizasyonu tepkimesiyle elde edilen üretanlar daha çok köpük lastik (esnek ve katı) yapımında kullanılırlar. Kimyasal dirençleri iyidir.

Termoset kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan diğer matris malzeme tipleri arasında silikon, amino, siyanat esterleri, poliimid, bismaleimid (bmi) reçineler sayılabilir (Yalçın ve Gürü, 2006).

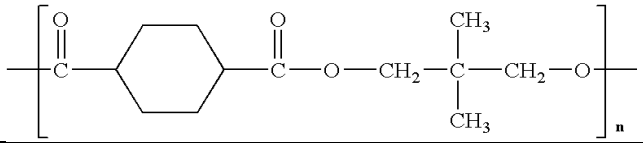
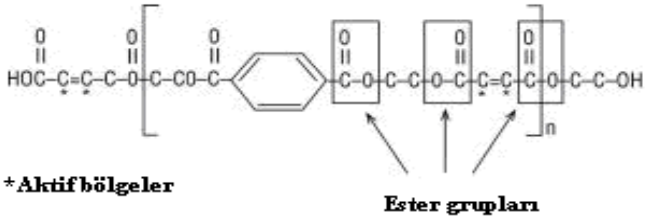
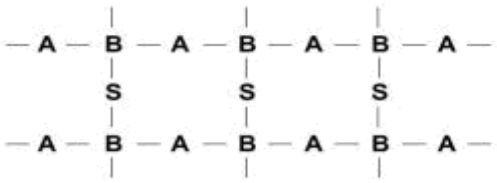
2.2.7.4. İzoftalik/NPG polyester reçinesi

Polipol 381 izoftalik/NPG esaslı, yüksek reaktivitede, yüksek molekül ağırlıklı doymamış polyester reçinedir.

Polipol 381 polyesterin en yaygın uygulama alanları olarak, kimyasal madde depoları, kimyasal madde üreten fabrikalar için ekipman yapımı, elektroliz kaplarının yapımı, korozyona karşı kaplama yapımı sayılabilir. Sert polininilklorür (PVC) ile çok iyi bağdaştığından polyesterin dayanıklı olmadığı kimyasal ortamlarda PVC ile birlikte kullanılabilir.

Polipol 381 polyesterin en belirgin üstünlüğü, yüksek sıcaklıklarda dahi birçok kimyasal maddeden etkilenmemesidir. Genel olarak polyesterin kostik gibi alkali-bazik maddelere ve oksitleyici asitlere karşı zayıf oldukları bilinmektedir. Polipol 381 polyesteri söz konusu kimyasal maddelere karşı oldukça dayanıklıdır. Kimyasal maddelere dayanım açısından bisfenolik polyesterlerden sonra en dayanıklı polyester türüdür. Çizelge 2.2'de polyester molekül zincirinin pişmeden (kürlenmeden) önce ve sonraki yapısı şematik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Çalışmada kullanılan polimerin yapı ve şematik ifadeleri

	Polipol 381 (izoftalik/NPG)
Yapı	
	Polyester Reçine
Yapı	
Pişmeden önceki şematik yapı	
Pişmeden sonraki şematik yapı	

Burada ‘B’ molekülleri reaktif bölgeleri göstermektedir. Metil etil keton peroksit (MEK-P) ilavesi ile polimer zincirleri arasında reaktif bölgelerde çapraz bağlar oluşturmaktadır ve böylece üç boyutlu karmaşık bir ağ yapısı elde edilmiştir.

Polipol 381 polyesterin bir başka üstün özelliği, yüksek fiziksel dayanıklılığa sahip ürünler vermesidir. Bu nedenle, düşük ağırlık fakat yüksek mekanik dayanımın önemli olduğu yarış ve sürat tekneleri, rüzgar sörfü yelkenli direği, makine ve elektrik parçaları yapımında cam elyafla takviye edilerek kullanılır. Hidrolitik kararlığı çok yüksektir. Su ile çalışılan her ortama dayanıklıdır. Kaynar su dahil deterjanlı, klorlu sulardan etkilenmez. Bu özelliklerinden dolayı su ile temas eden her alanda kullanılabilir. Polipol 381 yüksek ısıya dayanıklı polyester reçinedir. Isıtma sistemlerinde izolasyon işlerinde kullanılabilir. Üstün elektriksel özellikleri vardır. Delinme gerilimi yüksek olduğu için, elektronik ve elektroteknik alanlarda kullanılabilir.

Ayrıca dielektrik kaybı düşüktür ve yüksek sıcaklıklarda mekanik değerlerinden fazla kayıp vermez (Poliya, 2012)

Literatürde polimerlerin zırhlama özelliği daha çok nötronlar için incelenmiştir. Milewski (1987) tarafından polimerik malzemelerin iyi bir nötron zayıflatma özelliğine ek olarak, polimer içine ağır mineral veya metaller eklenerek gama ve X-ışınları için de uygun olup olmayacağı araştırılmıştır. Çalışmada ticari olarak elde edilebilir düşük ve yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen ve polistiren kullanılmıştır. Reyes ve arkadaşları (2000) etilen dien kauçuk ve alçak yoğunluklu polietilen iki farklı bor karbür tozu ile % 47 ve % 57 oranlarında karıştırılarak kompozitlerin zırhlama özelliği incelenmiş ve 1,5 cm kalınlığındaki %57'lik borkarbür içeren kompozitin yavaş nötron akısını % 85 oranında kestiği bulunmuştur. Cheng (2007) epoksi reçinenin gama ve nötronlara karşı gösterdiği iyi dayanıklılık nedeniyle geniş bir kullanım alanı bulduğunu ifade etmiştir. Muthusamy ve Chung (2010) PAN-esaslı fiber, poliakrilonitril ve paslanmaz çelik kompozitlerin radyasyon tutma özellikleri incelenmiş, birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Gwaily (2002) nötronların bor karbür takviyeli doğal kauçuk ile tutulması olasılığının çok yüksek olduğunu rapor etmiştir.

Yüksek atom numaralı takviye malzemelerinin çeşitli polimerlere katıldığı çalışmalar oldukça fazladır. Burada yüksek atom numaralı takviye malzemeleri radyasyon şiddetini etkin olarak azaltırken polimer, alışılmış zırhlama maddelerine kıyasla kompozitin ağırlığını düşürme rolü üstlenmektedir. Bu konuda kurşun-polyester ve kurşun oksit-epoksi kompozitler (Harish, 2009), kurşun-stiren bütadien kauçuk ile kurşun-kurşun oksit ile emprenye edilmiş polimer matrisler (Aziz, 1991), kurşun-polistiren (Pavlenko, 2004), ağır metal kompozitleri (Attix, 1986; McCaffrey, 2009; Yue, 2009) ve benzerleri çalışılmıştır. Hansmann (2003) kurşun (II) oksit katılmış (%30 ve %50) izoftalat bazlı doymamış polyester reçinelerin 0,662 keV gama enerjilerini zayıflattığını ve Harish ve arkadaşları (2009) bu kompozit malzemenin zayıflatma katsayılarının gümüş, bakır ve betondan daha iyi ancak kurşundan daha kötü olduğu bulmuşlardır. Azman (2013) ticari akrilik ve epoksi içine volfram ve kurşun implant edilerek zırhlama özellikleri incelenmiş ve akriliğin epoksiden daha iyi zırhlama özelliği gösterdiği bulunmuştur.

Kurşun oksitlerin takviye elemanı olarak kullanıldığı polietilen (Yvan ve Pierre 1965), stiren butadien kauçuk (Aziz, 1991), polietilen glikol (Hussain, 1997), doğal kauçuk (Aziz, 1997), yüksek yoğunluklu polietilen (Abdo, 2003), polistiren (Pavlenko, 2004) ve epoksi (Azman, 2013) gibi polimerlerin esas olarak kullanıldığı kompozitler de çalışılmıştır. Nambiar ve arkadaşları (2013) polidimetilsiloksan (PDMS) nanokompozitlerinde farklı kütlesel oranlarda bizmut oksit nano tozları kullanmışlardır. Plionis ve arkadaşları (2009) tarafından atom numarası olarak kurşuna (Z=82) çok yakın olan bizmut (Z=83) sağlık açısından zararsız bir madde olmasının avantajı yanında polietilen esaslı bizmut takviyeli kompozitlerin özellikle <400 keV enerjili radyasyona karşı iyi bir zırhlama özelliği gösterdiği, ancak kurşunun özelliklerini yakalayamadığı ileri sürülmüştür. Stiren bazlı termoplastik elastomerler ve volframın insan sağlığı açısından daha güvenli olduğu ancak zırhlama malzemesi olarak kullanılması durumunda elektronun geri saçılmasının dikkate değer bir sorun olabileceği ileri sürülmüştür (Jose, 2000). Rodriguez ve arkadaşları (2007) elementlerin polimerlere implante edilerek sertlik ve esneklik gibi bazı özelliklerinde iyileştirme yapılmasına çalışmıştır. Azman ve arkadaşları (2012) epoksiye kurşun, volfram ve altın implante etmişler ve saf epoksiye göre X-ışınları tutma özelliklerinin arttığını bulmuşlardır. Tajiri ve arkadaşları (2004) yoğunluğu 3,5-10,0 g/cm^3 arasında değişen volfram ve stiren bazlı termoplastik elastomer kullanarak gama zırhlama özelliklerini çalışmışlardır.

Literatürde polimer matrisli gama radyasyon zırhları üzerine de çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin El-Sayed Abdo ve arkadaşları (2002) nötron ve gama zırhlamasında kullanılan betonlarda oluşan çatlakların doldurulmasında kullanılmak üzere ilmenit-epoksi kompozitler geliştirmiş ve ilmenit yüklemesi oranı değişimiyle soğurma katsayısı değişimini hesaplamıştır. Daha sonra kompozitlerin hem termal nötronları hem de gama ışınlarını tutma özelliklerini belirlemiştir. Plionis ve arkadaşları (2009) ise düşük enerjili gama zırhlamasında kurşun bloklara alternatif olarak polimer-bizmut kompozitleri üzerine çalışmış ve 400 keV altındaki gama enerjisi için geliştirilen kompozitlerin kurşun bloklarla aynı etkiyi gösterdiğini raporlamıştır.

Gwaily ve Madani (2002) de kurşun-doğal kauçuk kompozitleri aynı amaç için geliştirmiştir. Farklı konsantrasyonlarda kurşunu doğal kauçuğa mastike ederek ürettikleri malzemelerin soğurma katsayılarını incelemişler aynı kalınlıktaki malzemenin kurşunun yaklaşık yarısı kadar zırh özelliği gösterdiğini bulmuşlardır. Yine kauçuk-kurşun kompozitleri üzerine çalışan Mheemeed ve arkadaşları da (2011) farklı miktarlarda kurşun yüklemesi yapılan malzemeleri incelemiş ve geliştirdikleri kompozitin kurşunun yaklaşık %33'ü kadar zırhlama özelliği gösterdiğini rapor etmişlerdir. Harish ve arkadaşları (2008) gama radyasyon zırhı uygulamaları için doymamış polyester reçine matrisine kurşun oksit katarak yeni bir kompozit malzeme geliştirmişlerdir. Elde edilen malzemenin karakterizasyon analizlerini yapmış ve radyasyon zırhı özelliğinin gümüş, bakır ve betondan daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Sonuç olarak nötron veya elektromanyetik radyasyon zırhlama uygulamaları için kompozit malzemeler geliştirilmesi özellikle son yıllarda oldukça yoğun çalışılan bir konudur. Ancak bu çalışmalarda, bizim tez çalışmamızda kullanılan kompozit yapılara benzer kompozit yapılarla çalışılmadığı gibi çalışılan benzer polimerlerin de nötron radyasyonunu tutma özellikleri incelenmiştir. Literatürde Polipol 381 kodlu İzoftalik/NPG polyester reçinesiyle volfram metali ve volfram metal tuzları katkılı kompozit malzemelerinin iyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon zırhlama özelliklerinin incelendiği bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler

3.1.1. Kullanılan malzemeler

Matris fazı olarak Polipol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester reçinesi kullanılmıştır. Reçine, Yücel Kompozit'den temin edilmiştir.

Takviye faz olarak %99 saflıktaki volfram metali, volfram (VI) oksit, volfram borve volfram karbür kullanılmıştır. Kullanılan takviye malzemeler Merck firmasından temin edilmiştir.

Yapılan çalışmalardahızlandırıcı olarak kobalt oktoat, çapraz bağlayıcıolarak da metil etil keton peroksit (MEK-P) kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler Merck firmasından temin edilmiştir.

Çalışmalarda safsızlıkların minimuma indirilmesi amacıyla Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Kimya Bölümünde üretilen saf su kullanılmıştır.

3.1.2. Kullanılan cihazlar

Gama Spektrometresi: Üretilen kompozit malzemelerin İyonlaştırıcı Elektromanyetik Radyasyon Zayıflatma Değerlerinin (İEMR) deneysel tayinleri MSKÜ Fen Fakültesi Kimya Bölümü Radyoaktivite Ölçüm ve Analizleri Laboratuvarında bulunan 110cc HPGe dedektör kristal hacimli Gama Spektrometresi (ORTEC) kullanılarak yapılmıştır.

FTIR: Kompozitlerin yapısal karakterizasyonu çalışmaları kapsamında takviye malzemeleri ile kompozit esası arasında kimyasal bir etkileşimin gerçekleşip gerçekleşmediğinin incelenmesi amacıyla kompozit yapısındaki fonksiyonel grup değişimleri, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Kimya Bölümü altyapısında bulunan Thermo Scientific-Niceolet-1510 FTIR cihazı ile izlenmiştir.

Taramalı Elektron Mikroskobu, SEM: Üretilen kompozitlerin yapısal karakterizasyonunu Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Araştırma Laboratuvarları Merkezi, Malzeme Araştırma Laboratuvarı bünyesinde bulunan JEOL marka JSM 7600F model SEM cihazı kullanılarak yapılmıştır.

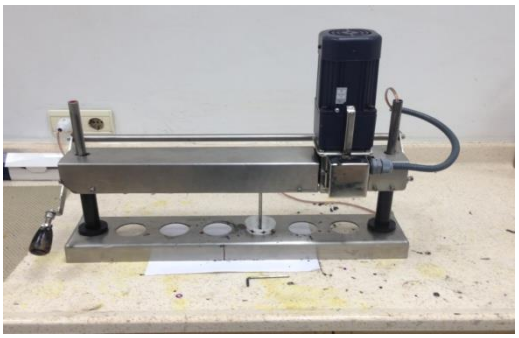
Elementel Yapı Analizi, EDS: SEM cihazında bulunan EDS ve EDS haritalamaanalizi, üretilen kompozit malzemeler üzerindeki ilgilenilen küçük bir alanda elementel bileşimi tanımlamak ve bu elementlerin X-ışınları haritasını görüntülemek amacıyla Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Araştırma Laboratuvarları Merkezi, Malzeme Araştırma Laboratuvarı bünyesinde bulunan JEOL marka JSM 7600F model SEM cihazı kullanılmıştır.

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri, DSC: Isıl karakterizasyon amacıyla DSC analizleri Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Kimya Bölümü altyapısında bulunan (Perkin Elmer-DSC8000) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Böylece kompozitlerin diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri ile örnek ve referans arasındaki ısı akışı farkından yararlanılarak elde edilen termogramlardankompozitlerin olası mikrokristal oluşumları, erime noktası ve camsı geçiş sıcaklığı gibi termal geçişleri incelenmiş ve kompozitlerin sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişimleri takip edilmiştir.

Termogravimetrik Analiz, TGA: Kompozit malzeme ısıl karakterizasyonu için Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Kimya Bölümü'nde bulunan termogravimetrik analiz cihazı (TGA-Perkin Elmer-TGA4000) kullanılmıştır. TGA analizleri sonucunda kompozit kütlelerindeki değişimler sıcaklık ve zamana bağlı olarak kaydedilmiştir.

Bu temel cihazların yanında çalışmalarımızda aşağıdaki cihazlar da kullanılmıştır.

-Mekanik karıştırıcı: Karıştırma hızının kompozit oluşumuna etkisini incelemek amacıyla çalışmalarımızda CHILTERN MS 215 marka mekanik karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Mekanik karıştırıcı

-Hassas Terazi: Çalışmanın tüm aşamalarında tartım işlemleri için RADWAG AS 220/C/2 marka hassas terazi kullanılmıştır.

-Etüv: Yapısal karakterizasyona hazırlanan kalıp içinde bulunan kompozit örneklerindeki olası nemin giderilmesi işlemleri için Nüve FN 500 marka etüv kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kompozit malzemelerin hazırlanması

Çalışmalarımızda viskoz bir sıvı halindeki termoset polimer olan Pol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester reçinesi içerisine farklıderişimlerde (%20, 30, 40, 50, 60) takviye malzemeleri katılmıştır. Takviye malzemesi olarak %99'luk saf volfram metali, volfram (VI) oksit, volfram bor vevolfram karbür kullanılmıştır. Takviye malzemeleri mekanik karıştırıcı yardımı ile termoset polimer içinde homojen olarak dağıtılmıştır. Homojen bir dağılım elde edildiği kanısına varıldıktan sonra hızlandırıcı olarak 300 µl kobalt oktoat, hemen ardından da çapraz bağlayıcı olarak 244,5 µl metil etil keton peroksit (MEK-P) ilave edilmiştir. Mekanik karıştırıcı yardımıyla tekrar homojenlik sağlanana kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir.

Tepkime sırasında kapta hafif bir ısınma olduğundan radikalik polimerizasyon tepkimesinin ekzotermik karakterde olduğu anlaşılmıştır.

3.2.1.1. Optimum parametrelerin oluşturulması

3.2.1.1.1. Kompozit malzeme derişimleri

Takviye malzemesi olarak kullanılan %99'luk saf volfram metali, volfram (VI) oksit, volfram bor vevolfram karbür katkı derişimleri %20, 30, 40, 50 ve 60 olarak belirlenmiştir. Diğer parametreler sabit tutularak farklı yüzde takviye malzemesi derişimlerinde kompozit malzeme örnek kalıpları hazırlanmıştır.

3.2.1.1.2. Kobalt oktoat miktarı

Hızlandırıcı olarak kullanılan kobalt oktoat çözeltisinin optimum miktarının belirlenmesi için 100 µl-500µl'lik derişimler aralığında çalışılmıştır. Diğer parametrelerin sabit tutularak sadece kobalt oktoat miktarının değiştirildiği deneme çalışmaları sonunda 300 µl'lik kobalt oktoat miktarının kompozit karışımı için en uygun değer olduğu bulunmuştur.

3.2.1.1.3. Metil etil keton peroksit (mek-p) miktarı

Çapraz bağlayıcı olarak kullanılan metil etil keton peroksit çözeltisinin optimum miktarının belirlenmesi için 100µl-500µl'lik derişimler aralığında çalışılmıştır. Diğer parametrelerin sabit tutularak sadece metil etil keton peroksit(MEK-P) miktarının değiştirildiği deneme çalışmaları sonucunda 244,5 µl'lik MEK-P miktarının kompozit karışımı için en uygun değer olduğu bulunmuştur.

3.2.1.1.4. Karıştırma süresi

Mekanik karıştırıcıdaki karıştırma süreleri takviye fazı derişimlerine göre farklılık gösterir. Çalışmamızda her % takviye derişimi için optimum karıştırma süreleri diğer parametreler sabit tutularak ayrı ayrı incelenmiş ve her takviye derişimi için optimum karıştırma süreleri bulunmuştur. Bulunan değerler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Karıştırma Süreleri

% Derişimler	RW karıştırma süresi (dk)	RWO_3 karıştırma süresi (dk)	RWB karıştırma süresi (dk)	RWC karıştırma süresi (dk)
20	40	40	35	40
30	35	35	30	35
40	30	25	20	25
50	25	20	15	20
60	18	15	12	15

3.2.1.1.5. Karıştırma hızı

Kompozit malzeme oluşumunda optimum karıştırma hızını bulmak amacıyla yapılan çalışmalarda diğer parametreler sabit tutularak 100 rpm ile 250 rpm aralığında farklı manyetik karıştırıcı karıştırma hızlarında 50 rpm'lik basamaklarla çalışılmıştır. Çalışmalar sonunda kompozit oluşumu için optimum karıştırma hızının 120 rpm (devir/dakika) değerinde olması gerektiği bulunmuştur.

3.2.1.2. Kompozit malzemelerin kalıplaştırılması

Homojen olarak hazırlanan kompozit malzemeler jelleşme başlamasının hemen ardından 21 mm çap ve 5,0 mm etkalınlığına sahip paslanmaz çelik kalıplara dökülmüştür. Kompozit malzemelerin hazırlanmasında kullanılan kalıplar Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Kalıplara dökülen kompozit malzeme, reçinenin çapraz bağ oluşumu ile katı faza geçişin tamamlanması için önce açık havada 24 saat, daha sonra etüvde 80^oC'de 6 saat bekletilmiştir (kürleme işlemi). Böylece çapraz bağlanma tamamlanmış olup kompozit malzemeler istenilen kalıplar haline dökülerek, karakterizasyon testleri yapılmaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.2. Kompozit kalıpları

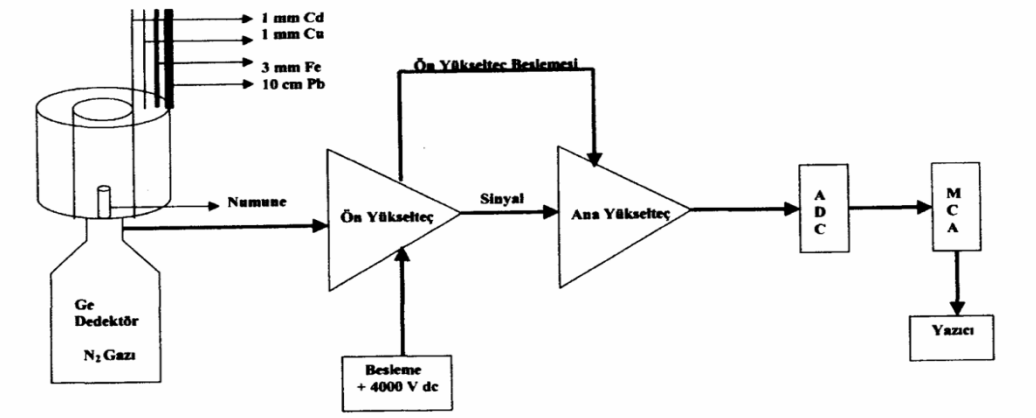
3.2.2. Kompozit malzemelerin homojenlik testleri

Üretilen kompozit malzemelerin hazırlanmasında ilk şart homojenliğin sağlanmış olmasıdır. İEMR zayıflatma performanslarının incelenebilmesi için öncelikle homojen bir yapının oluşturulmuş olması gerekir. Çalışmamızda, üretilen kompozit malzemelerin homojenliğinin kontrolü için aynı yüzde derişimlerinde dörder adet kompozit malzeme üretilmiştir. Paralel olarak üretilen kompozit malzemelerin İEMR zayıflatma performansları ölçülmüştür. Enerjiye bağlı olarak hesaplanan yüzde zayıflatma değerleri birbirlerine karşı grafiğe geçirilerek elde edilen doğruların r^2 değerleri bulunmuştur. r^2 değerleri, malzemelerin homojenliğinin göstergesi olarak kabul edilmiştir. Bulunan r^2 değerleri Bölüm 4. Bulgular ve Değerlendirme bölümünde grafik olarak gösterilmiştir.

3.2.3. Kompozit malzemelerin İEMR % zayıflatma değerlerinin deneysel tayini

İEMR % zayıflatma değerlerinin deneysel tayini gama spektrometresi yardımıyla bulunmuştur. Gama spektrometresinin çalışma esası Bölüm 2.1.5'de verilmişti. Ölçümlerde 60, 88, 122, 166, 392, 662, 1173, 1333, 1836 keV foton enerjilifarklı izotoplar içeren karışık nokta kaynak (mixed point source) kullanılmıştır. Foton ışımalarının yüksek saflıktaki germanyum (HPGe) dedektöründe oluşturduğu pulslar Şekil 3.3'de gösterilen elektronik düzenek yardımıyla kaydedilmiştir. Kaydedilen puls değerleri çok kanallı analizör (MCA) yardımıyla sayısal değerlere dönüştürülmüş ve gama spektrumları elde edilmiştir.

Bütün kompozit malzemeler için gama spektrometresindeki veri toplama süresi 3000 saniye olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Gama spektrometresi çalışma esası

Polipol 381'in %99'luk saf volfram metali, volfram (VI) oksit, volfram bor ve volfram karbür ile oluşturduğu kompozit malzemelerin gama spektrometrik analizleri sonucunda elde edilen veriler sırasıyla Çizelge3.2-5'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Polipol 381 + %99'luk saf W metal kompoziti için gama spektrumu pik alanı değerleri

Enerji (keV)	60	88	122	166	392	662	1173	1333	1836
RW20.1	28562	6112	6401	2060	1516	33849	22546	20345	1335
RW20.2	29440	6234	6307	2014	1471	33743	22490	20430	1350
RW30.1	23805	4995	5499	1897	1740	33728	21979	20270	1320
RW30.2	24887	4971	5140	1877	1690	33106	22015	20301	1312
RW40.1	14606	1944	3918	1734	1631	31726	21709	19966	1182
RW40.2	13735	1812	3719	1730	1709	31217	21666	20011	1165
RW50.1	9608	1,00	2420	1105	1340	31724	21500	20120	1258
RW50.2	9393	1,00	2526	1091	1235	31611	21490	20131	1240
RW60.1	3599	1,00	1363	898	1335	30210	21105	19560	910
RW60.2	3858	1,00	1476	915	1430	30369	20979	19656	943

Çizelge 3.3. Polipol 381 + WO_3 metal kompoziti için gama spektrumu pik alanı değerleri

Enerji (keV)	60	88	122	166	392	662	1173	1333	1836
$RWO_3$20.1	22942	4431	4231	1174	1687	31790	21657	20205	1164
$RWO_3$20.2	22980	4454	4201	1200	1712	31910	21712	20311	1189
$RWO_3$30.1	22600	4143	3984	1089	1578	31576	21123	20034	1123
$RWO_3$30.2	22547	4158	3953	1058	1563	31501	21213	20065	1143
$RWO_3$40.1	17630	2865	3121	999	1321	31212	20867	19875	1165
$RWO_3$40.2	17611	2879	3152	976	1342	31201	20786	19678	1176
$RWO_3$50.1	12139	1922	2862	950	1119	30205	20345	19436	1056
$RWO_3$50.2	12187	1954	2850	912	1138	30201	20411	19427	1067
$RWO_3$60.1	7111	1,00	1709	798	987	29876	20123	19031	978
$RWO_3$60.2	7128	1,00	1759	781	1003	29787	20012	19088	965

Çizelge 3.4. Polipol 381 + WB metal kompoziti için gama spektrumu pik alanı değerleri

Enerji (keV)	60	88	122	166	392	662	1173	1333	1836
RWB20.1	22786	5123	4987	1399	1243	31912	22812	19432	1123
RWB20.2	22645	5312	4917	1369	1267	31932	22914	19324	1114
RWB30.1	21853	4014	4754	1256	1197	31437	22456	19154	1032
RWB30.2	21643	3872	4711	1278	1185	31487	22561	19132	1065
RWB40.1	15678	1,00	3561	1178	1137	31211	22123	18789	998
RWB40.2	15896	1,00	3417	1145	1145	31264	22231	18765	984
RWB50.1	11543	1,00	2209	1105	1096	30764	21981	18432	932
RWB50.2	11765	1,00	2234	1154	1078	30567	21942	18478	921
RWB60.1	4505	1,00	1309	984	834	29852	21432	18234	901
RWB60.2	4786	1,00	1297	977	856	29827	21321	18276	899

Çizelge 3.5. Polipol 381 + WC metal kompoziti için gama spektrumu pik alanı değerleri

Enerji (keV)	60	88	122	166	392	662	1173	1333	1836
RWC20.1	22731	5212	5231	1512	1032	32123	23231	20118	1198
RWC20.2	22721	5190	5256	1532	1021	32165	23166	20234	1178
RWC30.1	21043	4697	4356	1421	1002	32078	23105	20032	1156
RWC30.2	21189	4525	4543	1476	987	32045	23117	20045	1132
RWC40.1	16089	1456	3585	1367	954	31765	22975	19768	1076
RWC40.2	15804	1405	3682	1389	935	31578	22768	19578	1056
RWC50.1	8790	1,00	2469	1023	910	31215	22543	19321	1021
RWC50.2	8932	1,00	2337	998	901	31243	22345	19243	1031
RWC60.1	4592	1,00	543	582	865	31023	22156	18463	967
RWC60.2	4228	1,00	672	695	832	30983	22187	18673	988

Bu verilerden hesaplanan İEMR yüzde % zayıflatma değerleri Bölüm 4. Bulgular ve Değerlendirme bölümünde tablo ve grafik olarak gösterilmiştir.

3.2.3.1. Kompozit malzemelerin İEMR doğrusal zayıflatma katsayısı değerleri

Doğrusal zayıflatma katsayısı değerleri Lambert Beer yasası olarak bilinen ifadeden yararlanarak elde edilmiştir. Bölüm 2.2.2'de anlatıldığı gibi Eşitlik 2.9'a göre malzemenin toplam doğrusal zayıflatma katsayıları gama spektrumlarından bulunan $\ln(I/I_0)$ değerlerinin malzeme kalınlığına (x) karşı grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğruların eğiminden hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucu bulunan doğrusal zayıflatma katsayı değerleri de Bölüm 4. Bulgular ve Değerlendirme bölümünde tablo ve grafik olarak gösterilmiştir.

3.2.3.2. Kompozit malzemelerin İEMR kütlesel zayıflatma katsayısı değerleri

Kütlesel zayıflatma katsayısı değerleri, üretilen kompozit malzemelerin yoğunluklarının Arşimet yöntemiyle deneysel olarak bulunmasından sonra Bölüm 3.2.3.1'de anlatıldığı şekilde bulunan doğrusal zayıflatma katsayısı değerleri de kullanılarak Bölüm 2.2.2'deki Eşitlik 2.10'a göre hesaplanmıştır.

Deneysel olarak elde edilen kütlesel zayıflatma katsayısı değerleri Bölüm 4. Bulgular ve Değerlendirme bölümünde tablo ve grafik olarak gösterilmiştir.

3.2.3.3. Kompozit malzemelerin İEMR teorik kütlesel zayıflatma değerleri

Teorik kütlesel zayıflatma katsayı değerleri XCOM: Photon Cross Sections Database (Foton Kesitler Veritabanı) adlı bilgisayar programı kullanılarak bulunmuştur (NIST, 2016). XCOM, foton enerjisi 1 keV'den 100 GeV'e kadar olan herhangi bir element ve/veya bu elementlerin oluşturduğu bileşik veya karışımın kütlesel soğurma katsayılarını hesaplayarak, fotonla maddenin bütün etkileşmelerini de göz önüne alarak toplam kütlesel zayıflatma katsayılarını teorik olarak veren bir programdır. Ancak XCOM programı sadece malzemenin nitel ve nicel % bileşimini dikkate aldığından, malzemelerin kristal yapısını öngöremediğinden karmaşık kompozit yapılar için deneysel sonuçlarla uyuşmazlık olabilmektedir.

3.2.4. Kompozit malzemelerin karakterizasyonu

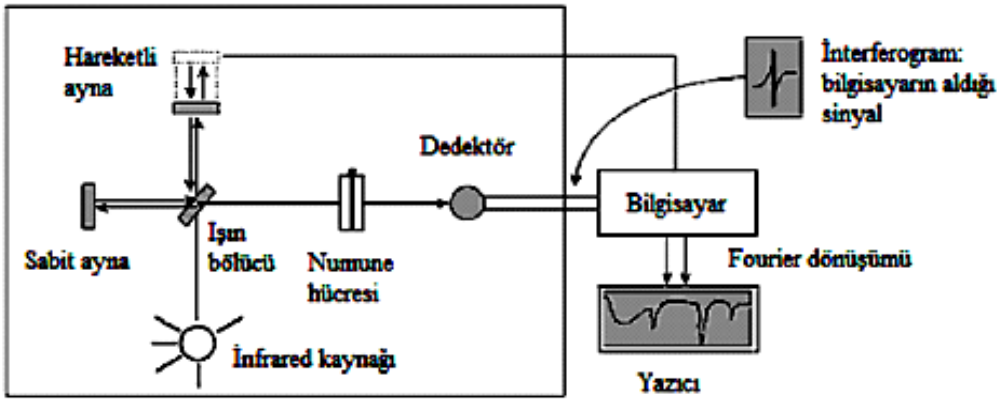
3.2.4.1. Yapısal karakterizasyon

Hazırlanan kompozit malzemelerin yapısal karakterizasyonu FTIR, SEM ve EDS analizleri yardımıyla incelenmiştir.

3.2.4.1.1. FTIR karakterizasyonu

FTIR Spektrometresi: İnfrared ışınlarının soğrulmasını esas alan bir sistem olup genel hatlarıyla Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

IR ışınlarını tüm dalga boylarında yayan ışık kaynağından gelen ışık iki demete ayrılarak, referans (örnekte kullanılan çözücüyü içerir veya saf örnek ise hiçbir şey içermez) ve örnek hücrelerinden geçtikten sonra, optik birağ yardımı ile kırınıma uğratılarak farklı dalga boylarına ayrılır. Dedektör bu iki ışık demetinin her bir dalga boyundaki şiddetleri arasındaki farkı ölçer ve bu bilgiyi spektrumu oluşturan alıcıya, daha sonra da kaydediciye iletir.



Şekil 3.4. İnfrared spektrofotometresi (Özkan, 2011).

Modern infrared düzenekleri spektrum elde etmek için hızlı bir Fourier analizi uygular ve Fourier transform infrared (FTIR) spektrometreleri olarak bilinir. Burada infrared ışınımı iki demete ayrılır. Bir demet durağan kalırken, diğeri hareketli bir demet oluşturmak üzere hareketli bir aynaya yönelir. Daha sonra bu iki demet değişken bir demet elde etmek üzere birleşirler. Belirli bir dalga boyunda, değişken demette ya daha çok ışık enerjisi (yapıcı girişim) ya da daha az ışık enerjisi (yıkıcı girişim) meydana gelir. Değişken demet örnekten geçirilir, sayısal hale getirilir ve bilgisayarda infrared spektrum'afourier-dönüşümlü hale getirilir (Fessenden, 2011).

FTIR spektroskopisi ile moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak; katı, sıvı, gaz veya çözelti halindeki organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri ve yapının aromatik ya da alifatik olup olmadığı belirlenebilir. Çalışmamızda FTIR-ATR analizi yapılmıştır. FTIR-ATR (Attenuated Total Relectance); soğurma bantlarının dalga boyunda azalma meydana getirilerek daha az emekle ve örnek kalınlığından bağımsız olarak soğurganlığı çok fazla olabilen farklı maddelerin spektrum analizlerine olanak sağlar. ATR tekniğinin temelinde ışının örnek tarafında soğurulup yansıtılması (geçirgenlik metodu) yerine ışının örnekten saçılımı ölçülür. ATR tekniği polimer, köpük, tekstil, boya, sır gibi kaplama maddelerinin analizlerinde oldukça etkindir.

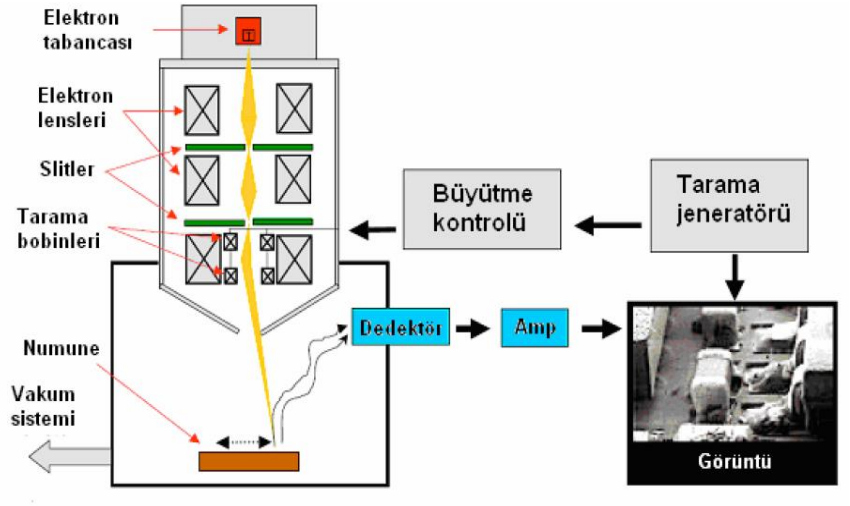
Kompozitlerin yapısal karakterizasyonu çalışmaları kapsamında takviye malzemeleri ile kompozit esası arasında kimyasal bir etkileşimin gerçekleşip gerçekleşmediğinin incelenmesiMuğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Kimya Bölümü altyapısında bulunan FTIR-ATR cihazı kullanılarak yapılmıştır. FTIR spektrumları, Bölüm 4. Bulgular ve Değerlendirme bölümünde verilmiştir.

3.2.4.1.2. SEM karakterizasyonu

SEM, çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektron demetiyle katı bir yüzeyin taranması esasına dayanır. Elektronların malzemeyle etkileşmesine bağlı olarak yüzeyde yayılan ikincil elektronlar yardımıyla farklı sinyaller üretilmesine dayanan bir tekniktir. Yüksek enerjili elektronlar yüzeye nüfuz ettiğinde örnek atomlarının dış yörünge elektronları ile elastik olmayan girişimi sonucunda düşük enerjili Auger elektronları oluşur. Bu elektronlar örnek yüzeyi hakkında bilgi taşır ve yüzeyden fotonların veya elektronların yayılmasıyla sonuçlanabilecek etkileşimler oluşur. Elektron kaynağı, örnek yüzeyi üzerine kafeslenmiş ince ucun içine odaklanmıştır. Yayılan elektronların makul kırınımları uygun dedektörler tarafından toplanır ve monitörde bir görüntü oluşturulur. Yine yörünge elektronları ile olan girişimler sonucunda yörüngelerinden atılan veya enerjisi azalan demet elektronları örnek yüzeyine doğru hareket ederek yüzeyde toplanırlar. Bu elektronlar ikincil elektron (seconder electrons) olarak tanımlanır. İkincil elektronlar örnek odasında bulunan sintilatörde toplanarak ikincil elektron görüntü sinyallerine çevrilir. İkincil elektronlar örnek yüzeyinin 10 nm veya daha düşük derinlikten geldiği için örneğin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsünün elde edilmesinde kullanılır. Elektron-örnek etkileşimi sonucu türetilen sinyaller malzeme yüzeyi morfolojisiyle (texture) ilişkili bir görüntü oluşturur. Bunun yanı sıra örnek üzerinde seçilen nokta bir bölgenin nitel ve yarı-nicel olarak kimyasal bileşimi (EDS kullanılarak), kristal yapısı ve kristal yönlendirmeleri (EBSD kullanılarak) hakkında bilgi edinilebilir (Egerton, 2005).

Elektron demetlerinin örnekle girdiği her etkileşimekrandaki ilişkili noktalarda doğrudan gözlenir. Genellikle örnek üzerinde seçilen bir bölümde 1cm-5mikron aralığındaki bir genişlik için 2 boyutlu görüntü elde edilir.

Alışılmış SEM tekniğinde 20X-300000X aralığında, 50-100 nm ayırma gücünde büyütme yapılabilir. SEM cihazı akım şeması Şekil 3.5'de verilmiştir.



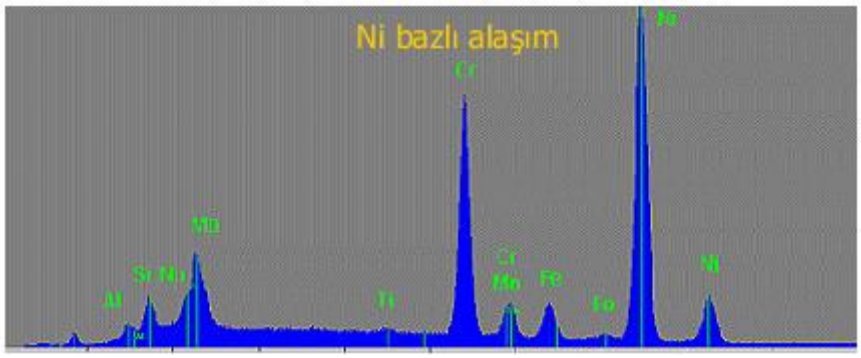
Şekil 3.5. SEM cihazının işlem şeması (Egerton, 2005).

Çalışmamızda üretilen kompozitlerin yapısal karakterizasyonun gerçekleştirilmesi Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Araştırma Laboratuarı Merkezinde bulunan SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) cihazı kullanılmıştır. SEM analizine hazırlık aşamasında kompozit malzemelerdeki pürüzlü yüzeyler sonikasyon cihazında yaklaşık 30 dakikalık sonikasyon işlemi sonucunda düzeltilmiş ve bu aşamadan sonra SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. SEM görüntüleri alınacak olan kompozit malzemelerin seçimi aşamasında, İEMR % zayıflatma değerleri dikkate alınmışve radyasyon zayıflatma özelliği en yüksek olan altı kompozit malzeme seçilmiştir. RW60, $RWO_3$60, RWB40, RWB50, RWB60 ve RWC50 kodlu kompozit malzemeler seçilmiştir. Değerlendirmeler Bölüm 4. Bulgular ve Değerlendirme bölümünde verilmiştir.

3.2.4.1.3. EDS karakterizasyonu

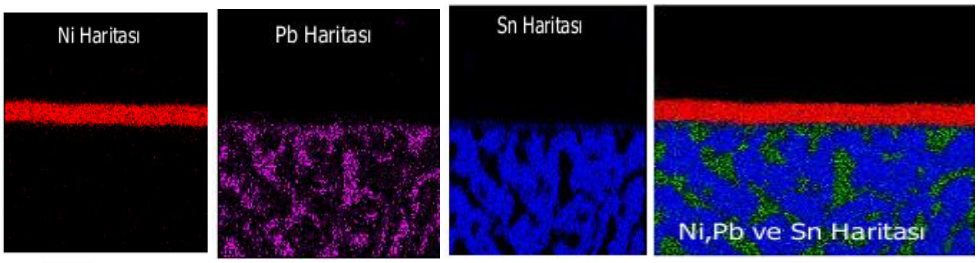
EDS analizleri taramalı elektron mikroskobuna bağlı EDS sistemi ile yapılmaktadır.

EDS analizi için malzeme iletken olmak zorundadır. Örneğin iletken olmaması durumunda, iletken bir malzemeyle kaplanması gerekir ki bu durum elemental analizi karmaşık hale getirir. Örnek yüzeylerini kaplama altın veya karbon ile yapılabilmektedir. EDS analizinde; örnek yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarptığında bu çarpışmalardan dolayı, örnek yüzeyinden bazı elektronlar kopar. Elektronlar içteki (çekirdeğe yakın) orbitallerden koparılmışlarsa atomlar kararlıklarını kaybederler. Tekrar kararlı hale gelebilmek için dış orbitallerdeki elektronlar iç orbitallerdeki boşlukları doldurur. Dış orbitallerdeki elektronların enerjileri iç orbitallerdeki elektronların enerjilerinden daha yüksek olduğu için, dış orbital elektronları iç orbitalleri doldururken belli bir miktar enerji kaybederler. Kaybedilen bu enerji X-ışını şeklinde açığa çıkar. Çıkan X-ışınlarının enerjisi ve dalgaboyu etkileşime girilen atom orbitallerinin karakteristik bir özelliğidir. Örnekten çıkan X-ışınları yarıiletken detektör tarafından algılanır. İletkenlik bandına geçen elektronlar, elektrik sinyaline dönüştürülür. Dalga boylarındanörnek içindeki elementlerin nitel analizi, elementlere ait piklerin altındaki alanlardan da nicel analizleri yapılır (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Elementlerin piklerinin gösterimi

EDS haritalamada sadece, ilgi duyulan elementin sahip olduğu piklerin temsil ettiği X-ışınlarının seçilmesi ve sadece X-ışınlarının EDX detektöründe sayılmasıyla, örnek yüzeyindeki her bir nokta için o elementin göreceli oranı tespit edilebilir. Bu sayımların iki boyutlu dağılımı gösterimi (haritası) o elementin X-ışınları haritasını verir. Şekil 3.7'de EDS haritalama örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7. EDS haritalama

3.2.4.2. Isıl karakterizasyonu

Kompozit malzemelerin ısıl karakterizasyonu için Termogravimetrik analiz (TGA) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetri analiz (DSC) cihazları kullanılmıştır.

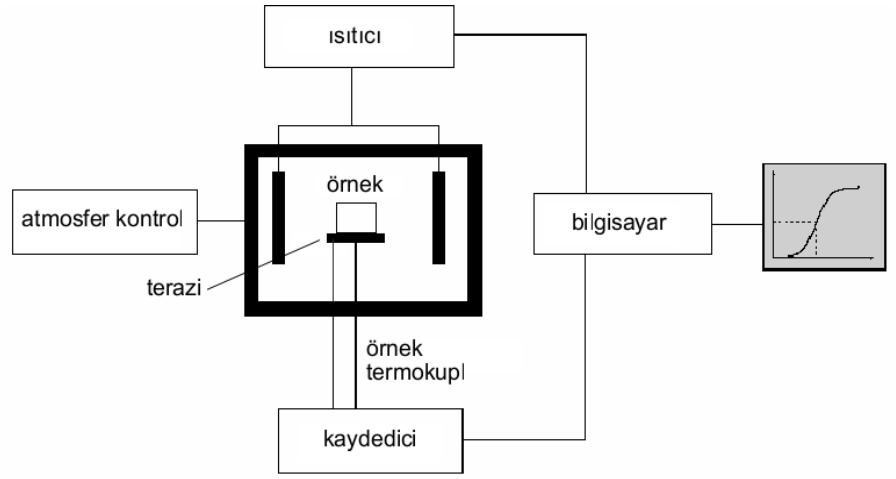
3.2.4.2.1. TGA karakterizasyonu

Termogravimetrik analiz (TGA) genel olarak sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak malzemelerde meydana gelen kütle kaybı ve/veya kazanımların değişiminin ölçülmesine dayanır. Deney örneği, sabit ısıtma hızında ısıtılır ve kütle değişimi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülüp kaydedilir. Termogravimetrik analizde, örnek sıcaklığı çevre koşullarından başlayarak 1200°C'ye ulaşan sıcaklıklara kadar ısıtılırken kütlesi (ağırlığı) sürekli olarak izlenir. Alternatif olarak uygun bir sabit sıcaklıkta, belli bir zaman aralığında örneğin kütle değişimi zamanın fonksiyonu olarakölçülüp kaydedilir. Genel olarak, deney örneği kütlesinin değişmesine neden olan tepkimeler; bozunma veya yükseltgenme tepkimeleri veya bir bileşenin buharlaşmasıdır.

Kütlenin zamana veya sıcaklığa karşı çizilen grafiğine "termogram, TGA eğrileri" denir ve nitel/nicel tayinlerde kullanılır. Sıcaklığın fonksiyonu olarak malzemenin kütlesindeki değişim ve bu değişimin yayıldığı aralık malzemenin termal kararlılığının göstergesidir. TGA eğrilerinin birinci türevi zaman ya da sıcaklığa bağlı olarak da kullanılabilir. Bu değerler de kütle değişimini gösterir. Bu eğrilere DTG eğrileri adı verilir. Kütle değişikliği örneğin birkaç farklı yoldan malzeme kaybıyla ya da onu saran ortamla tepkimeye girmesiyle oluşur. Bu oluşumda TGA eğrilerinde bir adım şeklinde ya da DTG eğrilerinde bir doruk noktası şeklinde kendini gösterir.

Termogravimetrik analiz cihazında, hassas bir analitik terazi, fırın, fırın sıcaklığı kontrol edici ve programlayıcı ile kaydedici bulunur. Kaydedici, örnek kütlesinin sıcaklığa karşı grafiğini çizer. TGA deneylerinde atmosfer reaktif, inert ya da oksit olabilir. Böyle durumlarda bunu sağlayacak yardımcı sistemlere de gereksinim olur. TGA ile bir örneğin saflığı, bozunma davranışı ve kimyasal kinetiği incelenir.

Termogravimetrik yöntemlerin en önemli uygulamaları polimerlerdir. Çeşitli polimerik maddelerin bozunma mekanizmaları termogramlardan alınan bilgilerle açıklanabilir. Ayrıca her tip polimer için karakteristik olan bozunma davranışlarından polimerlerin teşhisinde yararlanılır. TGA verileri, aynı deney şartları altında elde edilen ölçümler kullanılmak kaydıyla, aynı monomerden elde edilmiş polimerler ailesinin bağıl termal kararlılıklarının değerlendirilmesinde ve polimer-polimer veya polimer-katkı maddesi etkileşimlerinin irdelenmesinde de kullanılabilir. Şekil 3.8’de TGA sisteminin şematik gösterimi verilmiştir (Skoog ve West, 1981).



Şekil 3.8. Termogravimetrik analiz sisteminin şematik diyagramı

Kompozit malzemelerin ısıl karakterizasyonu için kullanılan termal gravimetrik (TGA) analizleri için örnek hazırlamada; analiz edilecek örnek malzeme kütlesinin test için gerekli yeterlilikte olmasına, malzemenin tüm özelliklerini taşımasına ve örnek hazırlama aşamasında kirlenme oluşmamasına dikkat edilmiştir. Çalışmamızda TGA analizleri 30-700°C sıcaklık aralığı için 10°C/dk sıcaklık artışı ile azot ortamında gerçekleştirilmiştir. Kompozitmalzeme kütlelerindeki değişimler sıcaklık ve zamana bağlı olarak kaydedilmiştir. Elde edilen termogramlar sayesinde kompozitlerin termal kararlılığı ve bileşimi, termal bozunma esnasında oluşabilecek herhangi bir ara maddenin termal kararlılığı, kalıntı bileşimi ve kompozit geçiş sıcaklıkları hakkında bilgi edinilmiştir. Termogramlar ve değerlendirmeler Bölüm 4. Bulgular ve Değerlendirme bölümünde verilmiştir.

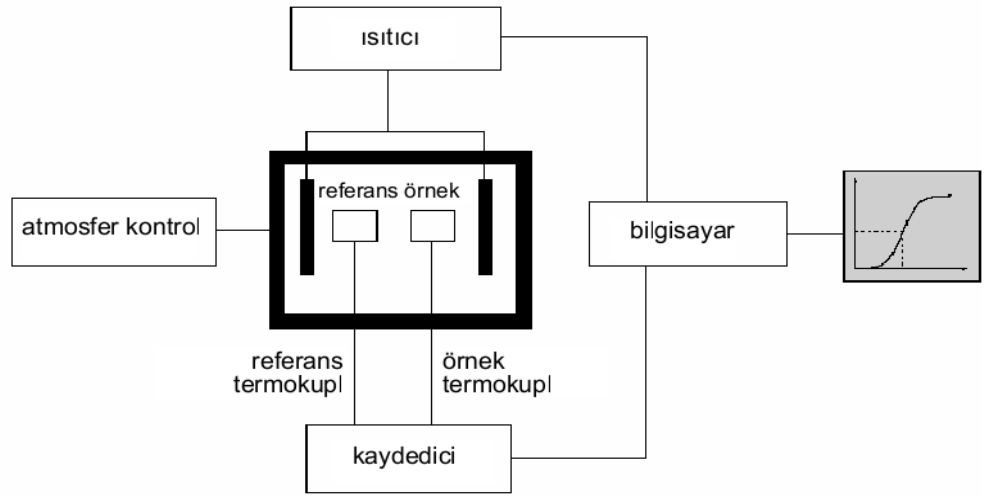
3.2.4.2.2. DSC karakterizasyonu

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihazı (DSC), örnek ısıtılırken, soğutulurken veya sabit bir sıcaklıkta tutulurken soğurulan veya salıverilen enerji miktarını ölçer. DSC cihazında örnek ve referansın sıcaklıkları düzenli bir hızla artırılır ancak her ikisinin sıcaklığının ayni olması için örnek veya referansa dışardan gereken miktarda ısı ilavesi yapılır. İlave edilen ısı (kaydedilir), örnekte oluşan endotermik veya ekzotermik tepkimeler sonucu kaybedilen veya kazanılan ısıyı karşılar.

Bu teknikte, referans ile örnekten gelen veya uzaklaşan ısı farkı sıcaklığa veya zamana bağlı olarak gösterilir.

DSC sisteminde, örnek sıcaklığı ile referans sıcaklığı aynı tutulduğunda örnek ile referans arasında bir sıcaklık farkı saptanırsa, sıcaklığı aynı tutmak için örneğe verilen ısı miktarı değiştirilir. Bu yolla örnekteki faz değişimi sırasındaki ısı transferi miktarı saptanmış olur. DSC sistemlerinde ısıtıcılar örnek ve referans kaplarının çok yakınına yerleştirilmiştir. Termokaplar bir sıcaklık farkı algıladığında, örnek ve referansdan soğuk olanın sıcaklığı diğeri ile ayni seviyeye gelecek miktarda ısı aktarılır. Isıtma hızı örnek sıcaklığının fonksiyonu olarak kaydedilir. Bu şekilde bir örnekten referansa (veya referanstan örneğe) olan ısı akışındaki fark, sıcaklık veya zamanın fonksiyonu olarak izlenir.

İşlemlerde örneğe kontrollü sıcaklık programı uygulanır. DSC analizi; parçanın ısıtılması, soğutulması ve eş-sıcaklıkta tutulmasıyla oluşan enerji farklılıklarındaki değişimleri analiz eder. Enerji farklılıklarıyla, örnekte nicel olarak gözlenen hal değişimi, hal değişiminin oluştuğu noktalarda değişim sürecine bağlı olarak malzeme karakterizasyonunu ve bunlar gibi çok sayıda karmaşık durumları ölçme ve analiz etme olanağı sağlar. DSC sistemlerinin ortam sıcaklığı başlangıçta 30°C civarındadır. Şekil 3.9'da DSC ısı akışlı sistem şematik olarak gösterilmiştir (Skoog ve West, 1981).



Şekil 3.9. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) ısı akışlı sistemin şematik diyagramı

Diferansiyel termal yöntemler gıda, seramik, camve polimerik maddelerin tanımlanmasında çok geniş bir uygulama alanı bulur. Bir polimerin ısıtılması süresince karşılaştığı çeşitli değişiklikler (geçişler) DSCtermogramı ile izlenebilir. Çalışmamızda DSC analizleri ile örnek ve referans arasındaki ısı akışı farkından yararlanılarak elde edilen termogramlardankompozitlerin olası mikrokristal oluşumları, erime noktası ve camsı geçiş sıcaklığı gibi termal geçişleri incelenmiş ve kompozitlerin sıcaklığa bağlı ısı kapasitesi değişimleri takip edilmiştir. DSC analizleri 30-400°C sıcaklık aralığı için 10°C/dk sıcaklık artışı ile başta ve sonda beşer dakikalık izotermal süreçler bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Spektrum ve değerlendirmeler Bölüm 4. Bulgular ve Değerlendirme bölümünde verilmiştir.

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Optimum Parametreler

Çalışmalarımızda 3. Malzeme ve Yöntem kısmında deneysel olarak bulunan ve Çizelge 4.1'de gösterilen optimum parametreler kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. RW, RWO_3, RWB ve RWC için bulunan ve çalışılan optimum parametreler

Kompozit % bileşimi	Karıştırma süresi (dk)	Kobalt Oktoat miktarı (µl)	Metil Etil Keton Peroksit (MEK-P) miktarı (µl)	Karıştırma hızı (rpm)
Pol 381+%99'luk saf W metal				
20	40	300	244.5	120
30	35	300	244.5	120
40	30	300	244.5	120
50	25	300	244.5	120
60	18	300	244.5	120
Pol 381+WO_3				
20	40	300	244.5	120
30	35	300	244.5	120
40	25	300	244.4	120
50	20	300	244.5	120
60	15	300	244.5	120
Pol 381+WB				
20	35	300	244.5	120
30	30	300	244.5	120
40	20	300	244.5	120
50	15	300	244.5	120
60	12	300	244.5	120
Pol 381+WC				
20	30	300	244.5	120
30	25	300	244.5	120
40	20	300	244.5	120
50	15	300	244.5	120
60	10	300	244.5	120

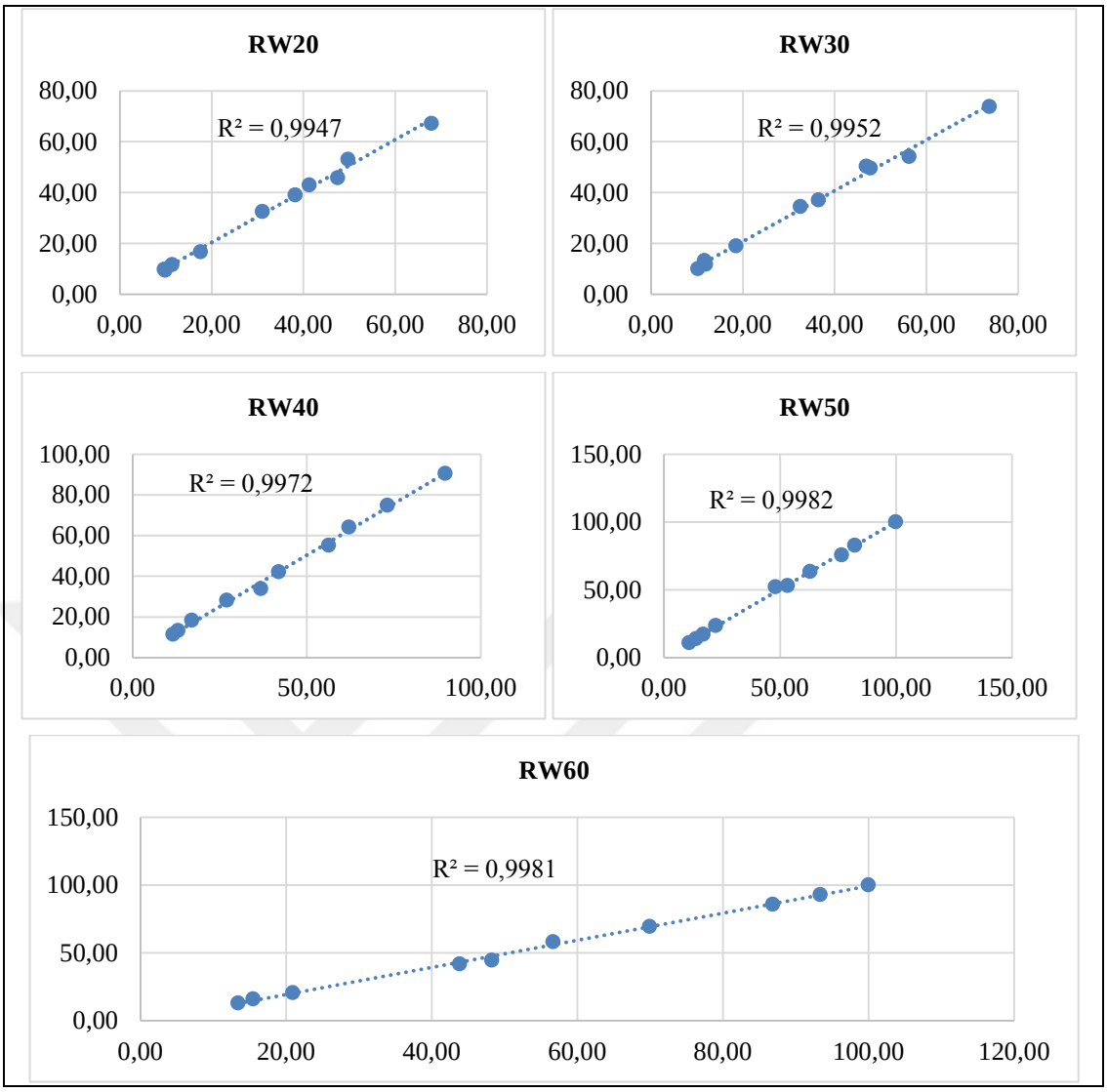
4.2. Kompozit Malzemelerin Homojenliği

Homojenlik Testi: Aynı yüzde derişimde üretilen örneklerin homojen olup olmadığının anlaşılması için örneklerin r^2 değerlerine bakıldı. Çalışma sonuçlarımızda r^2 değerlerinin 1,000 veya 1,000'e yakın olmasının örneklerin homojenliğinin yüksek olduğunu göstereceği düşünülmüştür.

Yapılan çalışmada, üretilen kompozit malzemelerin homojenliğinin kontrolü için aynı yüzde derişimlerde dörder adet kompozit malzeme paralel olarak üretilmiş, her bir paralel gruptan beşer kalıp hazırlanmış ve bu malzemelerin İEMR % zayıflatma performansları ölçülmüştür. Enerjiye bağlı olarak hesaplanan yüzde % zayıflatma değerleri birbirlerine karşı grafiğe geçirilerek elde edilen doğruların r^2 değerleri bulunmuştur.

Şekil 4.1'de Polipol 381 esasına %20, 30, 40, 50, 60 oranlarındakatılan %99'luk saf volfram metal takviyeli kompozit malzeme için r^2 değerleri görülmektedir. r^2 değerlerinin 0,9947-0,9982 aralığında olması üretilen kompozit malzemelerin homojenliğinin oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Ortalama r^2 değeri 0,9967 olarak bulunmuştur. Bulunan r^2 değerlerinden RW50 ve RW60 kodlu örneklere ait r^2 değerlerinin 1,000 değerine diğer numunelerden daha yakın olduğu görülmektedir. Bu iki örneğin homojenliği diğer örneklere göre daha iyidir.

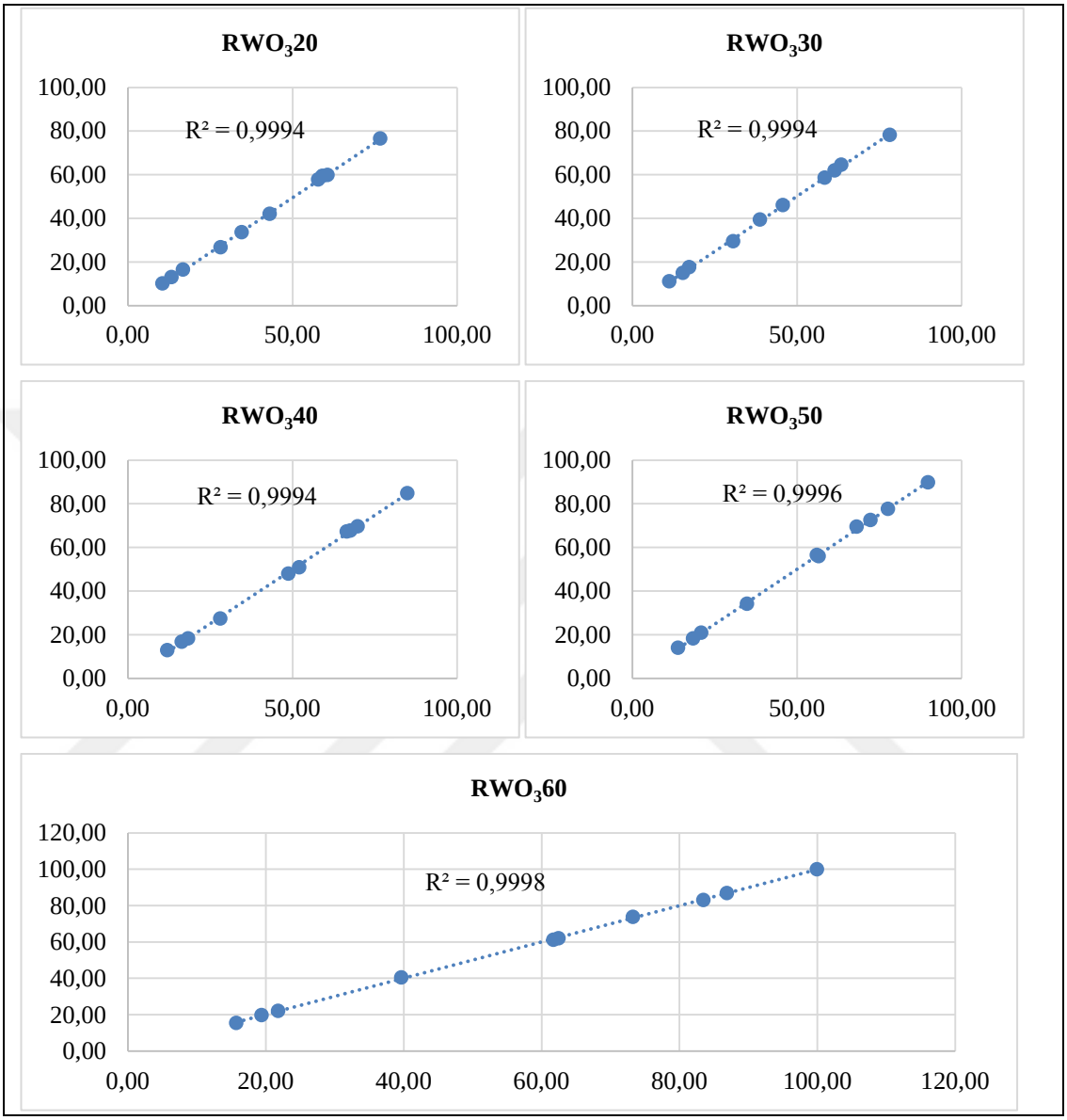
Hesaplanan r^2 değerlerine bakıldığında aynı derişimlerde üretilen bütün kompozit malzemelerin homojenliğinin sağlandığı görülmektedir.



Şekil 4.1. Farklı (%20, 30, 40, 50, 60) derişimler de hazırlanan Polipol 381+%99'luk saf W metal kompoziti için r^2 değerleri

Şekil 4.2'de Polipol 381 esasına %20, 30, 40, 50, 60 oranlarında katılan WO_3 metal oksit takviyeli kompozit malzeme için r^2 değerleri görülmektedir. r^2 değerlerinin 0,9994-0,9998 aralığında olması üretilen kompozit malzemelerin homojenliğinin oldukça iyi olduğu sonucunu göstermektedir. Ortalama r^2 değeri 0,9995 olarak bulunmuştur. Bulunan değerlerden RWO_360 kodlu örneğe ait r^2 değerinin 1,000 değerine diğer numunelerden daha yakın olduğu görülmektedir. Bu örneğin homojenliği diğer malzemelere göre daha yüksektir.

Hesaplanan r^2 değerlerine bakıldığında aynı derişimlerde üretilen bütün kompozit malzemelerin homojenliğinin sağlandığı görülmektedir.

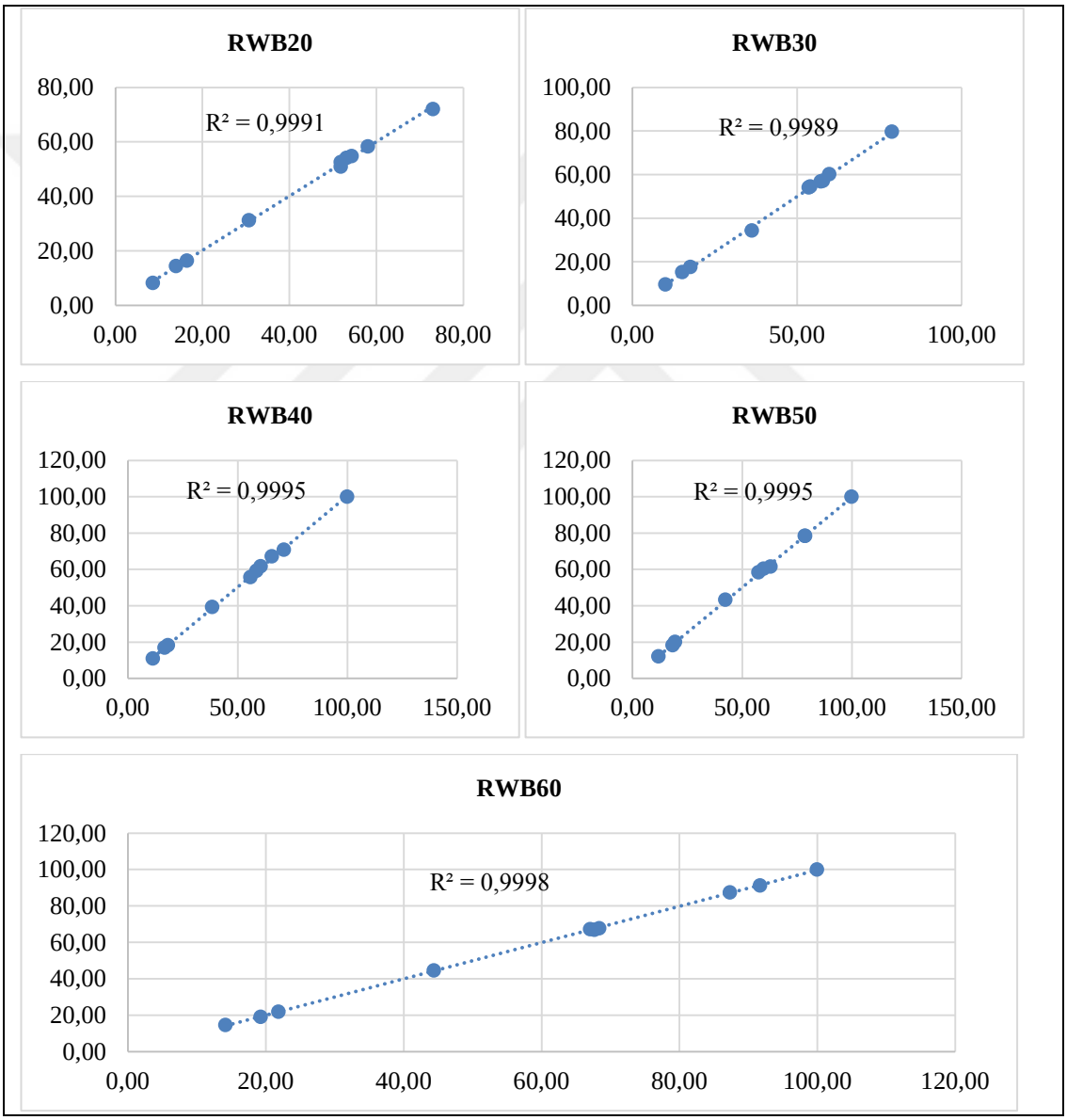


Şekil 4.2. Farklı (%20, 30, 40, 50, 60) derişimler de hazırlanan Polipol 381+WO_3 metal kompoziti için r^2 değerleri

Şekil 4.3'de Polipol 381 esasına %20, 30, 40, 50, 60 oranlarında katılan WB metal tuzu takviyeli kompozit malzeme için r^2 değerleri görülmektedir.

r^2 değerlerinin 0,9989-0,9998 aralığında olması üretilen kompozit malzemelerin homojenliğinin oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Ortalama r^2 değeri 0,9994 olarak bulunmuştur. Bulunan değerlerden RWB60 kodlu örneğe ait r^2 değerinin 1,000 değerine diğer numunelerden daha yakın olduğu görülmektedir. Bu örneğin homojenliği diğer malzemelere göre daha yüksektir.

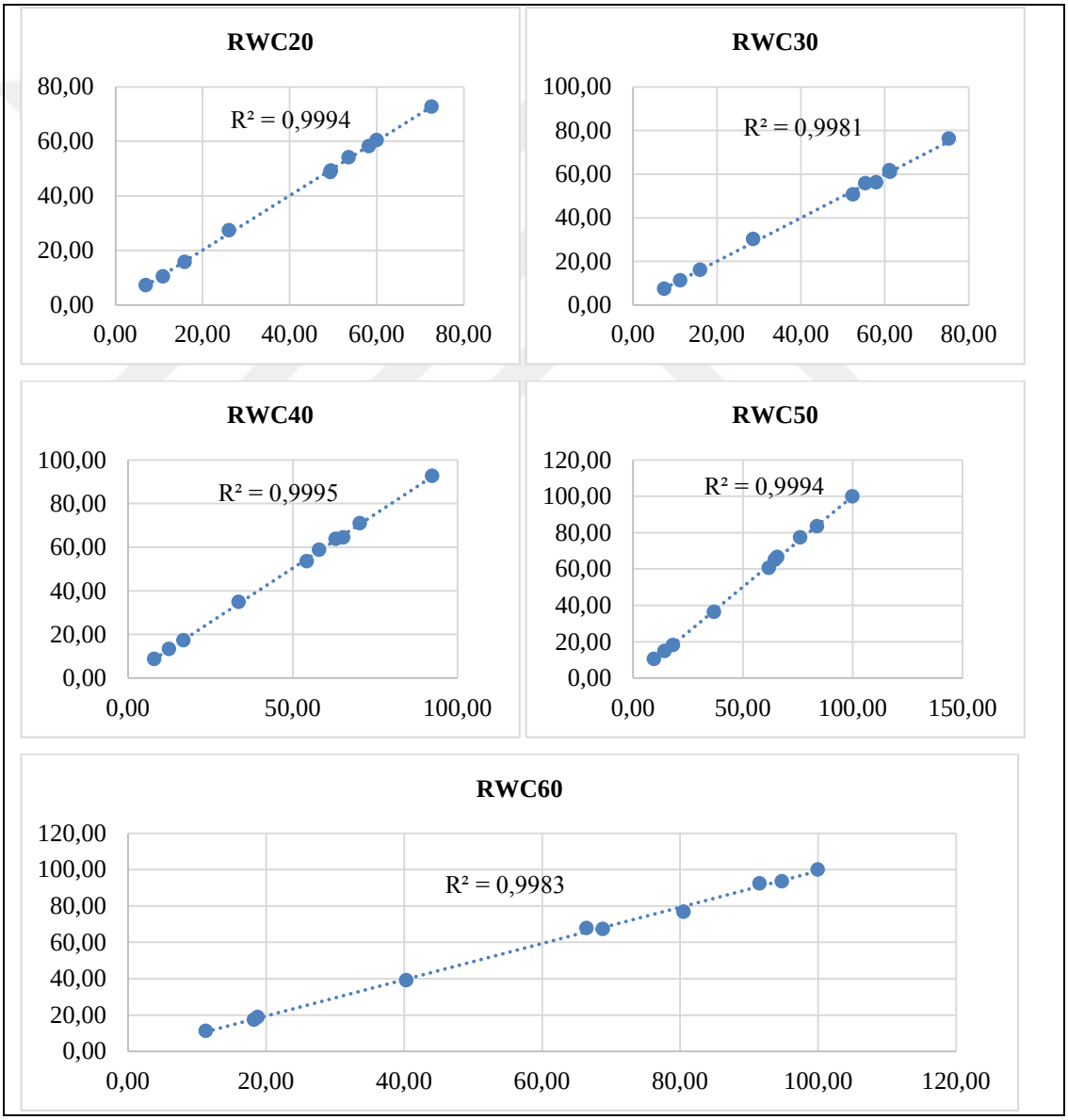
Hesaplanan r^2 değerlerine bakıldığında aynı derişimler de üretilen bütün kompozit malzemelerin homojenliğinin sağlandığı görülmektedir.



Şekil 4.3. Farklı (%20, 30, 40, 50, 60) derişimler de hazırlanan Polipol 381+WB metal kompoziti için r^2 değerleri

Şekil 4.4'de Polipol 381 esasına %20, 30, 40, 50, 60 oranlarında katılan WC metal tuzu takviyeli kompozit malzeme için r^2 değerleri görülmektedir. r^2 değerlerinin 0,9981-0,9995 aralığında olması üretilen kompozit malzemelerin homojenliğinin oldukça iyi olduğu sonucunu göstermektedir. Ortalama r^2 değeri 0,9990 olarak bulunmuştur. Bulunan değerlerden RWC30 ve RWC60 kodlu örneklere ait r^2 değerlerinin 1,000 değerine diğer numunelerden daha yakın olduğu görülmektedir. Bu örneğin homojenliği diğer malzemelere göre daha yüksektir.

Hesaplanan r^2 değerlerine bakıldığında aynı derişimlerde üretilen bütün kompozit malzemelerin homojenliğinin sağlandığı görülmektedir.



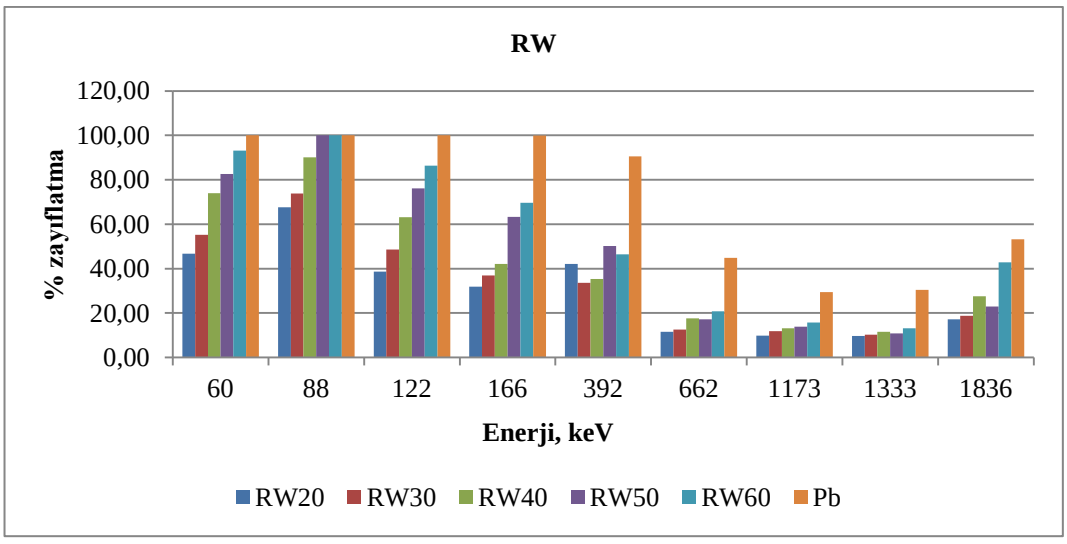
Şekil 4.4. Farklı (%20, 30, 40, 50, 60) derişimler de hazırlanan Polipol 381+WC metal kompoziti için r^2 değerleri

Şekillerden görüldüğü gibi tüm kompozit malzemeler için takviye malzemesi miktarı artıkça homojenlik daha kolay sağlanmaktadır.

4.3. Kompozit Malzemelerin İEMR % Zayıflatma Değerleri

Esas maddesi olarak Polipol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester, takviye malzemesi olarak da farklı oranlarda %99'luk saf volfram metali, volfram (VI) oksit, volfram bor ve volfram karbür kullanılarak üretilen kompozit malzemeler için bulunan yüzde İEMR % zayıflatma oranları Şekil 4.5-9'de gösterilmiştir.

Şekil 4.5'de, %99'luk saf volfram metalinin Pol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester ile oluşturduğu kompozit malzemenin İEMR % zayıflatma oranları gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi RW50 ve RW60 kodlu kompozit malzemeleri 88 keV enerjisinde en yüksek İEMR % zayıflatma özelliğine sahiptir. Ayrıca RW60 kodlu kompozit malzeme diğer enerjilerde de (60, 122, 166, 392, 662, 1173, 1333, 1836 keV) en yüksek oranda İEMR % zayıflatma özelliğine sahiptir. İEMR'nin, atom numarası Z ile farklı enerjiler için farklı oranlarda da olsa, orantılı olduğu düşünülürse polimer içinde volfram yüzdesi arttıkça % zayıflatma özelliğinin artması beklenen bir sonuçtur.



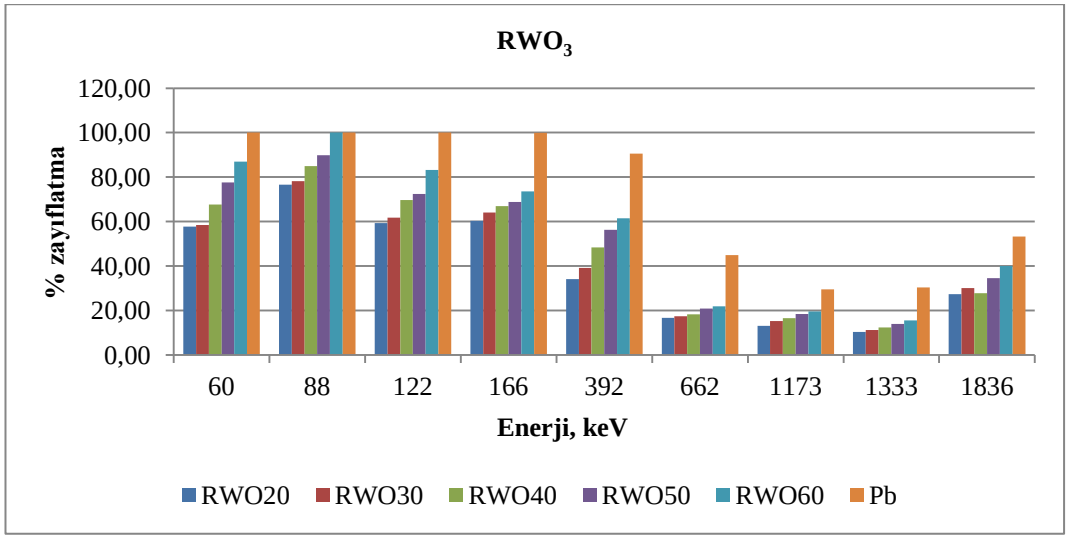
Şekil 4.5. Polipol 381+%99'luk Saf W metal kompoziti İEMR % zayıflatma değerleri

%99'luk saf volfram metalinin Pol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester ile oluşturduğu kompozit malzemelerden kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma özelliğine sahip iki kompozite ait değerler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. %99'luk Saf W metal kompozitinin kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma değerleri

Enerji, keV	60	88	122	166	392	662	1173	1333	1836
RW50	82,54	100,00	76,14	63,27	55,38	38,12	47,19	35,84	43,08
RW60	93,15	100,00	86,31	69,69	51,32	46,15	53,35	43,38	80,43
Pb	100,00	99,99	99,99	99,97	90,49	44,88	29,48	30,39	53,27

Şekil 4.6'da, Volfram (VI) oksit metalinin Polipol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester ile oluşturduğu kompozit malzemenin İEMR % zayıflatma oranları gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi $RWO_3$60 kodlu kompozit malzeme tüm enerjilerde (60, 88, 122, 166, 392, 662, 1173, 1333, 1836 keV) en yüksek oranda İEMR % zayıflatma özelliğine sahiptir. İEMR'nin, atom numarası Z ile farklı enerjiler için farklı oranlarda da olsa, orantılı olduğu düşünülürse polimer içinde volfram yüzdesi arttıkça % zayıflatma özelliğinin artması beklenen bir sonuçtur.



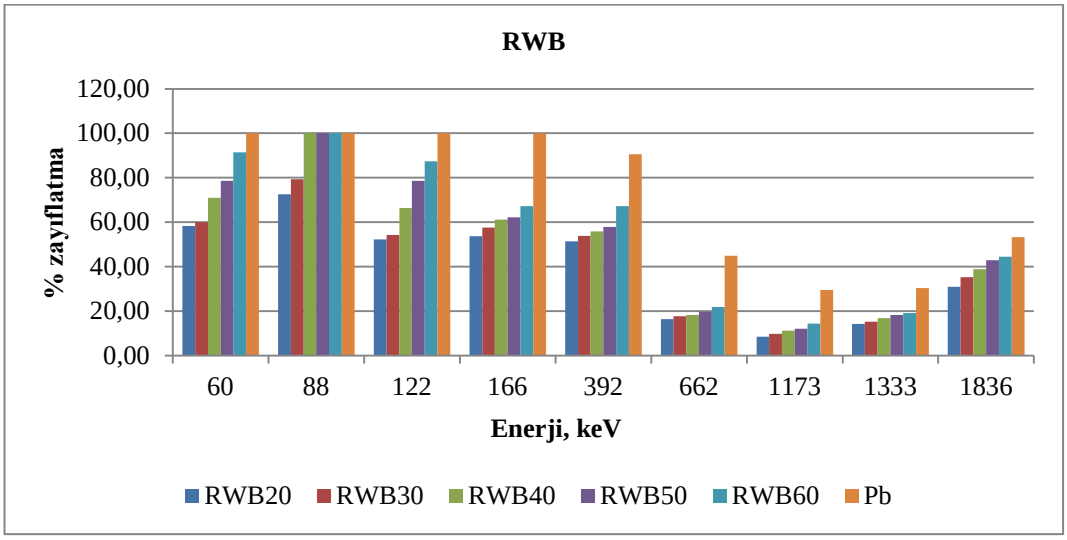
Şekil 4.6. Polipol 381+WO_3 metal kompoziti İEMR % zayıflatma değerleri

Kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma değerini veren $WO_3$60 maddesinin Pol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester ile oluşturduğu kompozit malzemeye ait değerler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. WO_3 metal kompozitinin kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma değerleri

Enerji, keV	60	88	122	166	392	662	1173	1333	1836
$WO_3$60	86,92	100,00	83,27	73,60	67,91	48,83	66,59	51,37	75,22
Pb	100,00	99,99	99,99	99,97	90,49	44,88	29,48	30,39	53,27

Şekil 4.7'de, Volfram bor'un Polipol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester ile oluşturduğu kompozit malzemenin İEMR % zayıflatma oranları gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi RWB40, RWB50 ve RWB60 kodlu kompozit malzemeleri 88 keV'lik enerji seviyesinde en yüksek oranda İEMR % zayıflatma özelliğine sahiptir. Ayrıca RWB60 kodlu kompozit malzemenin diğer enerjilerde de (60, 122, 166, 392, 662, 1173, 1333, 1836 keV) en yüksek oranda İEMR % zayıflatma özelliğine sahip olduğu görülmektedir. İEMR'nin, atom numarası Z ile farklı enerjiler için farklı oranlarda da olsa, orantılı olduğu düşünülürse polimer içinde volfram yüzdesi arttıkça % zayıflatma özelliğinin artması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.7. Polipol 381+WB metal kompoziti İEMR % zayıflatma değerleri

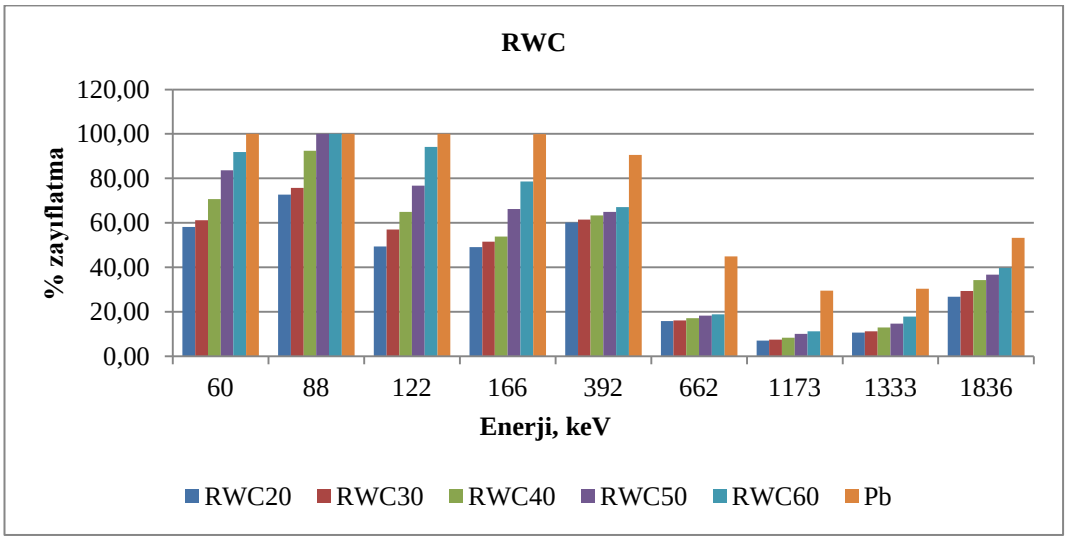
Volfram bor'un Pol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester ile oluşturduğu kompozit

malzemelerden kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma özelliğine sahip üç kompozite ait değerler Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. WB metal kompozitinin kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma değerleri

Enerji, keV	60	88	122	166	392	662	1173	1333	1836
RWB40	70,99	100,00	66,33	61,15	61,66	40,63	37,92	55,48	72,96
RWB50	78,58	100,00	78,56	62,22	63,97	43,96	40,85	60,17	80,43
RWB60	91,46	100,00	87,43	67,21	74,33	48,78	48,80	63,09	83,50
Pb	100,00	99,99	99,99	99,97	90,49	44,88	29,48	30,39	53,27

Şekil 4.8'de, Volfram karbür metalinin Polipol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester ile oluşturduğu kompozit malzemenin İEMR % zayıflatma oranları gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi 88 keV'lik enerjide RWC50 ve RWC60 kodlu kompozit malzemeler en yüksek oranda İEMR % zayıflatma özelliğine sahiptir. Ayrıca diğer enerjilerde de (60, 122, 166, 392, 662, 1173, 1333, 1836 keV) RWC60 kodlu kompozit malzemenin en yüksek oranda İEMR % zayıflatma özelliğine sahip olduğu görülmektedir. İEMR'nin, atom numarası Z ile farklı enerjiler için farklı oranlarda da olsa, orantılı olduğu düşünülürse polimer içinde volfram yüzdesi arttıkça % zayıflatma özelliğinin artması beklenen bir sonuçtur.



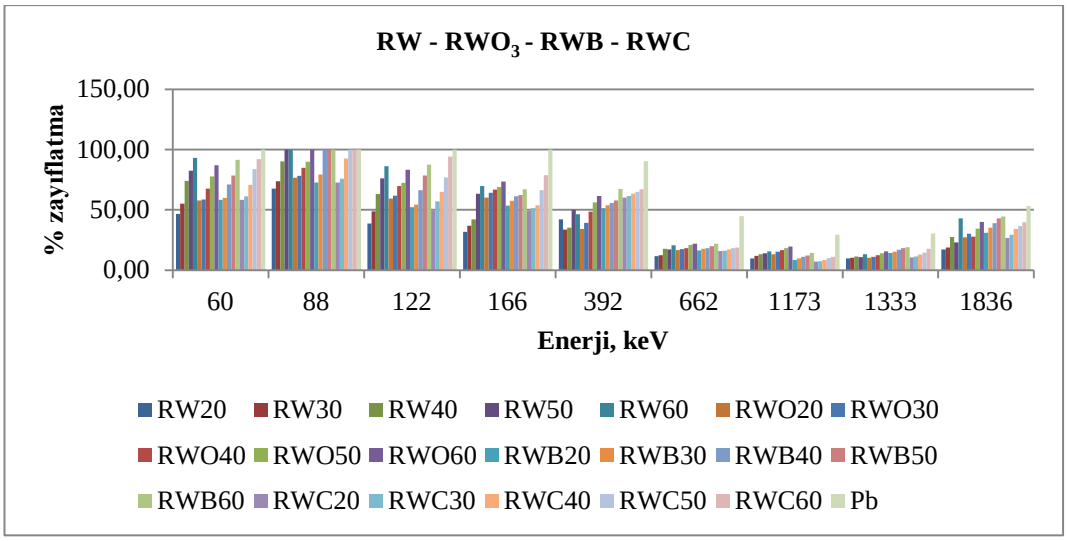
Şekil 4.8. Polipol 381+WC metal kompoziti İEMR % zayıflatma değerleri

Volfram karbür metalinin Pol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester ile oluşturduğu kompozit malzemelerden kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma özelliğine sahip iki kompozite ait değerler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. WC metal kompozitinin kurşuna göre en yüksek İEMR % zayıflatma değerleri

Enerji, keV	60	88	122	166	392	662	1173	1333	1836
RWC50	83,72	100,00	76,81	66,20	71,74	40,68	34,30	48,13	68,91
RWC60	91,90	100,00	94,15	78,66	74,18	41,99	38,00	58,53	74,52
Pb	100,00	99,99	99,99	99,97	90,49	44,88	29,48	30,39	53,27

Kompozit malzeme esas maddesi olarak Polipol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester, takviye malzemesi olarak da farklı oranlarda %99'luk saf volfram metali, volfram (VI) oksit, volfram bor ve volfram karbür kullanılarak üretilen tüm kompozit malzemelerin yüzde İEMR % zayıflatma değerleri Şekil 34'de gösterilmiştir. Şekildeki sonuçlardan görüleceği gibi RW50, RW60, $RWO_3$60, RWB40, RWB50, RWB60, RWC50 ve RWC60 kodlu kompozit malzemelerin 88 keV'lik enerji seviyesinde en yüksek oranda İEMR % zayıflatma özelliğine sahip oldukları görülmektedir. Ayrıca RW60, $RWO_3$60, RWB60 ve RWC60 kodlu kompozit malzemeler diğer enerjilerde de (60, 122, 166, 392, 662, 1173, 1333, 1836 keV) en yüksek oranda İEMR % zayıflatma özelliğine sahiptir. İEMR'nin, atom numarası Z ile farklı enerjiler için farklı oranlarda da olsa, orantılı olduğu düşünülürse polimer içinde volfram yüzdesi arttıkça % zayıflatma özelliğinin artması beklenen bir sonuçtur. Bu nedenle de % zayıflatma özelliklerinin incelenmesinde kütlesel zayıflatma katsayıları önem kazanır.



Şekil 4.9. Toplam yüzde İEMR % zayıflatma değerleri

Şekil 4.9'da enerji seviyelerine bakıldığında 60 keV'lik enerji seviyesindeki İEMR % zayıflatma değerlerinde bir sapmanın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni gama spektrometresi kullanılarak 60 keV'lik enerji seviyesinde alınan fotopiklerin cihazdan kaynaklanan sistematik bir hatadan dolayı eksik çıkmasıdır.

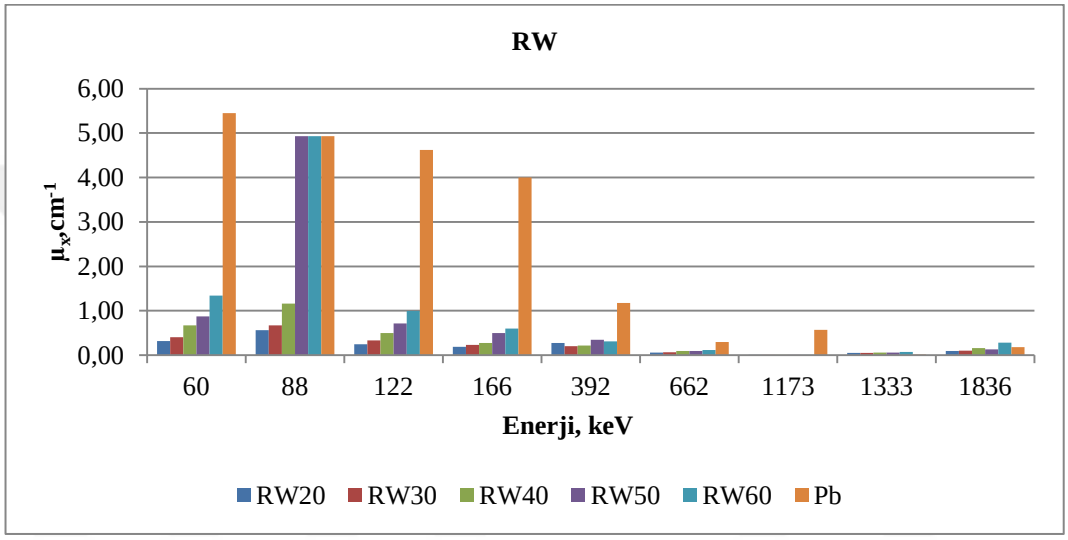
Şekil 4.9'dan görüleceği gibi 60-392 keV aralığında hemen tüm malzemelerin İEMR % zayıflatma katsayıları daha yüksek enerjilerdeki % zayıflatma katsayılarına göre çok daha fazladır. Bunun nedeni, 0-400 keV aralığında fotoelektrik olay olma olasılığının yüksek olması ve fotoelektrik etkileşimde enerji kaybının Z^5 ile orantılı olmasıdır. Bu nedenle Z değeri arttıkça, fotoelektrik etkileşimde enerji kaybı artacağından, malzemenin zırhlama özelliği de artacaktır.

Compton bölgesinde (400-1022 keV) malzeme içinde İEMR zayıflatma özelliği Z ile orantılı olduğundan malzemenin Z değerinin artması, İEMR zayıflatma özelliğini pek etkilememiştir.

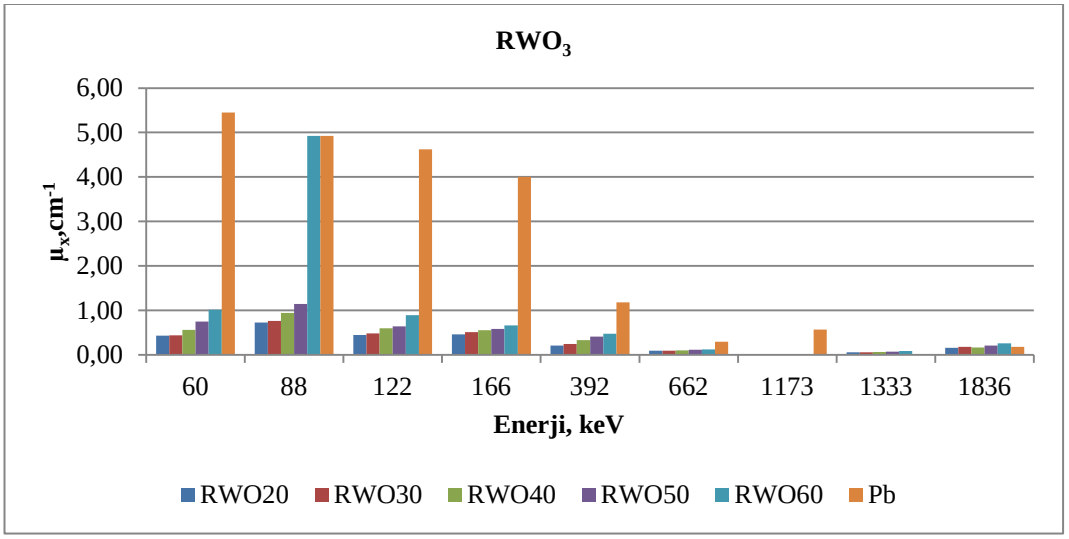
1022 keV'den büyük enerjilerde ise çift oluşumu olayı baskındır. Çift oluşumu ile İEMR zayıflatma oranı Z^2 ile orantılı olduğundan >1022 keV enerjilerde İEMR zayıflatma özelliğinin tekrar artmaya başladığı görülmektedir.

4.3.1. Kompozit malzemelerin İEMR doğrusal zayıflatma katsayıları deneysel sonuçları

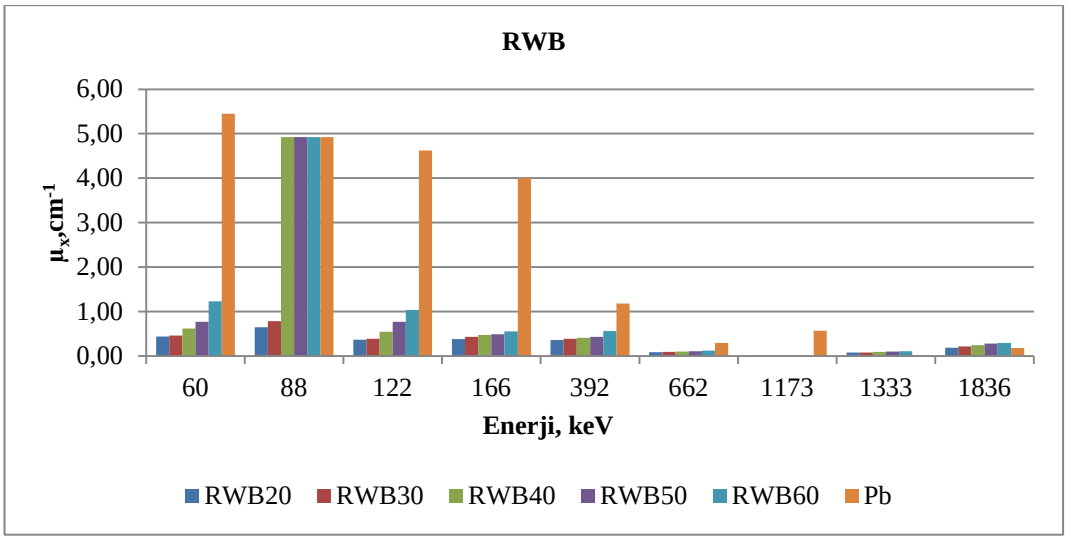
Kompozit malzeme esas maddesi olarak Polipol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester, takviye malzemesi olarak da farklı oranlarda %99'luk saf volfram metali, volfram (VI) oksit, volfram bor ve volfram karbür kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin İEMR doğrusal zayıflatma katsayıları sırasıyla Şekil 4.10-13'de gösterilmiştir.



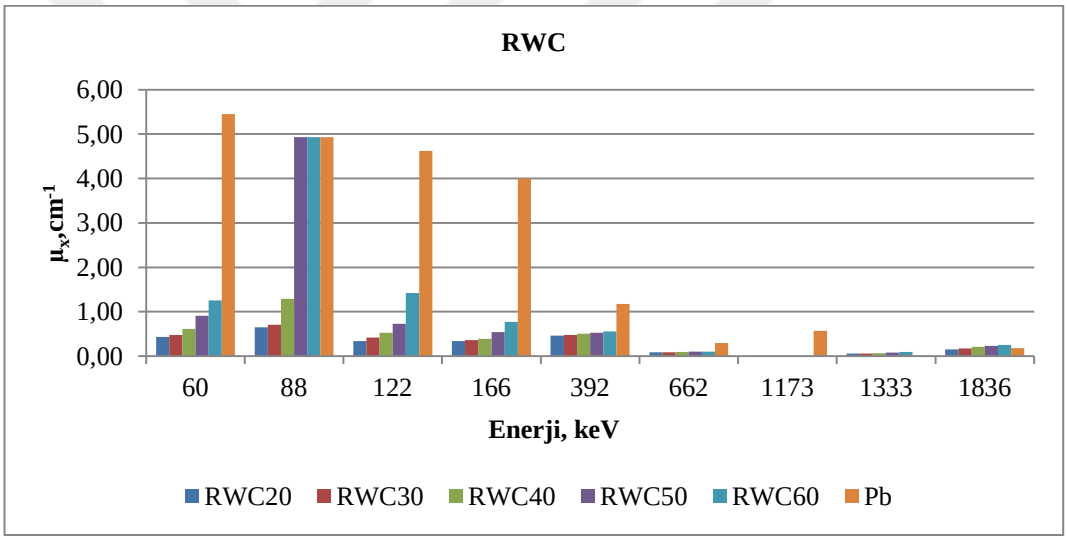
Şekil 4.10. Polipol 381+%99'luk Saf W metal kompoziti doğrusal zayıflatma katsayısı



Şekil 4.11. Polipol 381+WO_3 metal kompoziti doğrusal zayıflatma katsayısı



Şekil 4.12. Polipol 381+WB metal kompoziti doğrusal zayıflatma katsayısı



Şekil 4.13. Polipol 381+WC metal kompoziti doğrusal zayıflatma katsayısı

Şekillerden görüleceği gibi 60-392 keV aralığında hemen tüm malzemelerin İEMR doğrusal zayıflatma katsayıları daha yüksek enerjilerdeki zayıflatma katsayılarına göre çok daha fazladır. Bunun nedeni, 0-400 keV aralığında fotoelektrik olay olma olasılığının yüksek olması ve fotoelektrik etkileşimde enerji kaybının Z^5 ile orantılı olmasındandır. Bu nedenle Z değeri arttıkça, fotoelektrik etkileşimde enerji kaybı artacağından, malzemenin zırhlama özelliği de artmaktadır.

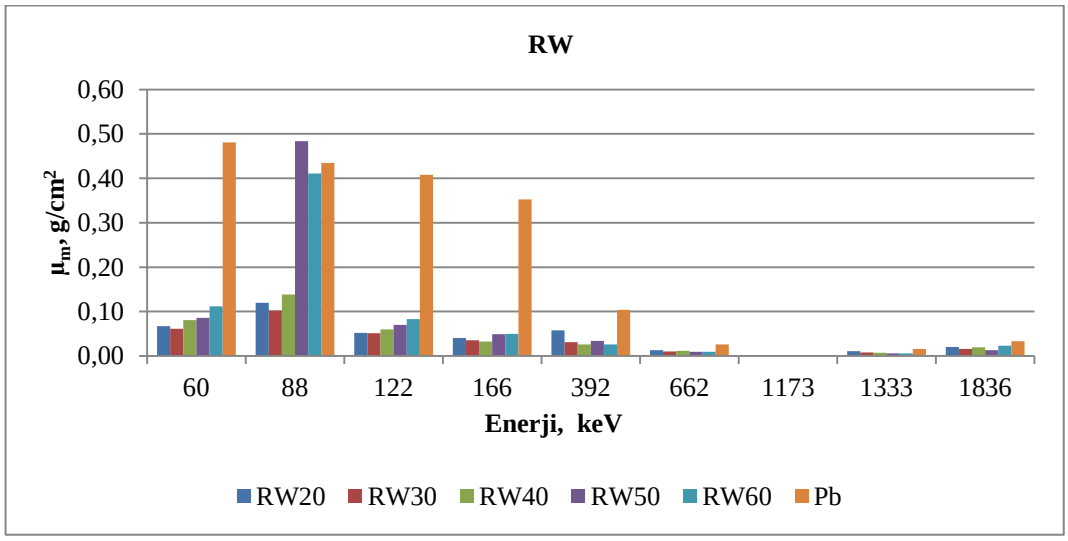
Compton bölgesinde (400-1022 keV) enerji kaybı Z ile orantılı olduğundan malzemenin Z değerinin artması, İEMR doğrusal zayıflatma özelliğini pek etkilememiştir.

1022 keV'den büyük enerjilerde ise çift oluşumu olayı baskındır. Çift oluşumu ile İEMR doğrusal zayıflatma oranı Z^2 ile orantılı olduğundan >1022 keV enerjilerde İEMR doğrusal zayıflatma özelliğinin tekrar artmaya başladığı görülmektedir.

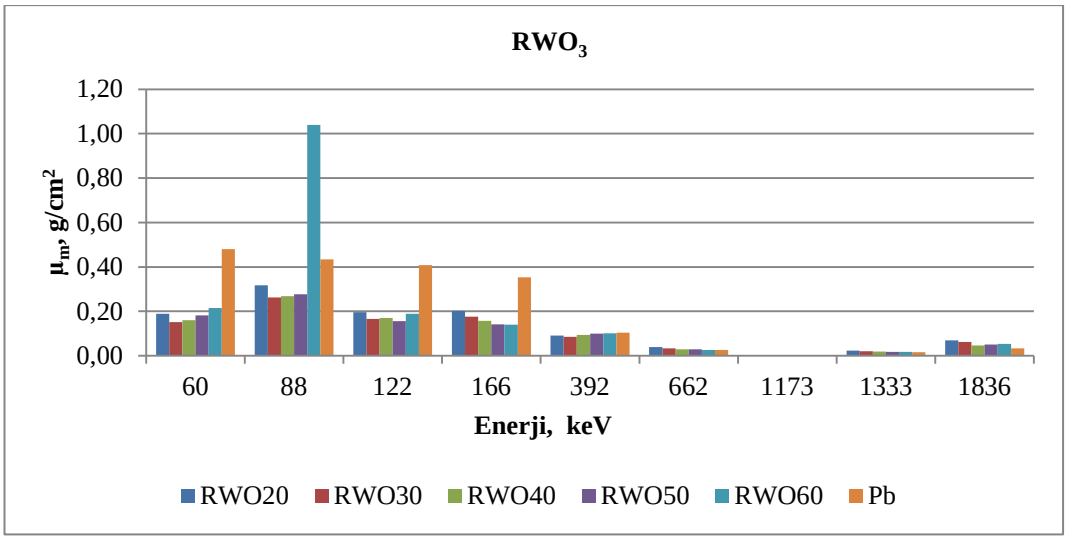
4.3.2. Kompozit malzemelerin İEMR kütlesel zayıflatma teorik ve deneysel sonuçları

Kütlesel zayıflatma katsayısı, malzemenin fiziksel hali ve yoğunluğundan bağımsız olduğundan zırhlama malzemelerinin performanslarının karşılaştırılmasında çok daha kullanışlı bir ifadedir. Kütlesel zayıflatma katsayısı tanımı gereği malzemenin gram başına İEMR zayıflatma performansı olarak görülebilir.

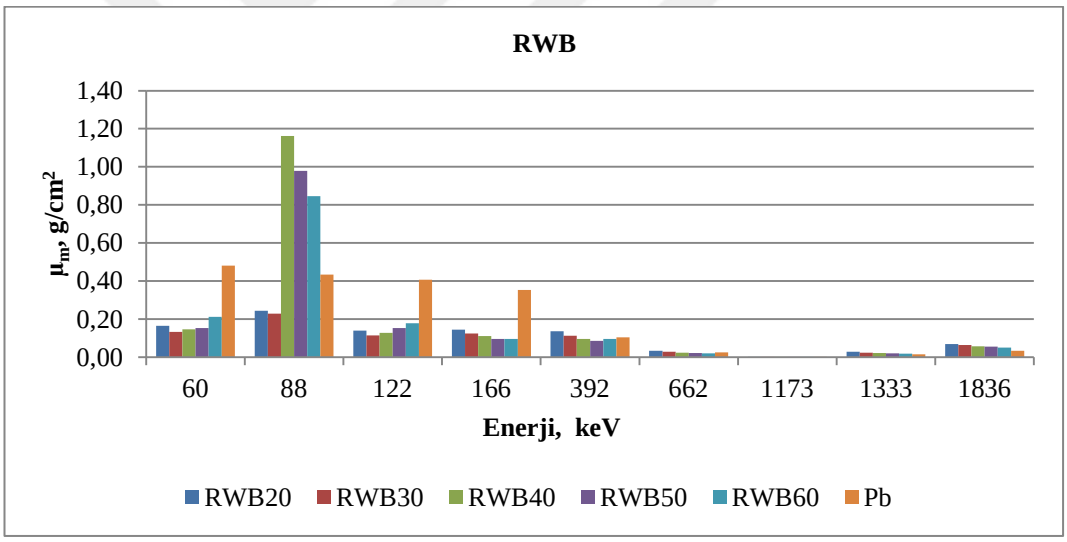
Üretilen kompozit malzemelerin deneysel olarak bulunan kütlesel zayıflatma katsayıları Şekil 4.14-17'de gösterilmiştir.



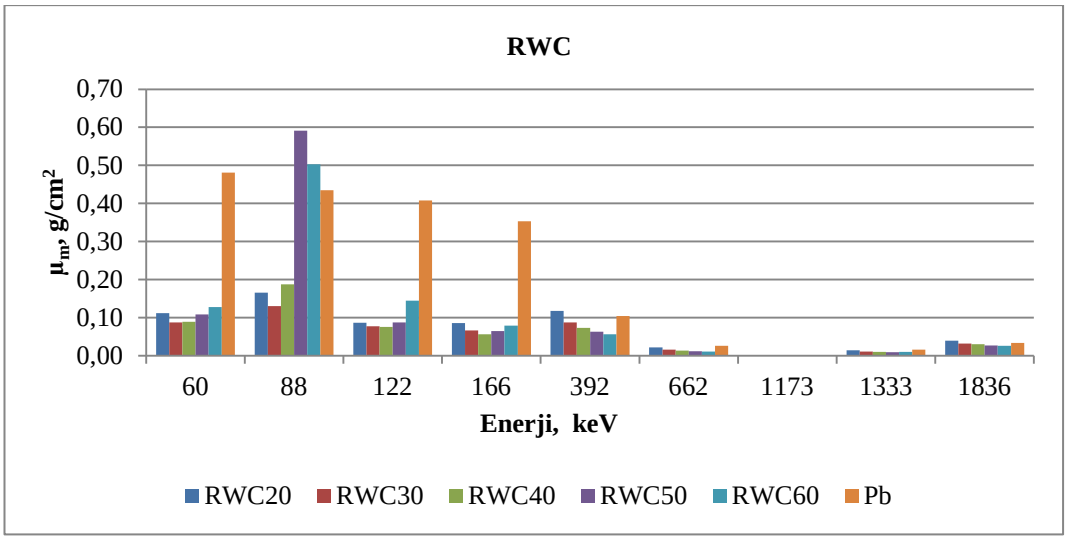
Şekil 4.14. Polipol 381+%99'luk Saf W metal kompoziti deneysel kütlesel zayıflatma katsayısı



Şekil 4.15. Polipol 381+WO_3 metal kompoziti deneysel kütlesel zayıflatma katsayısı

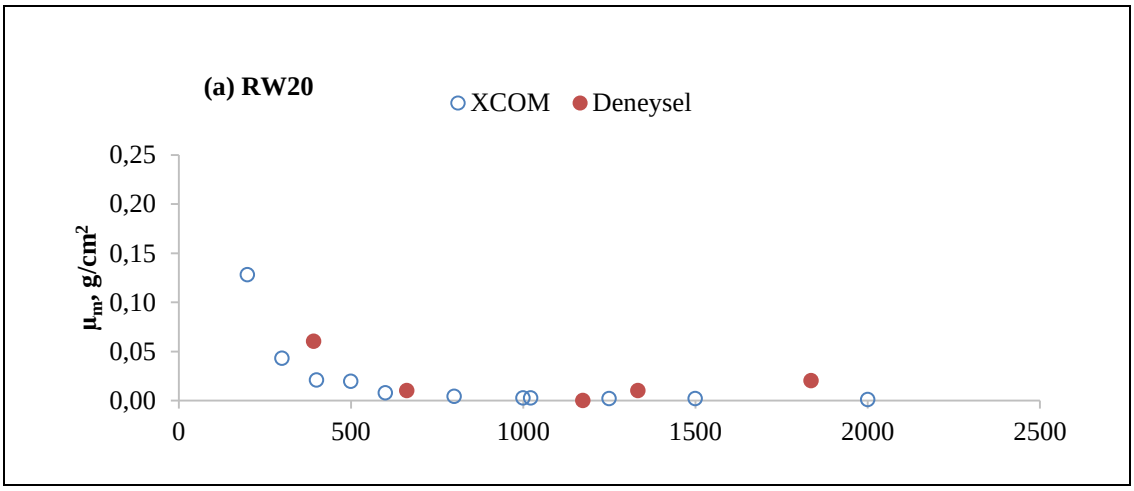


Şekil 4.16. Polipol 381+WB metal kompoziti deneysel kütlesel zayıflatma katsayısı

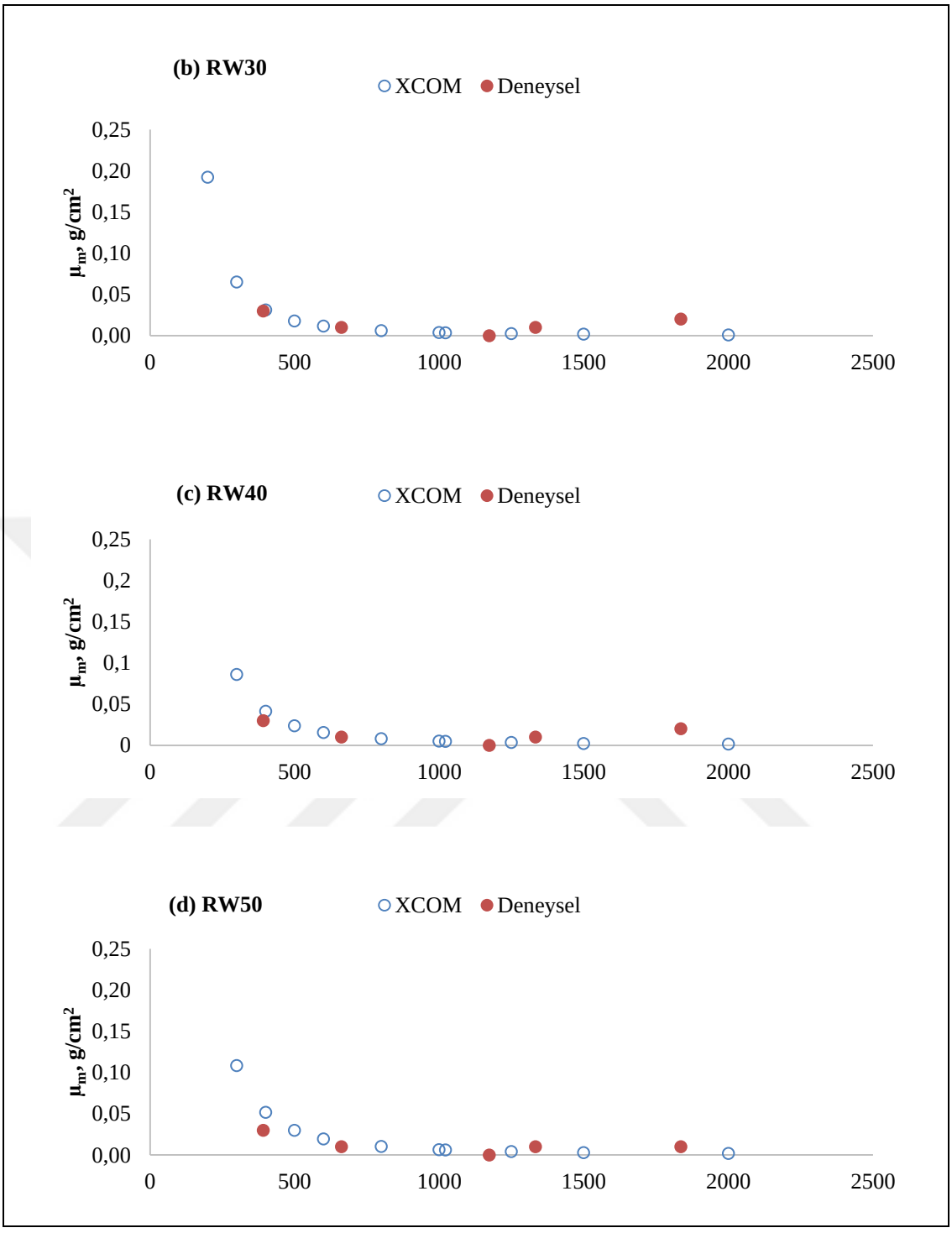


Şekil 4.17. Polipol 381+WC metal kompoziti deneysel kütlesel zayıflatma katsayısı

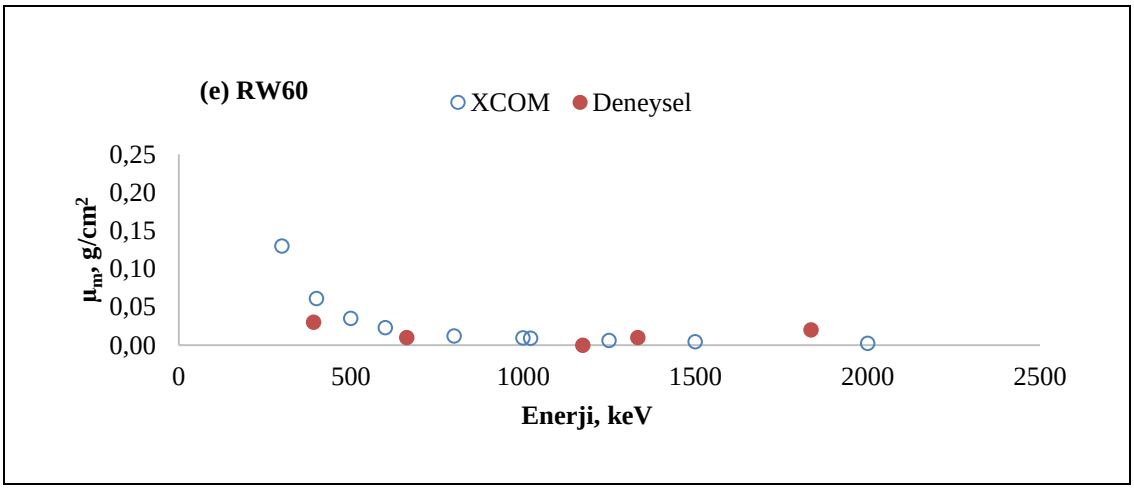
Üretilen kompozitlerin İEMR zırh malzemesi olarak, farklı enerjilerdeki zırhlanma özelliklerinin test edilmesi için kütlesel zayıflatma katsayıları deneysel ve XCOM programı kullanılarak teorik olarak bulunmuştur. Deneysel ve teorik sonuçlar Şekil 4.18-21'de gösterilmiştir.



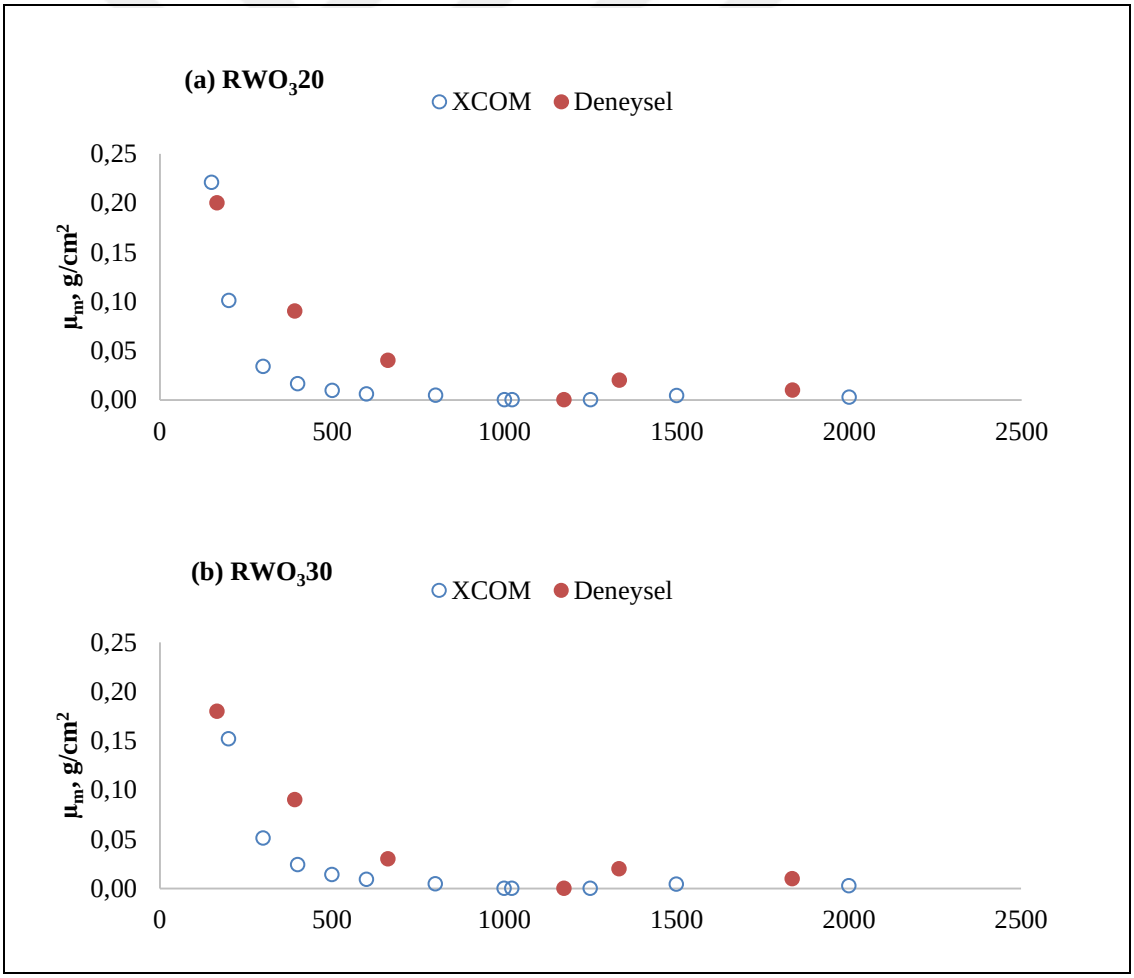
Şekil 4.18. Teorik ve deneysel kütlesel zayıflatma değerleri a) RW20; b) RW30; c) RW40; d) RW50; e) RW60



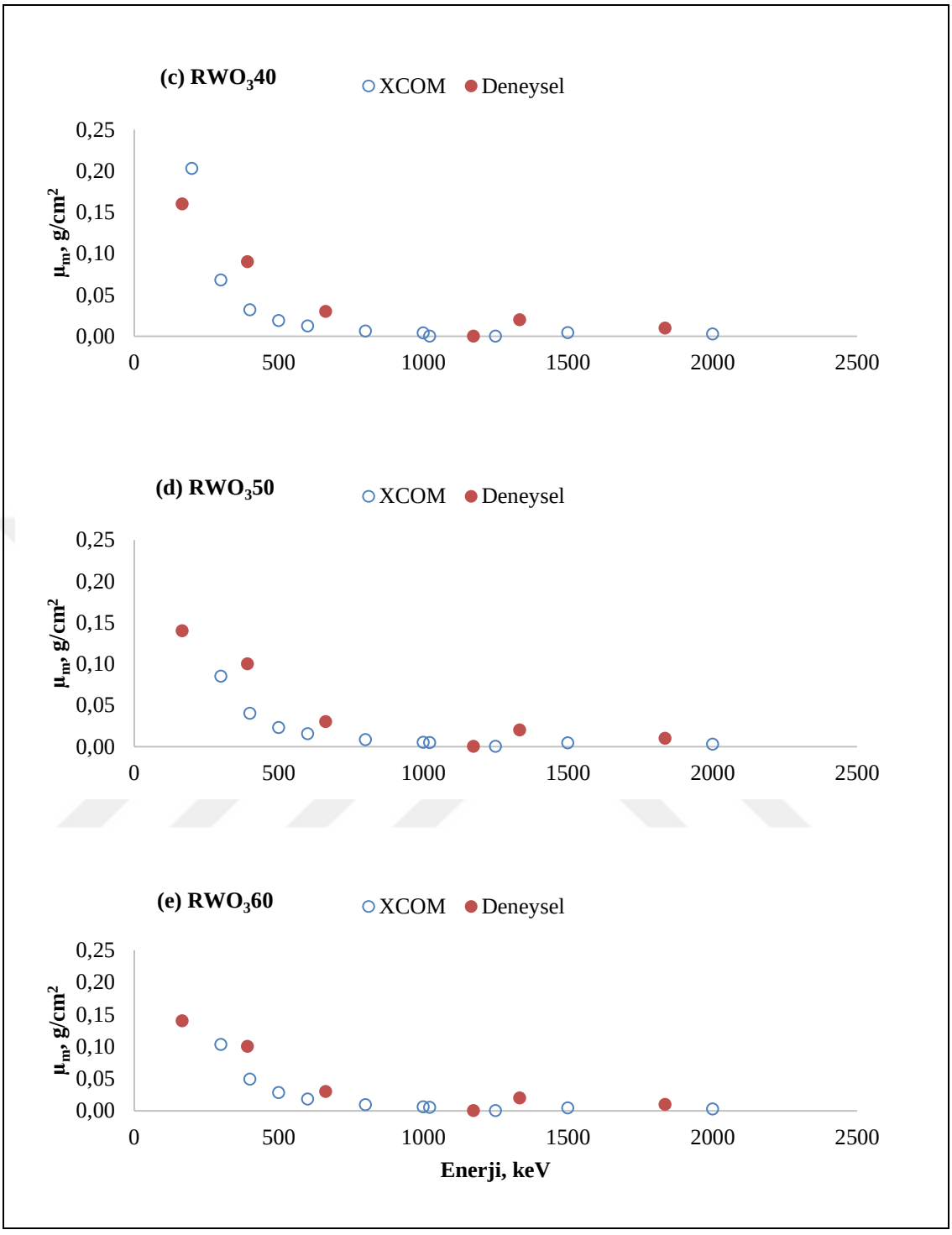
Şekil 4.18. (devam)



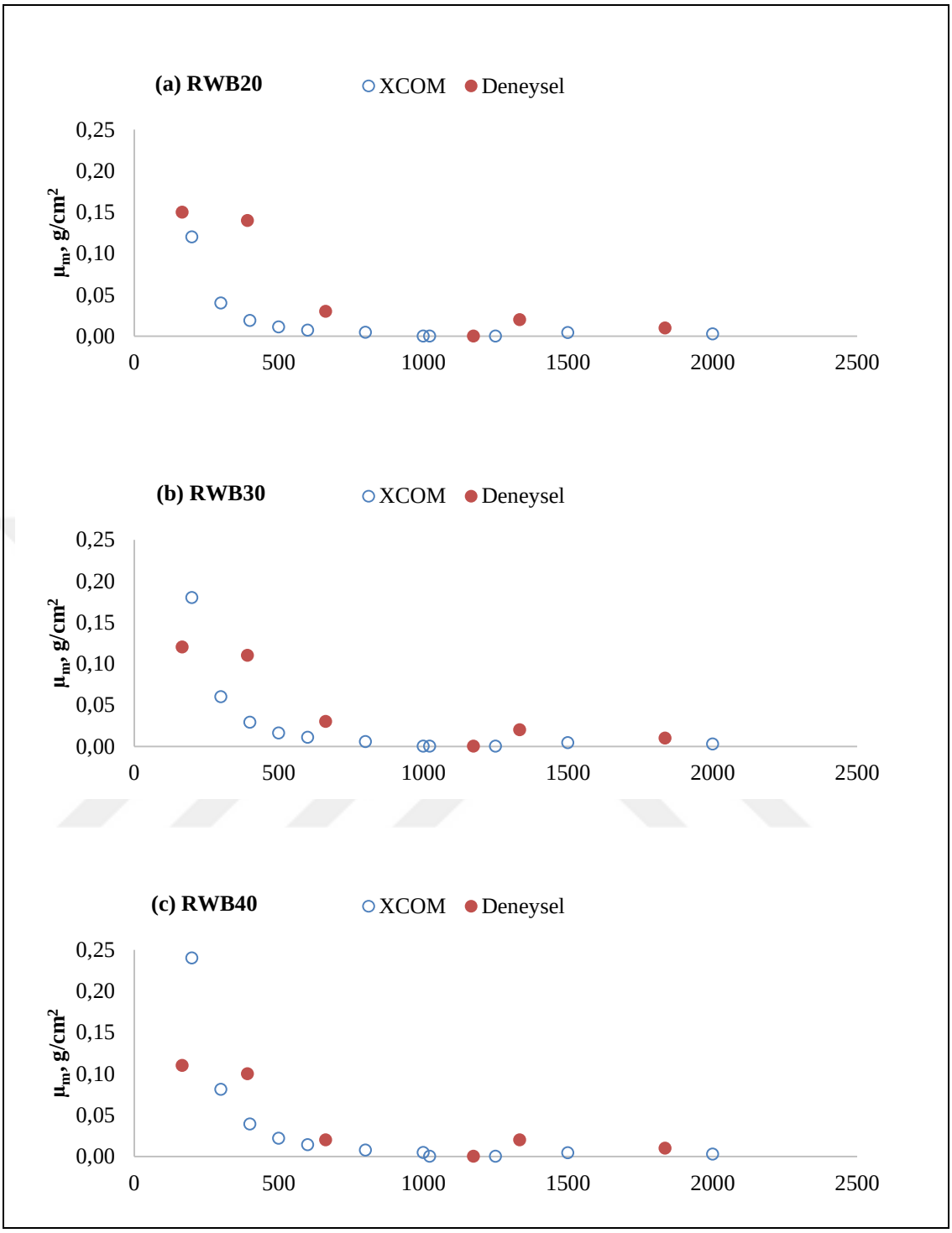
Şekil 4.18. (devam)



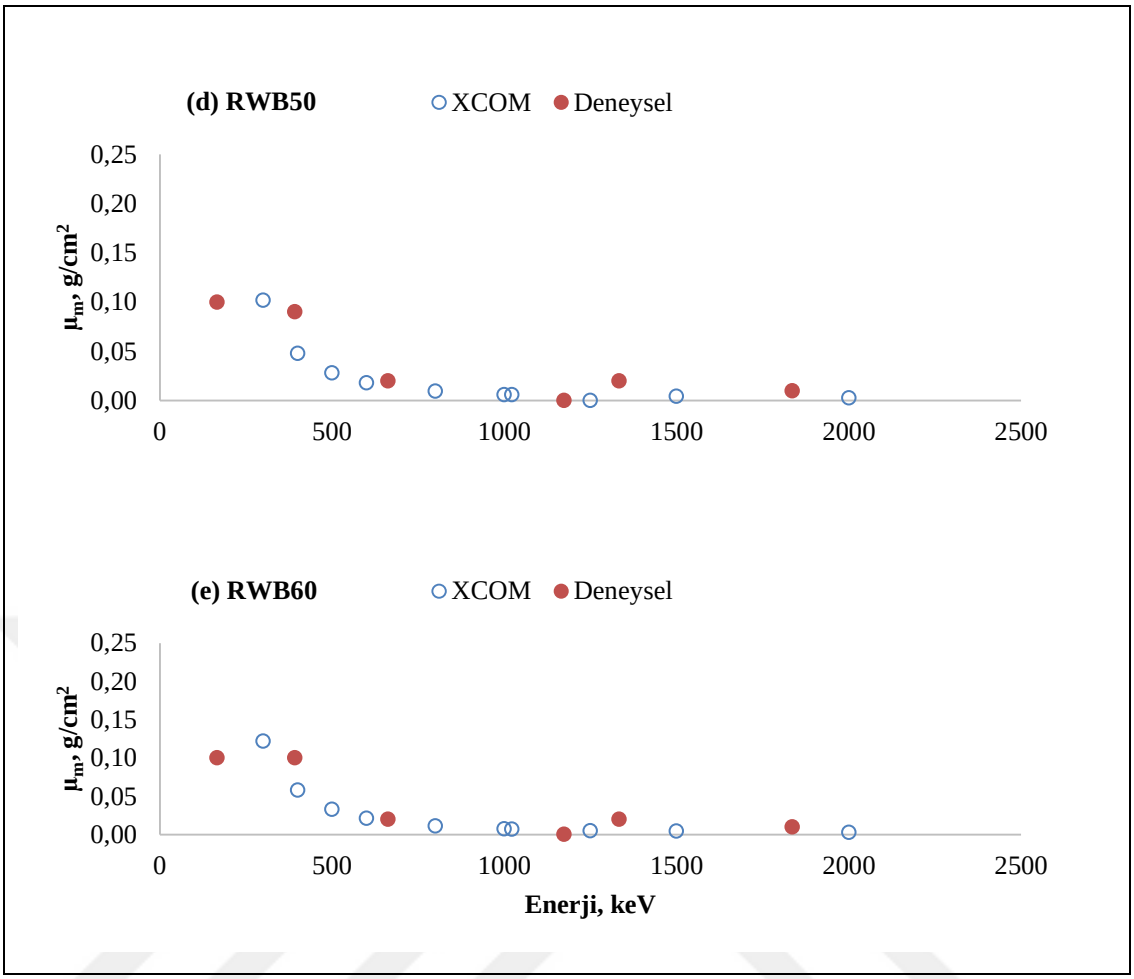
Şekil 4.19. Teorik ve deneysel kütlesel zayıflatma değerleri a) $RWO_3$20; b) $RWO_3$30; c) $RWO_3$40; d) $RWO_3$50; e) $RWO_3$60



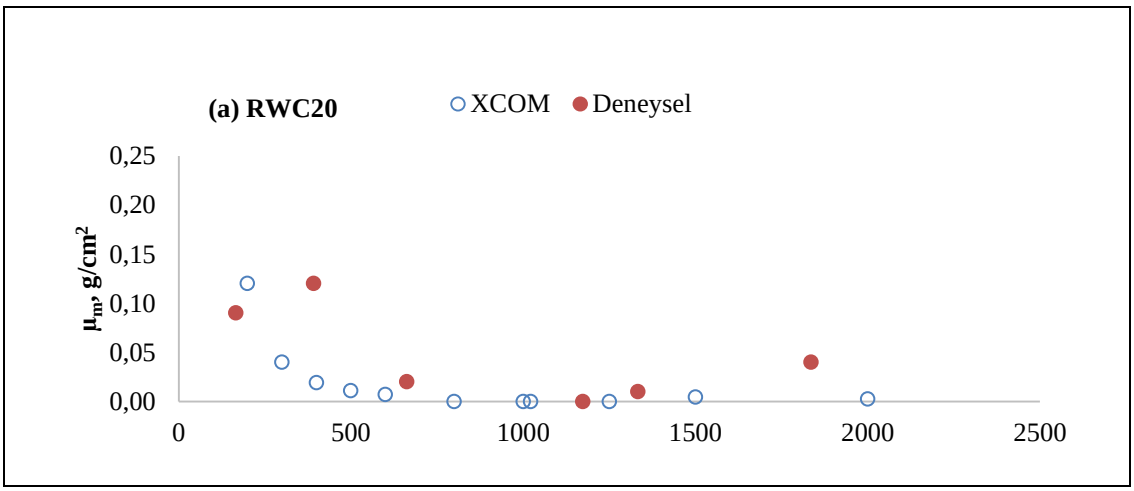
Şekil 4.19. (devam)



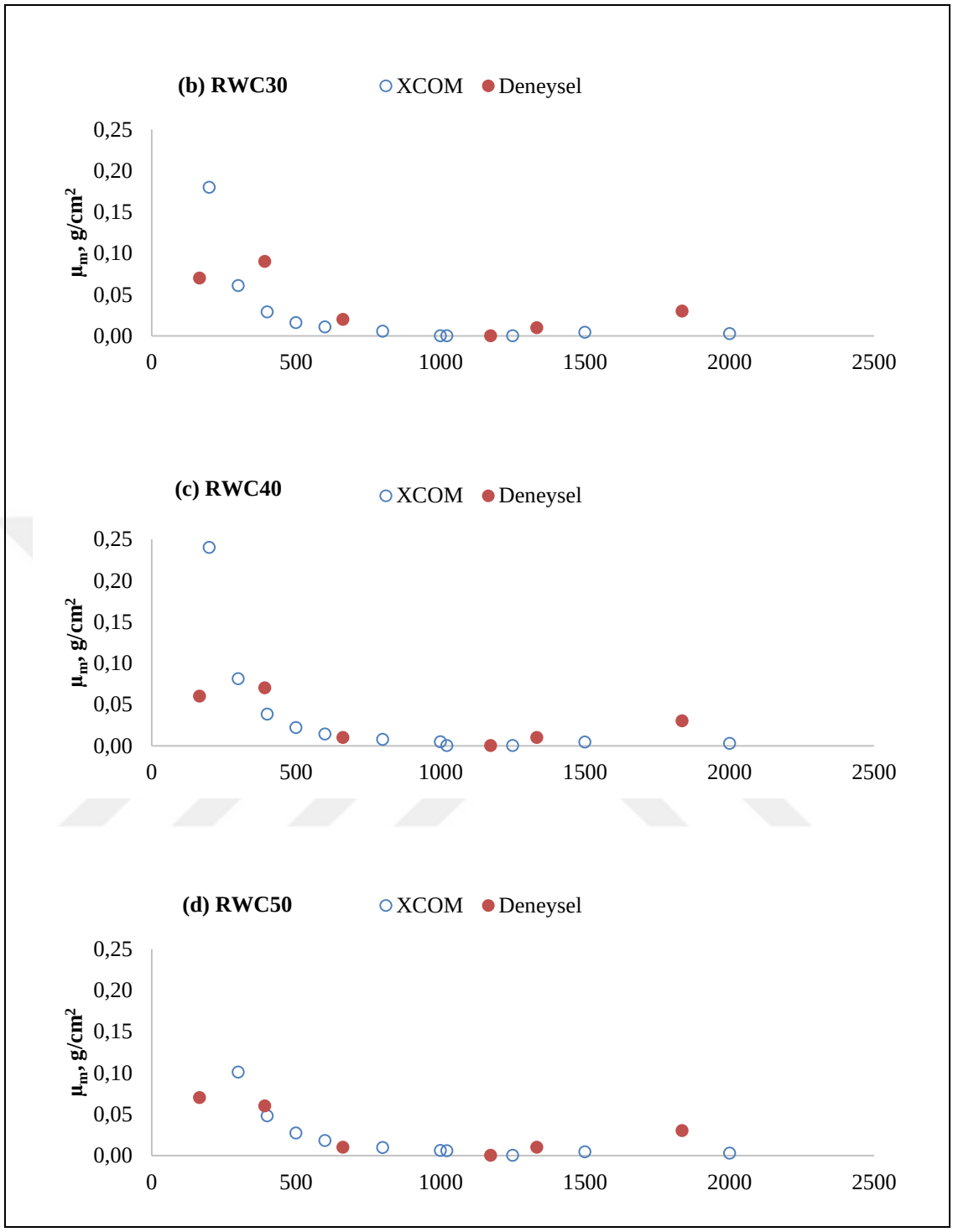
Şekil 4.20. Teorik ve deneysel kütlesel zayıflatma değerleri a) RWB20; b) RWB30; c) RWB40; d) RWB50; e) RWB60



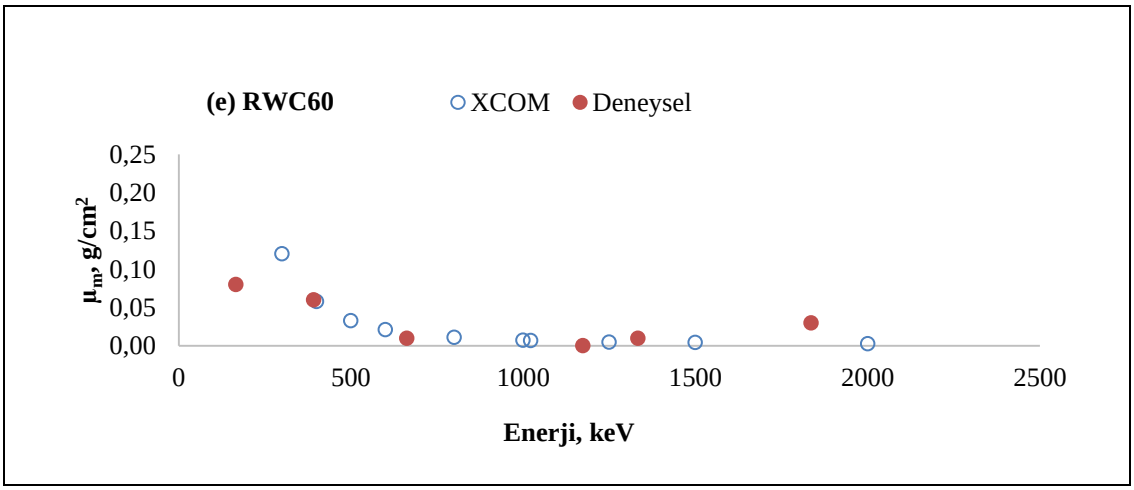
Şekil 4.20. (devam)



Şekil 4.21. Teorik ve deneysel kütlesel zayıflatma değerleri a) RWC20; b) RWC30; c) RWC40; d) RWC50; e) RWC60



Şekil 4.21. (devam)



Şekil 4.21. (devam)

Şekillerden görüleceği gibi deneysel sonuçlarla XCOM programı ile bulunan teorik sonuçlar uyum içerisindedir. Gözlenen sapmaların da Arşimet yöntemiyle deneysel olarak bulunan yoğunluk ölçümlerinden ileri geldiği düşünülmektedir. Ek olarak XCOM programı sadece malzemenin nitel ve nicel bileşimine dayandığından kimyasal ve kristal yapılarını dikkate alamadığından deneysel sonuçlardan farklı sonuçlar elde edilmesine neden olabilir. Çalışmamızın başında da belirttiğimiz gibi İEMR zayıflatma özelliği maddelerin atom numarası (Z) ile ilgili olduğu kadar kristal örgü yapılarıyla da ilgilidir. Ancak XCOM programında malzemenin kristal ve kimyasal özellikleriyle ilgili düzeltme yapılamamaktadır.

4.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

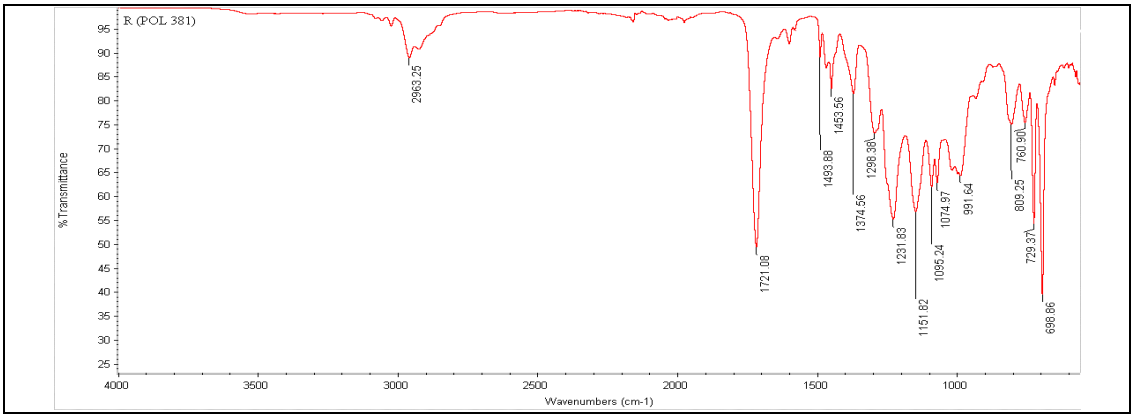
Çalışmanın bu aşamasında elde edilen kompozit malzemelerin karakterizasyonu yapılmıştır.

Kimyasal yapı karakterizasyonu için FTIR-ATR (Fourier Transform Infrared-Attenuated Total Reflectance), boyut ve yapısal analizler için SEM (Scanning Electron Microscope) ve EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy), ısıl karakterizasyon için TGA (Thermal Gravimetric Analysis) ve DSC (Differential Scanning Calorimetry) cihazları kullanılmıştır.

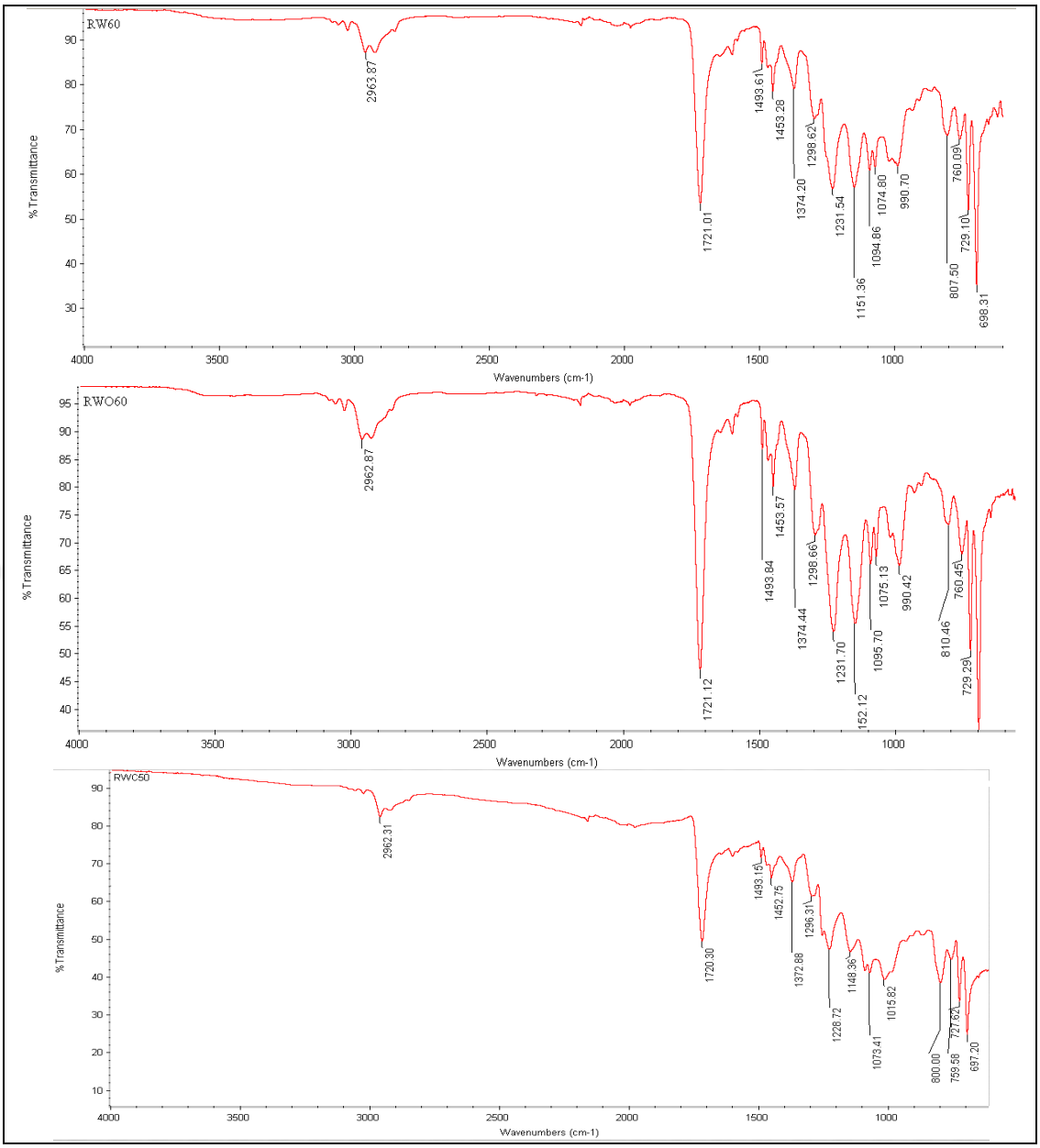
4.4.1. Yapısal karakterizasyon

4.4.1.1. FTIR karakterizasyonu

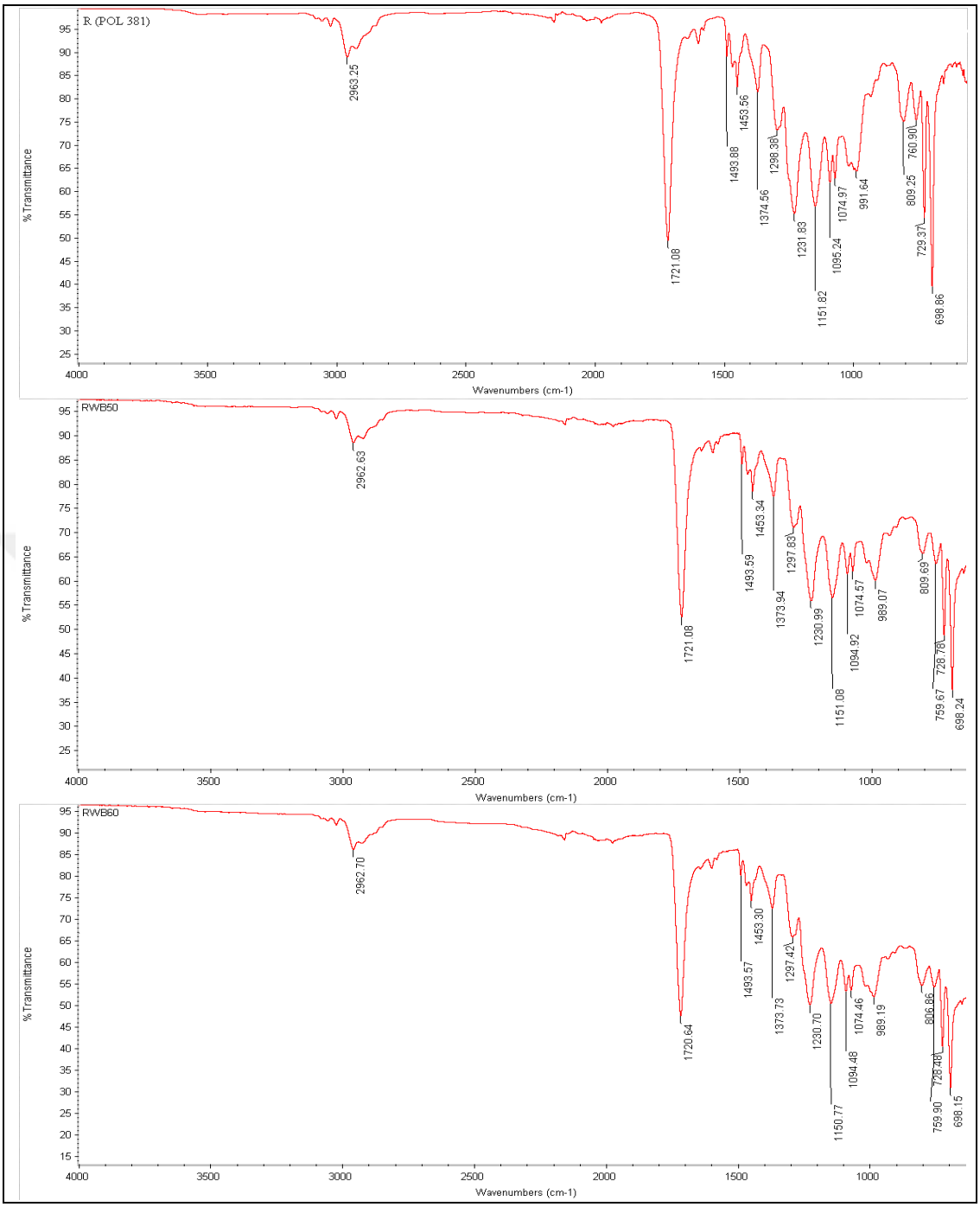
Molekül tarafından soğurulan IR ışınlarının moleküldeki titreşim hareketlerinin matematiksel fourier dönüşümünün incelendiği spektroskopik yöntemde ışıma şiddeti, zamanın fonksiyonu olarak alınmıştır. Her dalga boyunu ayrı ayrı tarama gerekmeksizin hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilmiştir. Kompozitlerin yapısal karakterizasyonu çalışmaları kapsamında takviye malzemeleri ile kompozit esası arasında herhangi bir kimyasal etkileşim olup olmadığının incelenmesi için yapılan FTIR-ATR analizleri sonucu elde edilen FTIR spektrumları Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. FTIR sonuçları a) Reçine (Pol 381); b) RW60; c) RWO$_3$60; d) RWC50



Şekil 4.22. **(devam)**



Şekil 4.23. FTIR sonuçları a) Reçine (Pol 381); b) RWB50; c) RWB60

Şekil 4.22'de her dört spektrumda da polyesterin karakteristik soğurma bantları görülmektedir ve % transmisyon değerleri neredeyse eşittir.

Soğurma bantlarının ve şiddetlerinin yaklaşık aynı olması, fonksiyonel gruplarda herhangi bir değişimin olmadığını yani kullanılan takviye malzemeleri ile polyester arasında herhangi bir kimyasal etkileşim olmadığını göstermektedir. Bu durum, kompozit üretiminde volfram (%60), volfram (VI) oksit (%60) ve volfram karbür (%50) takviye tanelerinin reçine içindeki dağılımının fiziksel nitelikte olduğunu, kimyasal herhangi bir olayın gerçekleşmediğini göstermektedir.

Şekil 4.23'de kompozit yapısındaki fonksiyonel grup değişimlerinin incelenmesinden volfram bor'un %50 ve %60 takviyeli kompozitlerinde polyesterin karakteristik soğurma bantlarının olduğu ve % transmisyon değerlerinde bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Buna göre volfram bor tanelerinin polyester içindeki dağılımında da kimyasal bir yapı değişikliğinin olmadığı, volfram bor'un polyester içindeki dağılımının fiziksel karakterde olduğu sonucuna varılmıştır.

4.4.1.2. SEM karakterizasyonu

Hazırlanan kompozit malzemelerin SEM analizleri kompozit malzemenin hem kırık hem de parlak yüzeyleri için yapılmıştır. Kırık yüzey çalışmaları ikincil elektronlardan yararlanılarak yapılmış ve yüzey morfolojisi incelenmiştir. SEM analizlerinin kırık yüzey için yapılma nedeni takviye malzemesinin esas malzeme ile zayıf etkileşiminden kaynaklanabilecek olası boşluklardan yararlanarak, kırılma mekanizması ve faz ayrımlarının görülmek istenmesidir. Parlak yüzey çalışmalarında ise geri saçılan elektronlardan yararlanılmış ve fazlar arasındaki dağılım, tane sınırları, tane dağılım şekilleri ve malzeme homojenliği izlenmiştir.

Üretilen kompozit malzemeler içinde en yüksek İEMR zayıflatma performansı gösteren RW60, $RWO_3$60, RWB40, RWB50, RWB60, RWC50 örnekleri için yapılan SEM analizlerinde farklı büyütme oranlarında çekilen SEM fotoğrafları Şekil 4.24-29'da verilmiştir.

Şekil 4.24'de RW60 kompozit örneklerinin kırık yüzey SEM fotoğraflarından da görüldüğü gibi üretilen kompozitlerde kırık yüzeylerde tane sökülmelerinden kaynaklanabilecek boşluk gözlemlenmemiştir. Görüntülerden takviye taneleri ile esas malzemenin homojen olarak kaynaştığı da anlaşılmaktadır. Parlak yüzey

fotoğraflarında ise takviye taneleri ile esas malzemesinin kolaylıkla ayırt edilebildiği görülmektedir.

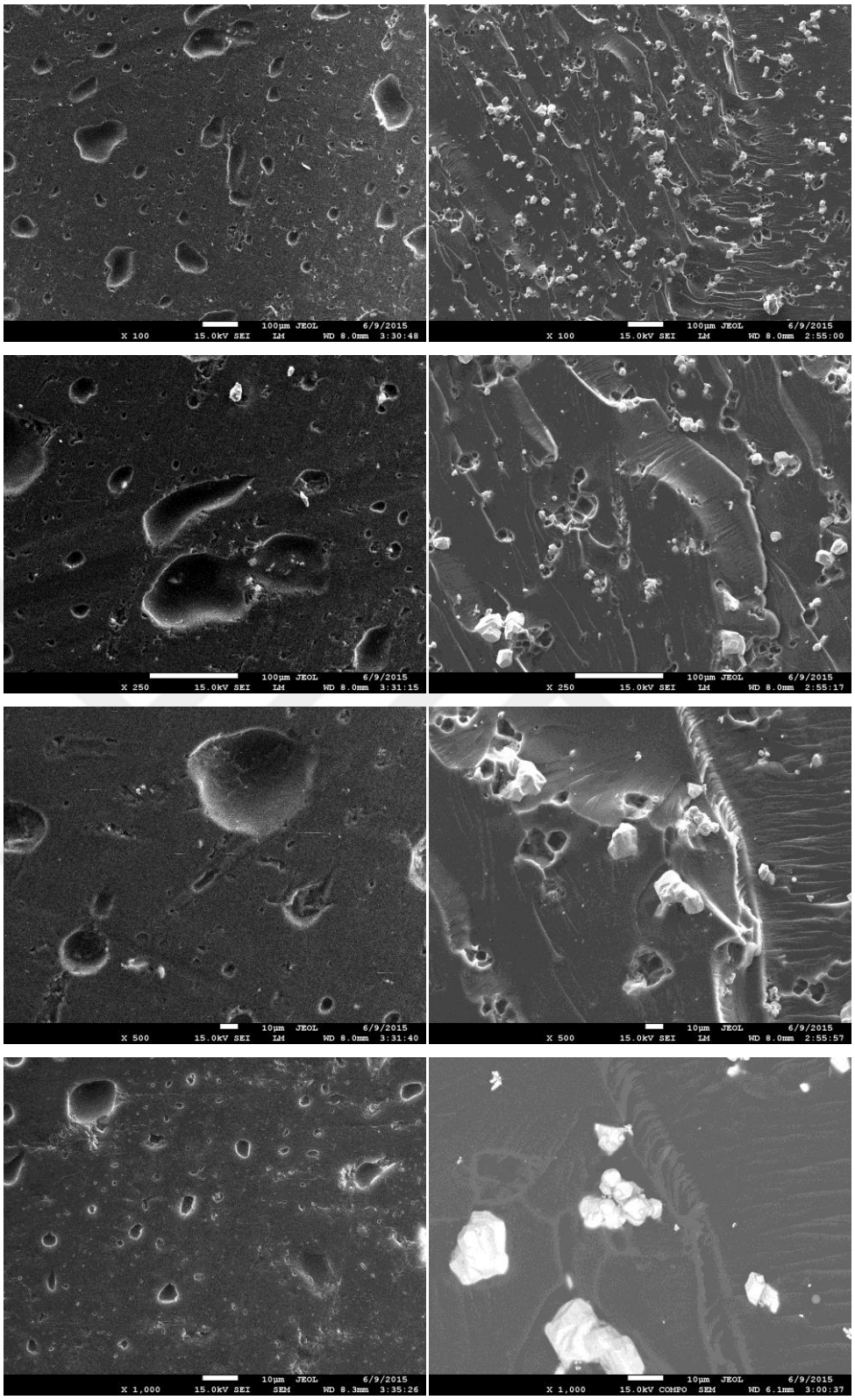
Şekil 4.25'de $RWO_3$60 kompozit örneklerinin kırık yüzey SEM fotoğraflarından da görüldüğü gibi üretilen kompozitlerde kırık yüzeylerde tane sökülmelerinden kaynaklanabilecek boşluklar gözlemlenmiştir. Parlak yüzey görüntülerden de takviye taneleri ile esas malzemenin homojen olarak kaynaştığı, takviye taneleri ile esas malzemesinin kolaylıkla ayırt edilebildiği görülmektedir.

Şekil 4.26'de RWB40 kompozit örneklerinin kırık yüzey SEM fotoğraflarından da görüldüğü gibi üretilen kompozitlerde tane sökülmelerinden kaynaklanabilecek boşluk gözlemlenmemiştir. Görüntülerden takviye taneleri ile esas malzemenin homojen olarak kaynaştığı, takviye taneleri ile esas malzemesinin kolaylıkla ayırt edilebildiği görülmektedir.

Şekil 4.27'de RWB50 kompozit örneklerinin kırık yüzey SEM fotoğraflarında üretilen kompozitlerde tane sökülmelerinden kaynaklanabilecek boşluklar gözlemlenmemekle beraber parlak yüzey fotoğraflarında yüzey parlatılması sırasında oluştuğu düşünülen boşluklar görülmüştür. Görüntülerden takviye taneleri ile esas malzemenin homojen olarak kaynaştığı, takviye taneleri ile esas malzemesinin kolaylıkla ayırt edilebildiği görülmektedir.

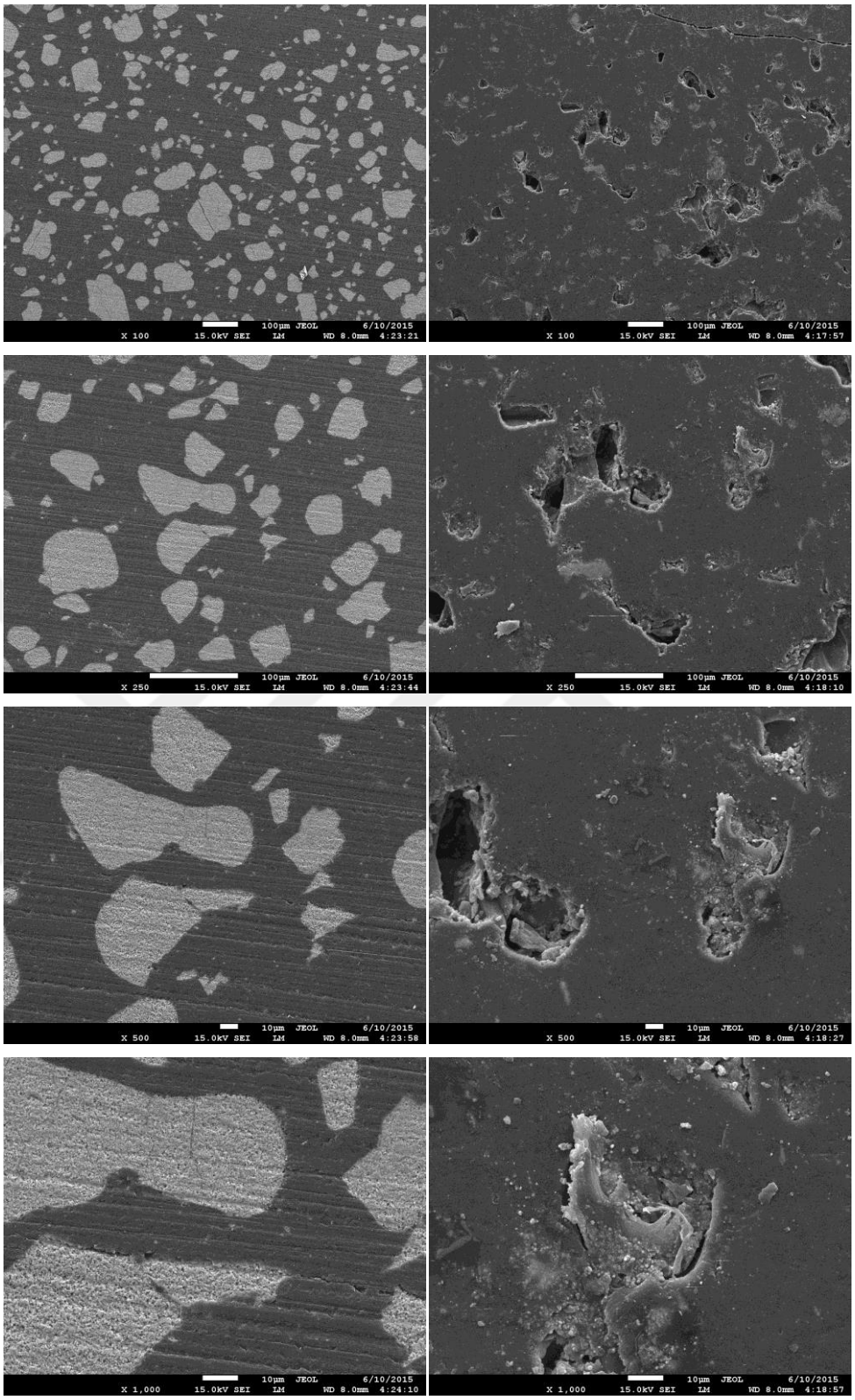
Şekil 4.28'de RWB60 kompozit örneklerinin kırık yüzey SEM fotoğraflarından da görüldüğü gibi üretilen kompozitlerde tane sökülmelerinden kaynaklanabilecek boşluk gözlemlenmemiştir. Parlak yüzey fotoğraflarında ise takviye taneleri ile esas malzemesinin kolaylıkla ayırt edilebildiği, takviye taneleri ile esas malzemenin homojen olarak kaynaştığı görülmektedir.

Şekil 4.29'da RWC50 kompozit örneklerinin kırık yüzey SEM fotoğraflarında tane sökülmelerinden kaynaklanabilecek boşluk gözlemlenmemiştir. Parlak yüzey fotoğraflarında ise takviye taneleri ile esas malzemesinin kolaylıkla ayırt edilebildiği, takviye taneleri ile esas malzemenin homojen olarak kaynaştığı görülmektedir.



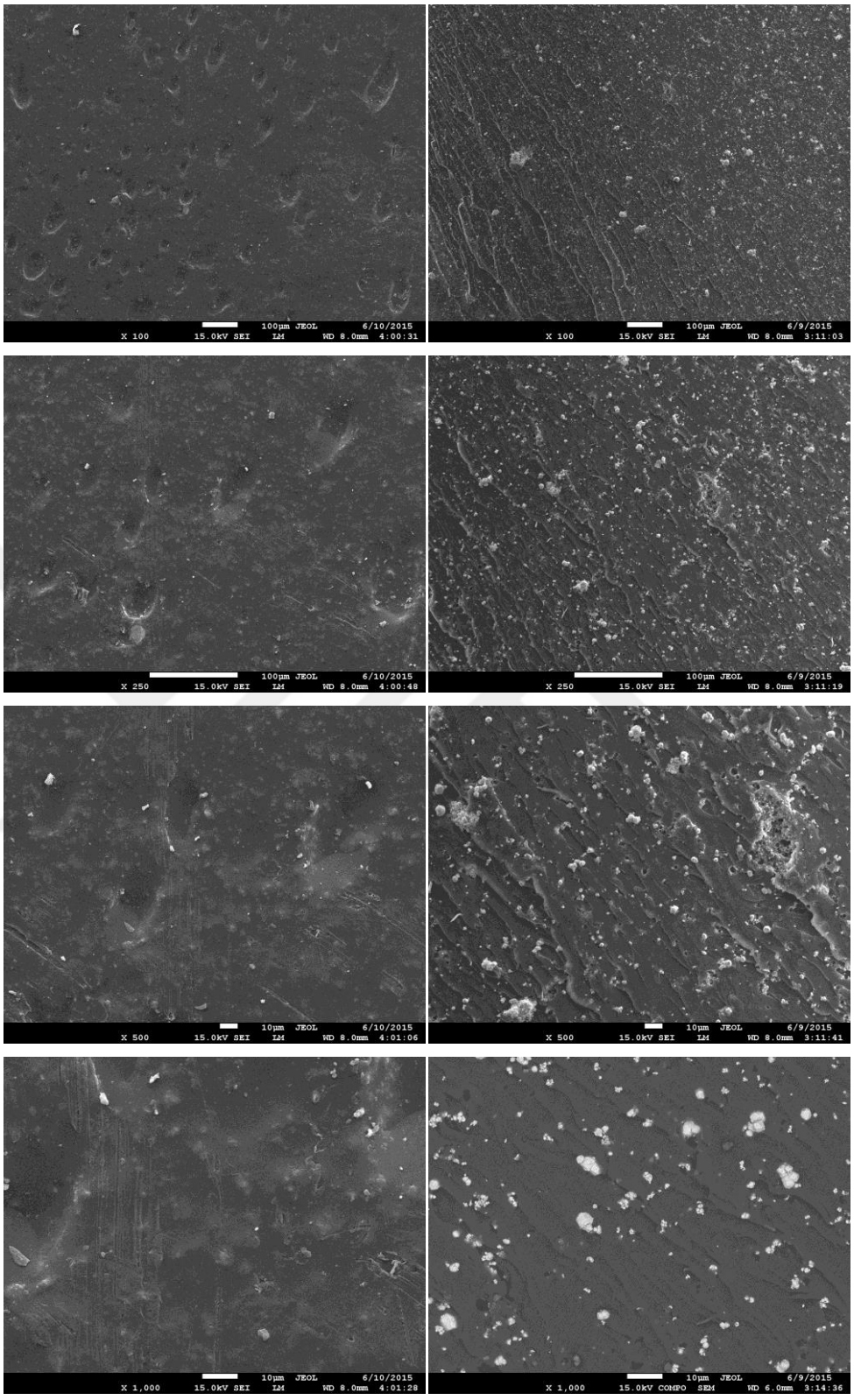
(A) (B)

Şekil 4.24. 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında RW60 metal kompozitinin (A) parlak yüzey ve (B) kırık yüzey SEM görüntüleri



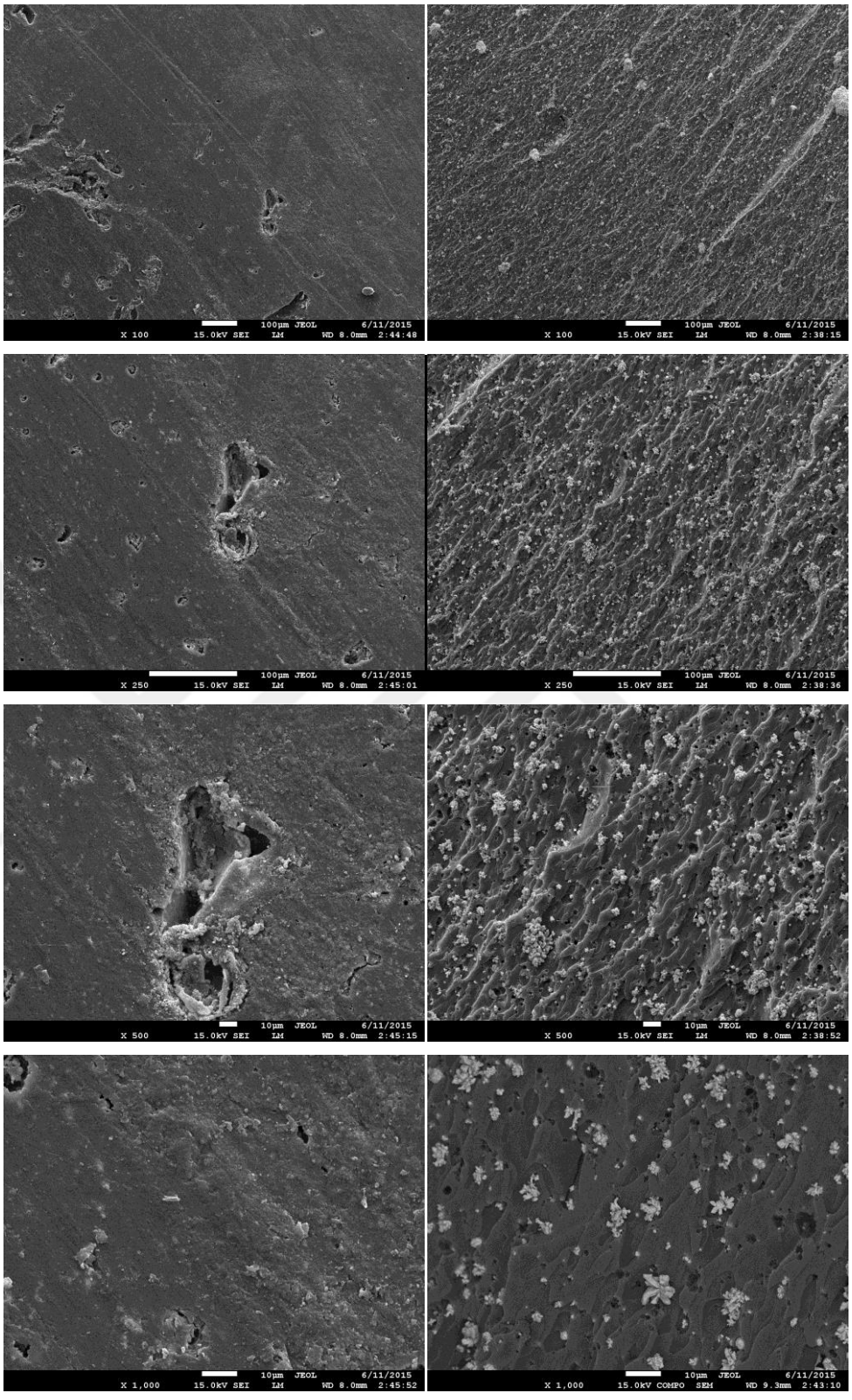
(B) (B)

Şekil 4.25. 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında $RWO_3$60 kompozitinin (A) parlak yüzey ve (B) kırık yüzey SEM görüntüleri



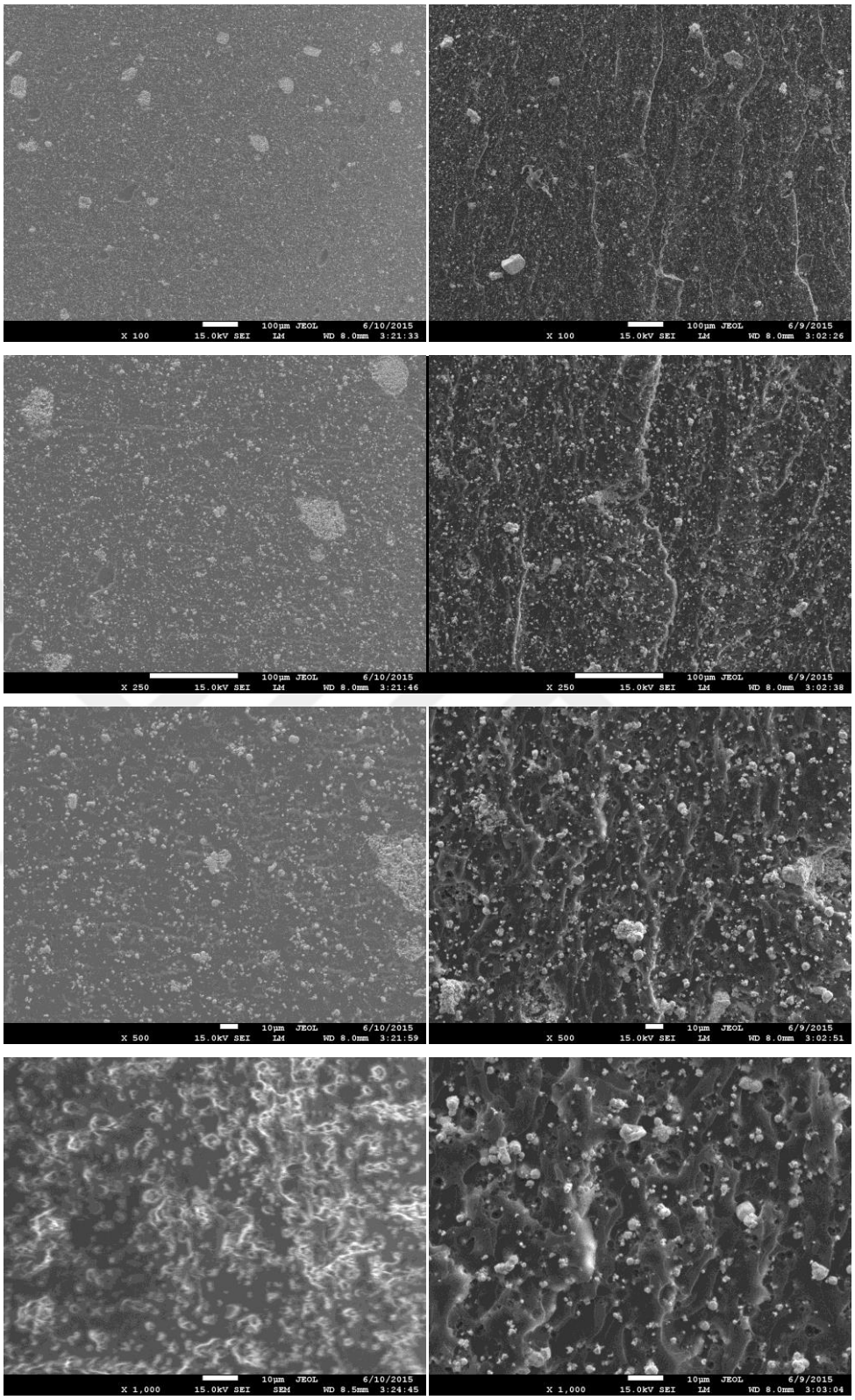
(A) (B)

Şekil 4.26. 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında RWB40 kompozitinin (A) parlak yüzey ve (B) kırık yüzey SEM görüntüleri



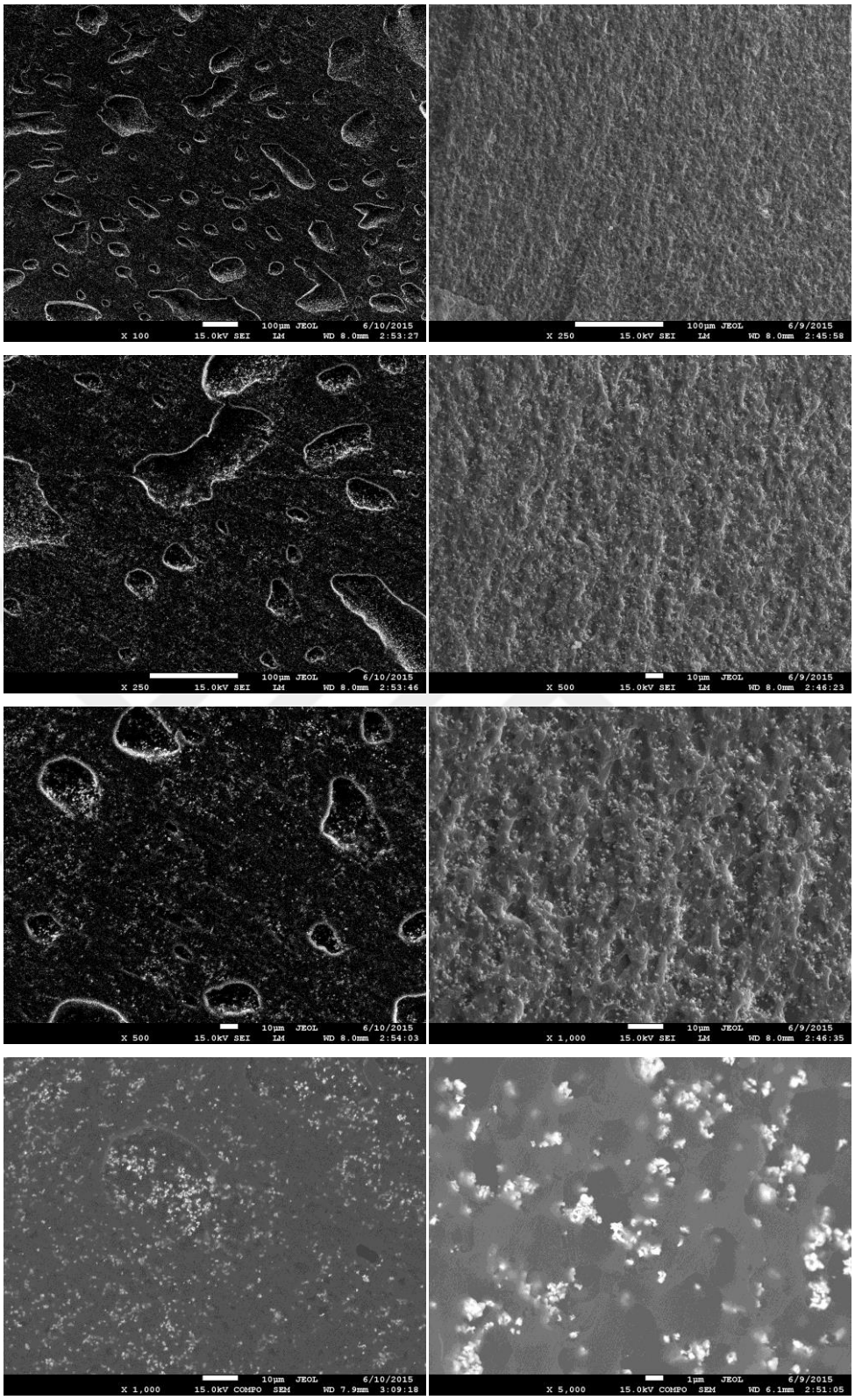
(A) (B)

Şekil 4.27. 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında RWB50 kompozitinin (A) parlak yüzey ve (B) kırık yüzey SEM görüntüleri



(A) (B)

Şekil 4.28. 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında RWB60 kompozitinin (A) parlak yüzey ve (B) kırık yüzey SEM görüntüleri

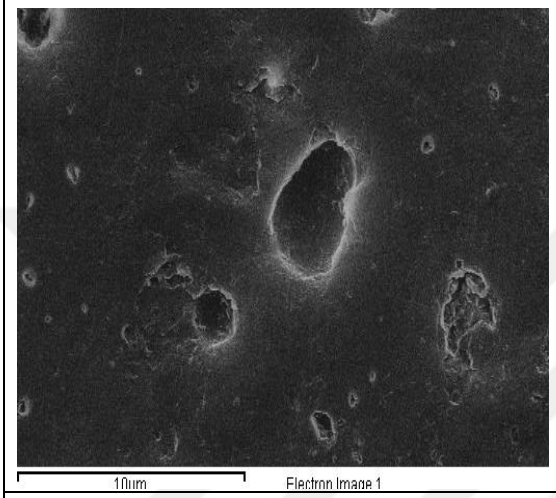


(A) (B)

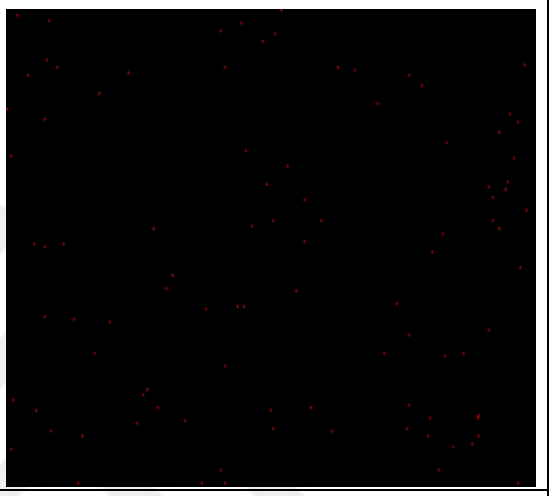
Şekil 4.29. (A) parlak yüzey 100X, 250X, 500X ve 1000X büyütme oranlarında ve (B) kırık yüzey 250X, 500X, 1000X ve 5000X büyütme oranlarında RWC50 kompozitinin SEM görüntüleri

4.4.1.3. EDS karakterizasyonu

EDS, uygun standartlar kullanılarak 1-2 mikronluk örnek kalınlığındaki elementel bileşimi nitel ve nicel olarak veren bir yöntemdir. Örneklerimizin SEM analizleri yapıldıktan sonar EDS spektrumları alınmış ve elementel bileşim ile homojenliğin kontrol edilmesi için elementel haritaları çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.30-33'de verilmiştir.

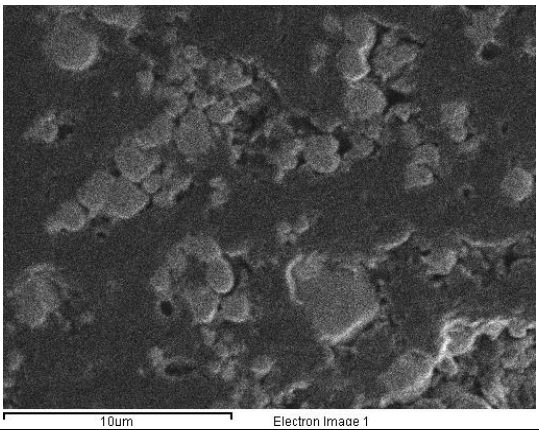


Element haritası çıkarılan W60kompozit yüzeyi

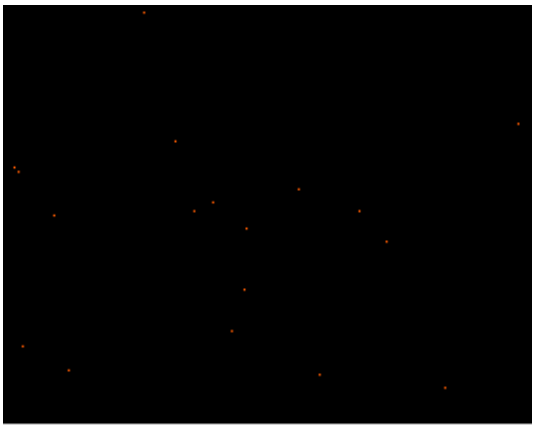


W-Lα1

Şekil 4.30. W60 kompoziti için EDS elemental harita

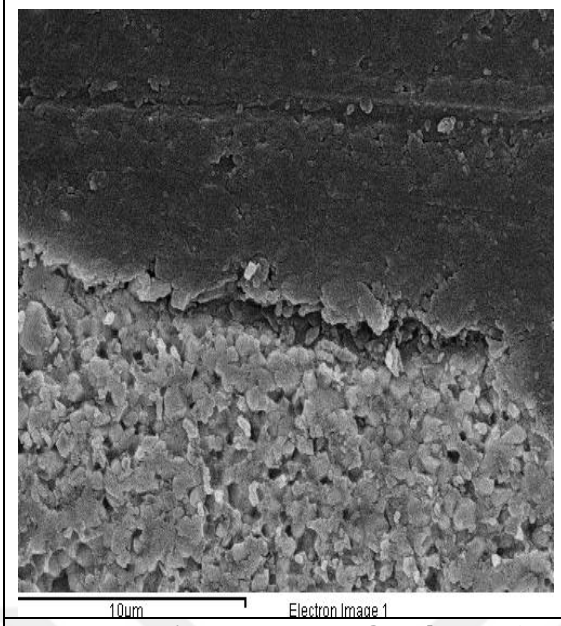


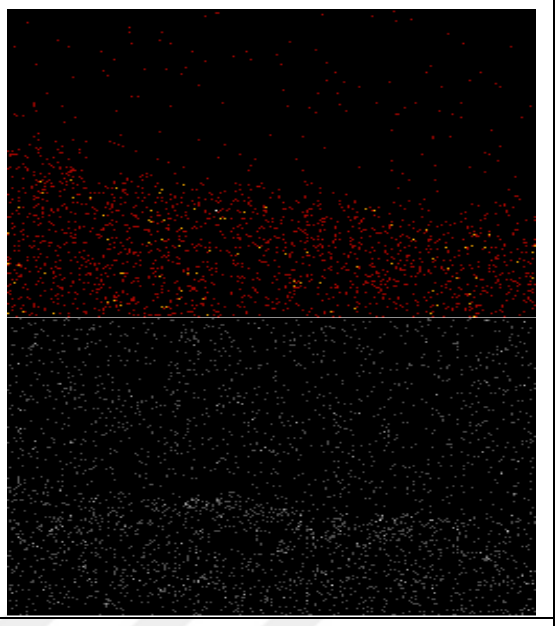
Element haritası çıkarılan WB60 kompozit yüzeyi



W-Lα1

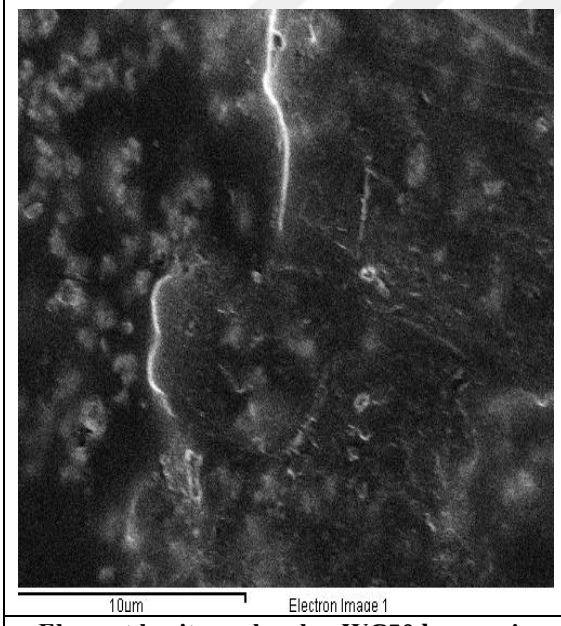
Şekil 4.31. WB60 kompoziti için EDS elementel harita

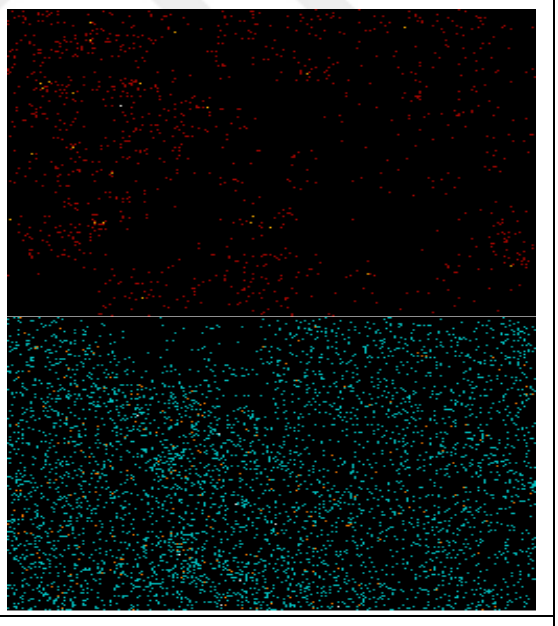




Element haritası çıkarılan $WO_3$60 kompozit yüzeyi	W-Lα1ve O-Kα1

Şekil 4.32. $WO_3$60 kompoziti için EDS elemental harita





Element haritası çıkarılan WC50 kompozit yüzeyi	W-Lα1ve O-Kα1

Şekil 4.33. WC50 kompoziti için EDS elemental harita

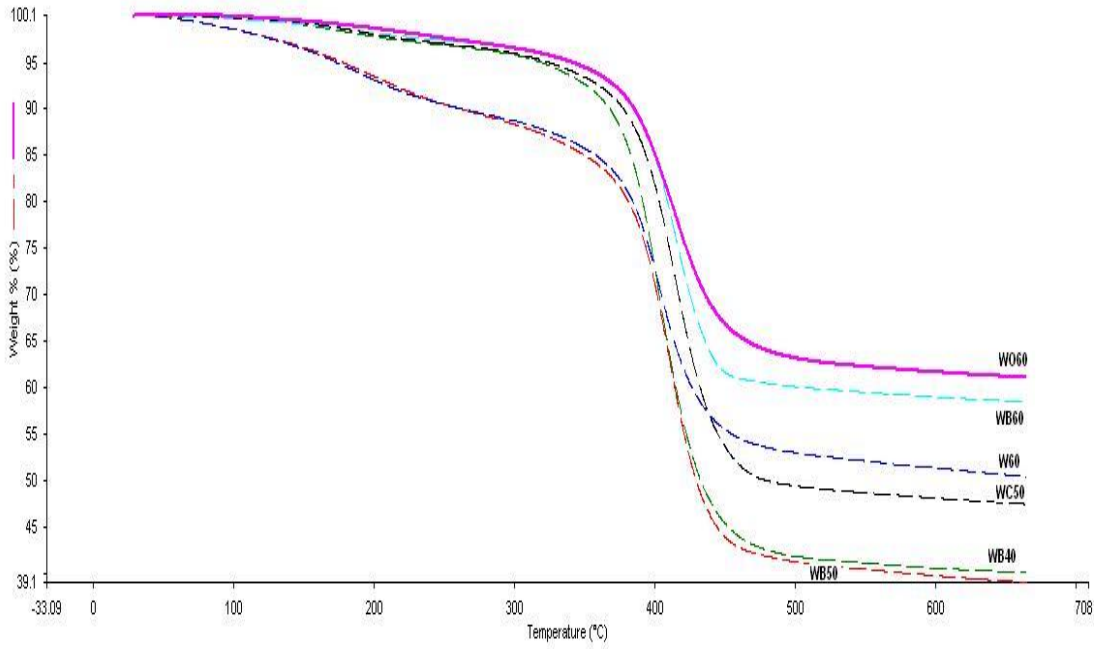
Kompozit yapılarda volfram ve oksijen (sırasıyla Şekil 4.30, 4.32 ve 4.33) net olarak görünürken bor elementi gözlenememiştir (Şekil 4.31). Haritalandırma işlemlerinden görüleceği gibi volfram ve oksijen elementleri oldukça homojen şekilde dağılmıştır.

4.4.2. Isıl karakterizasyon

4.4.2.1. TGA karakterizasyonu

Farklı takviye oranlarında hazırlanan saf volfram, volfram (VI) oksit, volfram bor ve volfram karbür kompozitlerin ısıl karakterizasyonu için öncelikle kompozitlerin termal kararlılığı, termal bozunma esnasında oluşabilecek herhangi bir ara maddenin termal kararlılığı, kalıntı miktarı ve kompozit geçiş sıcaklıkları hakkında bilgi edinilmesi amacıyla termal gravimetrik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonunda elde edilen termogramlar Şekil 4.34'de gösterilmiştir.

Analizler için Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Kimya Bölümü'nde bulunan termogravimetrik analiz (TGA) cihazı (Perkin Elmer-TGA4000) kullanılmış ve analizler 30-700^{o}C sıcaklık aralığı için 10^{o}C/dk sıcaklık artışı ile azot ortamında gerçekleştirilmiştir.



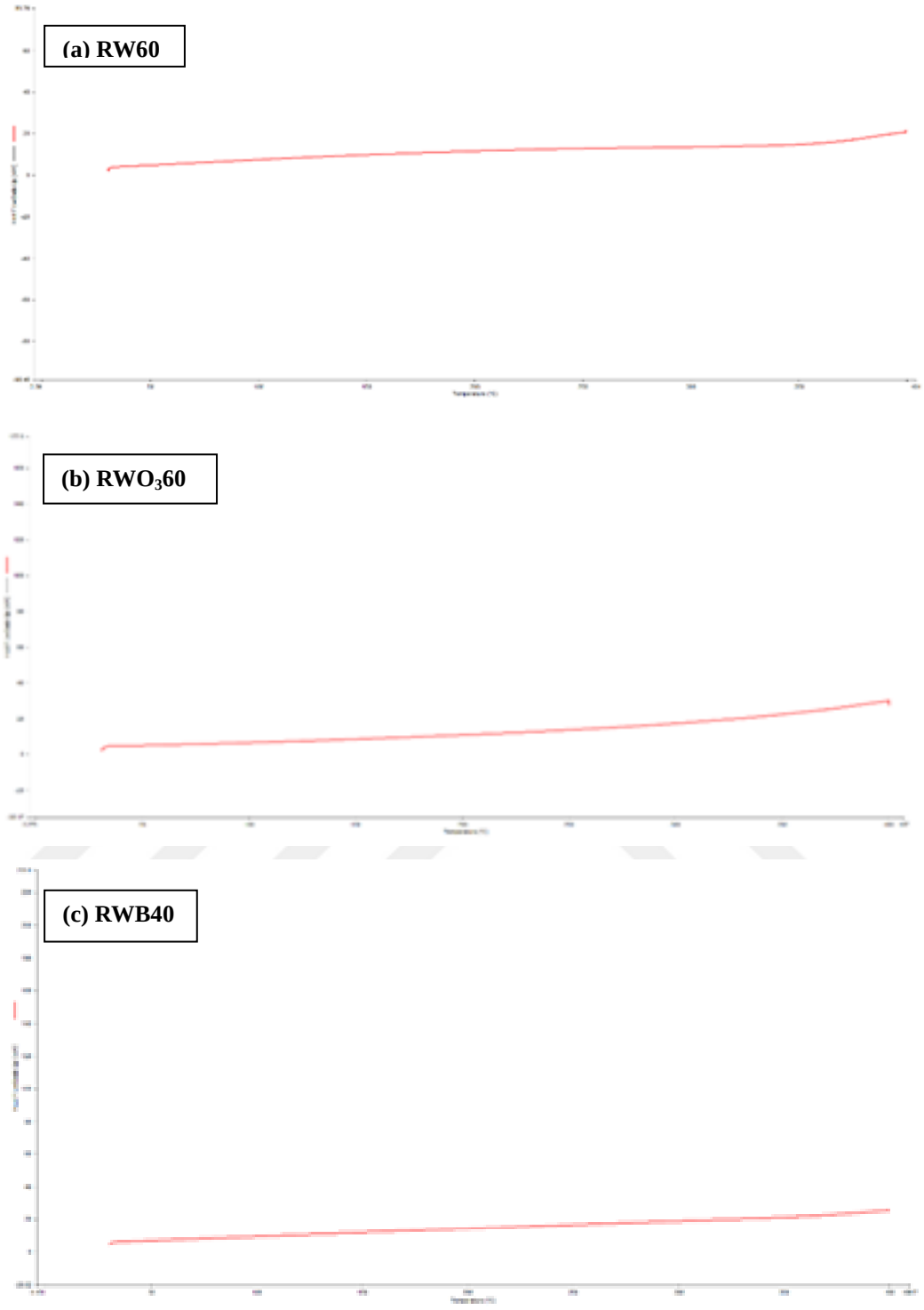
Şekil 4.34. RW60, RWO$_3$60, RWB40, RWB50, RWB60 ve RWC50 kompozit malzemelerin TGA termogramları

Şekil 4.34'de görüldüğü gibi farklı volfram tuzları ile hazırlanan kompozit malzemelerin termogramları benzer özellikler göstermiştir. Bu durum kullanılan takviyelerin tip ve oranlarının kompozitin termal bozunmasını etkilemediği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Tüm kompozitler 100^{o}C'ye kadar yüksek termal kararlılık gösterirken en keskin kütle kaybı kompozit esası polyesterin de bozunma sıcaklığı olan 300-500^{o}C sıcaklık aralığında gözlenmiştir. Şekilde, %60 takviyeli volfram bor, %60 takviyeli volfram (VI) oksit, %50 takviyeli volfram karbür kompozitleri tek basamaklı termal bozunma özelliği gösterirken, %60 takviyeli volfram, %40 ve %50 takviyeli volfram bor kompozitlerinde iki basamaklı bozunma eğrisi elde edilmiştir. İki basamaklı bozunma eğrisinin malzemelerin bünyelerinde bulunan termal kararlılığı düşük safsızlıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca %60 takviyeli volframve %50 takviyeli volfram bor kompozitlerinde kalıntı miktarının olması gerekenden daha az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni Şekil 4.34'de de görüldüğü gibi bu kompozit malzemelerde kurutmanın tam olarak gerçekleşmemesi sonucu bir miktar nemin kalmasıdır.

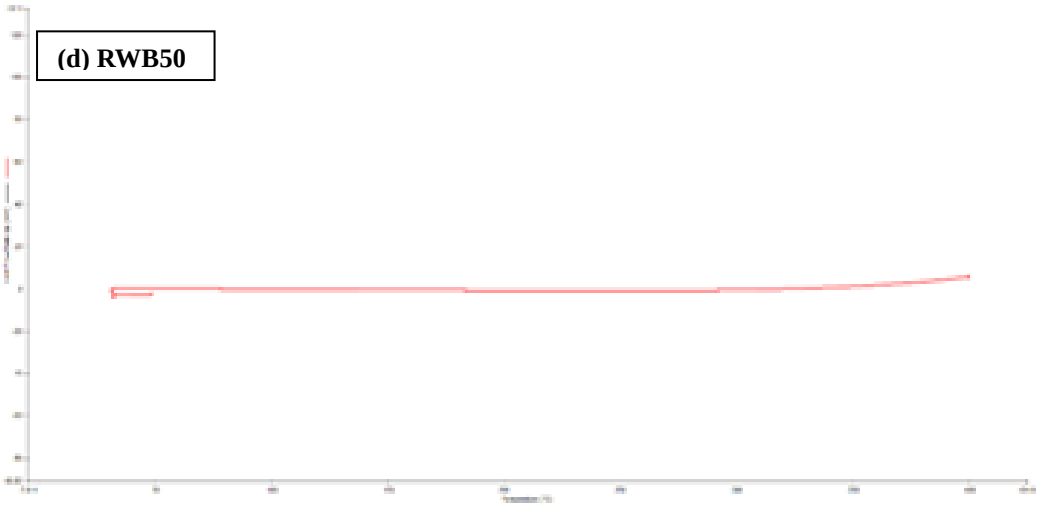
Sonuç olarak, üretilen kompozitlerin 100^{o}C'ye sadece <%0,5 bir termal bozunmaya uğradığı ancak 100^{o}C'den sonra kompozit esası olan reçinenin bozunmaya başladığı ve 300^{o}C'den sonra hızlı bir termal reçine bozunmasının gerçekleştiği anlaşılmıştır. Bu durumda kompozitlerin maksimum çalışma sıcaklığı 100^{o}C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklıklar İEMR zırhlarının kullanım alanları düşünüldüğünde (genellikle oda sıcaklığı) oldukça uygun bir aralıktır.

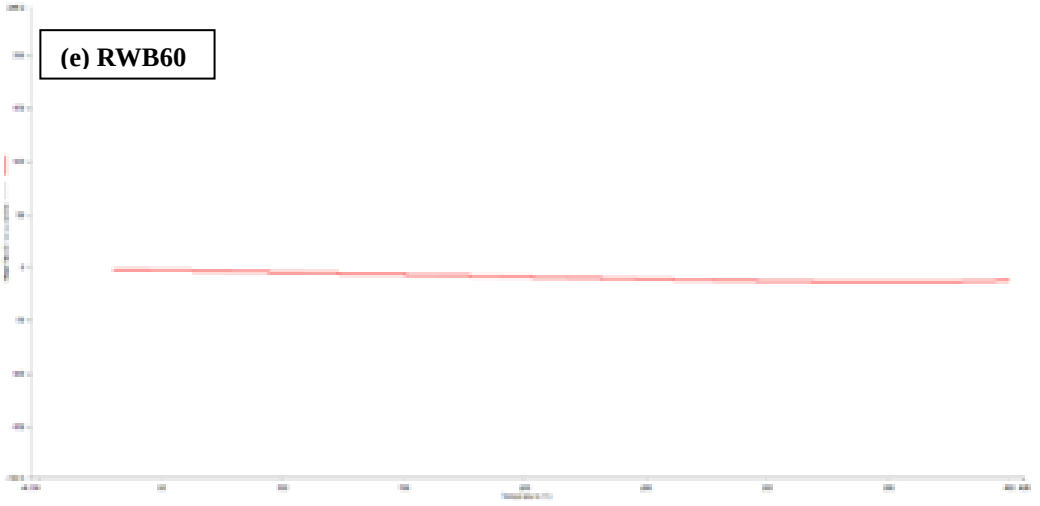
4.4.2.2. DSC karakterizasyonu

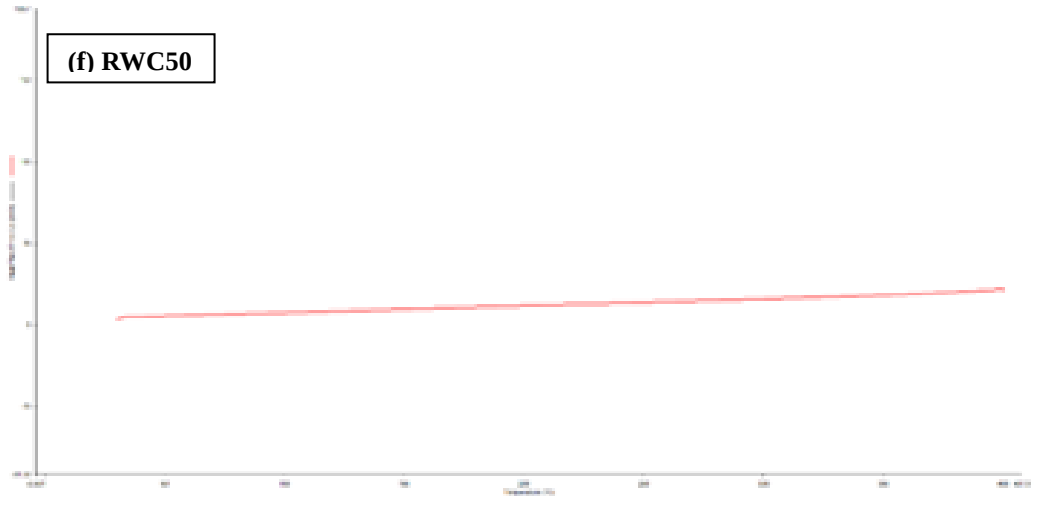
DSC karakterizasyonu ile örnek ve referans arasındaki ısı akışı farkından yararlanılarak elde edilen termogramlardan kompozitlerin olası mikrokristal oluşumları, erime noktası ve camsı geçiş sıcaklığı gibi termal geçişleri incelenmiştir. DSC analizleri 30-400^{o}C sıcaklık aralığı için 10^{o}C/dk sıcaklık artışı ile başta ve sonda beşer dakikalık izotermal süreçler bulundurularak gerçekleştirilmiştir. DSC analizleri sonunda %60 takviyeli volfram, %40, %50 ve %60 takviyeli volfram bor, %50 takviyeli volfram karbür ve %60 takviyeli volfram (VI) oksit kompozitleri için elde edilen DSC termogramları Şekil 4.35'de gösterilmiştir.



Şekil 4.35. DSC termogramları a) RW60; b) $RWO_3$60; c) RWB40; d) RWB50; e) RWB60; f) RWC50







Şekil 4.35. (devam)

Çalışmalarımızda kompozit esası olarak kullanılan polyester bir termosettir. Termosetleri termoplastiklerden ayıran en önemli özellikleri herhangi bir erime noktası ve camsı geçiş sıcaklığı göstermemesi, belli bir sıcaklığa kadar termal kararlılığını koruduktan sonra bozunmasıdır. Şekillerde görüldüğü gibi DSC termogramlarında herhangi bir faz değişimi sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı gözlenmemiştir. Sonuç olarak kompozit malzemelerimizde herhangi bir karakter değişiminin olmadığı gözlenmiştir.

5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada, kompozit malzeme esas maddesi olarak Polipol 381 kodlu izoftalik/NPG polyester, takviye malzemesi olarak da farklı oranlarda %99'luk saf volfram metali, volfram (VI) oksit, volfram bor ve volfram karbür kullanılarak optimum çalışma parametrelerinde polimer kompozit malzemeler hazırlanmıştır.

Çalışmamızda üretilen kompozit malzemelerin düşük, orta ve yüksek enerji seviyelerinde İEMR zayıflatma değerleri doğrusal, kütlesel ve teorik soğurma katsayılarının bulunmasıyla incelenmiştir. Elde edilen polimer kompozit malzemelerden kurşuna göre en yüksek oranda İEMR zayıflatma özelliğini düşük (0-400 keV), orta (400-1022 keV) ve yüksek enerji (>1022 keV) seviyelerinde RW60, $RWO_3$60, RWB60 ve RWC60 kompozitlerinin gösterdiği bulunmuştur. Bu kompozit malzemelerin kurşuna göre zayıflatma performansları düşük, orta ve yüksek enerji bölgelerinde sırasıyla %100, %74 ve %83 olarak bulunmuştur.

Üretilen polimerik kompozit malzemelerin kimyasal-yapısal karakterizasyon testi çalışmaları sonunda takviye malzemesinin, cins ve miktarına bağlı olmaksızın, polimer matris içinde tamamen fiziksel dağılıma uğradığı, herhangi bir kimyasal bağlanma veya yapı değişikliğinin olmadığı bulunmuştur.

Üretilen polimerik kompozit malzemelerin karakterizasyon testi çalışmalarında takviye malzemesinin cinsi ve oranlarındaki değişimin kompozit malzemenin kimyasal, yapısal ve ısıl karakterinde önemli değişikliklere yol açmadığı görülmüştür.

Kurşunun yoğunluğu üretilen kompozit malzemelere göre çok daha yüksektir. Bu nedenle de zırhlama çalışmalarında, yoğunluğu da dikkate alan kütlesel soğurma katsayıları önemlidir. Çalışmamızda üretilen kompozit malzemeler ve kurşunun enerji değerlerine göre kütlesel soğurma katsayıları incelendiğinde çalışmamızda üretilen kompozitlerin zırhlama malzemesi olarak kurşuna göre çok daha avantajlı olduğu bulunmuştur (Çizelge 5.1.).

Çizelge 5.1. Kompozit malzemeler ve kurşunun farklı enerjilerdeki kütlesel soğurma katsayıları

Enerji, keV	Kütlesel soğurma katsayısı, g/cm^2				
	Kurşun	**RW-60**	**RWO_3-60**	**RWB-60**	**RWC-60**
60	0,48	0,11	0,21	0,21	0,13
88	0,43	0,41	1,04	0,85	0,50
122	0,41	0,08	0,19	0,18	0,15
166	0,35	0,05	0,14	0,10	0,08
392	0,10	0,03	0,10	0,10	0,06
662	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01
1173	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1332	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
1836	0,03	0,02	0,05	0,05	0,03

KAYNAKLAR

Abdo, A.E., Kansouh W.A., Megahid, R.M. (2002) Investigation of radiationattenuation properties for barite concrete, *Japanese Journal of Applied Physics*, 41, 7512–7517.

Abdo, E.S., Ali M.A.M., Ismail M.R. (2003) Natural fibre high-density polyethylene and lead oxide composites for radiation shielding, *Radiation Physics and Chemistry*, 66, 185–195.

Abdul-Aziz, M.M., Badran A.S., Abdel-Hakem A.A., Healy F.M., Moustafa A.B. (1991) Styrene–butadiene rubber/lead oxide composites as gamma radiation shields, *Appl. Polym. Sci*. 42, 1073-1080.

Abdul-Aziz, M. M., Gawaily S. E. (1997) Thermal and mechanical properties of styrene-butadiene rubber/lead oxide composites as gamma-radiation shields, *Polym Degrad Stab.* 55, 269-274.

Ackland, G. (2010) Controlling Radiation Damage, *Science*, 327, 1587-1588.

Akkurt, I., Akyildirim H., Mavi B., Kilincarslan S., Basyigit C. (2010) Gamma ray shielding properties of concrete including barite. *Progress in Nuclear Energy*. 52, 620-623.

Akkurt, I., Akyildirim H., Mavi B., Kilincarslan S., Basyigit C. (2010) Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate, *Ann. Nucl. Energy*, 37, 910-914.

Akkurt, I., Basyigit C., Kilincarslan S. (2004) The photon attenuation coefficients of barite, marble and limra, *Annals of Nuclear Energy*, 31, 577-582.

Akkurt, I., Basyigit C., Kilincarslan S., Mavi B. (2005) The shielding of c-rays byconcretes produced with barite, *Progress in Nuclear Energy*, 46 (l), 1–11.

Akkurt, I., Basyigit C., Kilincarslan S., Mavi B., Akkurt A. (2006) Radiation shielding of concretes containing different aggregates, *Cement and Concrete Composites*, 28-2, 153-157.

Akkurt, I., Calık A., Akyıldırım H., Mavi B. (2008) The effect of boronizing on the radiation shielding properties of steel, *Z.Naturfors*, A63a, 445-447.

Anonim1, (2016) Tungsten Gamma Radiation Shielding, http://gamma-radiation-shielding.com. Erişim Tarihi: 04.04.2016.

Anonim2, (2013) Tungsten alloy material, E-Biz Center of China Tungsten Industry Association, http://www.tungstencopper.net/Tungsten-alloy-material/default.htm. Erişim Tarihi: 04.04.2016.

Anonim3, (2013) Tungsten alloy radiation shielding, E-Biz Center of China Tungsten Industry Association, http://www.tungstencopper.net/Tungsten-alloy-radiation-shielding/default.htm. Erişim Tarihi: 04.04.2016.

Archer, B.R. (2005) *Recent history of the shielding of medical x-ray imaging facilities*, Health Phys. 88, 579-586.

Aricasoy, O. (2006) *Kompozit Sektör Raporu*, İstanbul Ticaret Odası, Türkiye.

Attix, F.H. (1986) *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*, Wiley Interscience, New York, USA.

Ayçık, G.A. (2009) *Overview of the radioactive and nuclear agents in the environment*, New Techniques For The Detection of Nuclear and Radioactive Agents, Springer, The Netherland,

Ayçık, G.A., Demirel H. (2003) *Taek Hizmetiçi Eğitim Notları*, Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Ankara

Azman, N.Z., Siddiqui S.A., Ionescu M., Low I.M. (2012) Synthesis and characterisation of ion-implanted epoxy composites for X-ray shielding, *Nucl. Instrum. Methods Phys*. Res. Sec. B, 287, 120–123.

Azman, N.Z., Siddiqui S.A., Ionescu M., Low I.M. (2013) A comparative study of X-ray shielding capability in ion-implanted acrylic and glass, *Radiation Physics and Chemistry* 85, 102–106.

Bai, X.M., Voter A.F., Hoagland R.G., Nastasi M., Uberuaga B.P. (2010) Efficient annealing of radiation damage near grain boundaries via interstitial emission, *Science*, 327, 1631-1634.

Bashter, I.I. (1997) Calculation of radiation attenuation coefficients for shielding concretes, *Annals of Nuclear Energy*, 24 (17), 1389–1401.

Binici, H., Küçükönder A., Sevinç A.H., Eken M., Kara M. (2013) Hafif ve Ağır Malzemelerin Isı, Ses ve Radyasyon Yalıtım Özelliklerinin Araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (2), 113-123s.

Calzada, E., Grünauer F., Schillinger B., Türck H. (2011) Reusable shielding material for neutron and gamma radiation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A 65, 77–80.

Cheng, Q., Qu G., Zhu Q., Zhang C., Liu Q. (2007) Anti-radiative epoxy resin lawn pigment. CN:1854218-A. Derwent Prımary Accessıon Number: 2007-242002.

Craft, A.E., King J.C. (2013) *Radiation options for thr affordable fission surface system, mining and nuclear engineering department*, Missouri University of Science and Technology, kingjc@mst.edu.

Çalık, A., Akkurt A., Akyıldırım H. (2009) *Borun radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılmasının araştırılması*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye.

Demir, F., Budak G., Sahin R., Karabulut A., Oltulu M., Serifoglu K., Un A. (2010) Radiation transmission of heavy-weight and normal-weight concretes containing colemanite for 6 MV and 18 MV X-rays using linear accelerator, *Annals of Nuclear Energy* 37, 339–344.

Dresner, L. (1965) *Principles of radiation protection engineering*, McGraw-Hill Book Company Inc. New York, USA.

Egerton, R. F. (2005) Physicalprinciples of electronmicroscopy: anintroductionto TEM, SEM, and AEM. Springer, 202.

El-Enany, N., El-Kameesy, S.U., Miligy, Z., Ayad, M.A., Al-Kanawi., A.A. (1994) Practical study fort he development of gamma rays shielding materials, *International Journal of Environmental Studies*, 46, 191-197.

Facure, A., Silva A.X. (2007) The use of high-density concretes in radiotherapytreatment room design, *Applied Radiation and Isotopes*, 65 (9), 1023–1028.

Fessenden, R.J, Fessenden J.S, Logue M.W. (2011) *Organik Kimya*, Güneş Kitap, 1170s.

Gwally, S.E., Badawy M.M., Hassan H.H., Madani M. (2002) Natural rubber composites as thermal neutron radiation shields I.B4C/NR composites, *Polym.Test*. 21 (2), 129.

Gwaily, S.E., Badawy M.M., Hassan H.H., Madani M. (2003) Influence of thermal aging on crosslinking density of boron carbide/natural rubber composites, *Polym.Test*. 22 (1), 3.

Gwaily, S.E., Madani, M. (2002) Lead-natural rubber composites as gamma radiation shields. II: High concentration, Polymer Composites, 23, 4.

H.A. Batal, A.M. Abdelghany, F.H. ElBatal, F.M. EzzElDin, (2012) Gamma rays interactions with WO3-doped lead borate glasses, *Materials Chemistry and Physics*, 134 542-548.

Harrish, V., Nagaiah N., Niranjana Prabhu T., Varughese K.T. (2009) Preparation and characterization of lead monoxide filled unsaturated polyester based polymer composites for gamma radiation shielding applications, *Journal of Applied Polymer Science*, 112, 1503-1508.

Hansmann, H. (2003) Compendium-Composites; ASM Hand Bookon Polyester Resins: ASM International, Ohio, USA.

Hussain, R., Haq Z. U., Mohammad D. (1997) A study of the shielding properties of poly ethylene glycol-lead oxide composite, *J Islamic Acad Sci*, 10 (3), 81-84.

IAEA, (1996) *Radiation Safety*, IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E.

Jose, P.C., Facundo B., Miguel A.S., Jose´ L.L. (2000) Dosimetric characteristics of back scattered electrons in lead, Phys Med Biol 45, 1841–9.

Kim, M., Kim K., Lee C.Y., Joo J., Cho S.J., Yoon H.S., Pejakovic´ D.A., Yoo J.W., Epstein A.J. (2004) Electrical conductivity and electromagnetic interference shielding of multiwalled carbon nanotube composites containing Fe catalyst, *Appl. Phys. Lett*. 84, 589-591.

Kılınçarslan, Ş., Başyiğit C., Molla T., Sancar S. (2011) Radyoaktif Işınlardan Korunaklı Ekolojik Yapılar, *Politeknik Dergisi*, Cilt:14 Sayı: 2, 93-99s.

Kobayashi, S., Hosoda N., Takashima R. (1997) tungsten alloys as radiation protection materials. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A 390, 426-430.

Krane, K.S. (2002) *Nükleer Fizik 2.Cilt*, Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 839s.

Krane, K.S. (2001) *Nükleer Fizik 1.Cilt*, Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 418s.

Lee, L.W. (1987) *Shielding analysis of a small compact space nuclear reactor*, air force weapons laboratory, Kirtland Air Force Base, NM, AFWL-TR-87-94.

Limkitjaroenporn, P., Kaewkhao, J., Limsuwan, P., Chewpraditkul, W. (2011) Physical, optical, structural and gamma-ray shielding properties of lead sodium borate glasses, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 72, 245-251.

Lines, M. G. J. (2008) Nanomaterials for practical functional uses , Alloys Comp. 449, 242.

McCaffrey, J.P., Mainegra-Hing E., Shen H. (2009) Optimizing non-Pb radiation shielding materials using bilayers, *Med. Phys*. 2009, 36, 5586-94.

Milewski, J.V. (1987) Handbook of Fillers for Plastics. VanNostrand Reinhold, London.

Mheemeed, A.K., Hasan, H.I., Al-Jomaily, F.M. (2011) Gamma-ray absorption using rubber-lead mixtures as radiation protection shields, Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry, 291, 653-659.

Muthusamy, S., Chung D.D.L. (2010) Carbon-fiber cement-based materials for electromagnetic shielding, *ACI Materials Journal Technical Paper*, Title no. 107-M68.

Nambiar, S., Osei E.K., Yeow J.T.W. (2013) Polymer nanocomposite-based shielding against diagnostic X-rays, *J. Appl. Polym. Sci*. 127, 4939–4946.

NCRP, (2005), National Council on Radiation Protection Report No. 151 - Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, ISBN-13: 978-0-929600-87.

Nita, N., Schaeublin R., Victoria M., Valiev R.Z. (2005) Effects of irradiation on the microstructure and mechanical properties of nanostructured materials, Philos. Mag. 85, 723-735.

Niu, Y. (2008) Electromagnetic interference shielding with polyaniline nanofibers composite coatings, *Polym. Eng. Sci*. 48, 355-359.

NIST, (2016) *XCOM: Photon Cross Sections Database* http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/Text/intro.html. Erişim Tarihi: 04.04.2016.

Orlov, V.K., Sergeev, V.M., Noskov, V.V., Petrov, D.D., Visik, A.M., Maslov, A.A. (2004) Alloy of depleted uranium: material for gamma-protection of shipment packing system, *Metal Science and Heat Treatment*, 46, 479-483.

Özkan, E. (2011) *FT-IR Spektroskopisi Kullanarak Tahribatsız Tereyağı Kalitesi Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 78.

Park, K. S., Kim H.G., Kim Y. H., Park C. H., Kim K. D. (2011) The prepation and characterization of NaWO3 particles for heat shielding by Taguchi optimization method, *Chemical Engineering Research and Desing*, 89, 2389-2395.

Pavlenko, V. I., Lipkanskii V. M., Yastrebinskii R. N. (2004) Calculations of the passage of gamma-quanta through a polymer radioation-protective composite, *J Eng Phys Thermophys*, 77, 1, 11-14.

Plionis, A.A., Garcia S.R., Gonzales E.R., Porterfield D.R., Peterson D.S. (2009) Replacement of lead bricks with non-hazardous polymer-bismuth for low-energy gamma shielding, *J Radioanal Nucl Chem*, 282, 239–242.

Poliya, Poliester ürün teknik bülteni, (2012) doc.cod UTB Polives ver 2012-Polipol Rv. Ver.

Poole, C.P., Owens, F.J. (2003) *Introduction to Nanotechnology*, Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey, USA.

Reyes, J., Albone C., Davidson E., Doleo R., Cyonzalez J., Tdrago M., Chipara M. (2000) Effect of gamma irradiation on polypropylene, polypropylene plus high-density polyethelene and density polyethylene plus wood flour, *Mater. Res. Innovation*, 4, 294–300.

Rodriguez, R.J., Medrano A., Garcia J.A., Fuentes G.G., Martinez R., Puertolas J.A. (2007) Improvement of surface mechanical properties of polymers by helium ion implantation, Surf.Coat.Technol, 201, 8146–8149.

Samaras, M., Derlet P.M., Van Swygenhoven H., Victoria M. (2003) Radiation damage near grain boundaries, Philos. Mag, 83, 3599.

Saçak, M. (2012) *Polimer Kimyası*, Gazi Kitapevi, Ankara, Türkiye, 568s.

Singh, K.J., Singh, N., Kaundal, R.S., Singh, K. (2008) Gamma-ray shielding and structural properties of PbO-SiO2 glasses, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 266, 944-948.

Sivaraja, M., Chung, D.D.L. (2010) Carbon-fiber cement based materials for electromagnetic shielding, *ACI Materials Journal*, 107, 602-610.

Skoog, D.A., West, D.M. (1981) *Principles of Instrumental Analysis II. Ed.* Thermal Processing Technology CenterIllinois Institute of Technology.

Şahin, Y. (2015) *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Kitapevi, Ankara, Türkiye, 436s.

TAEK, (2016) Öğrenci Köşesi, *Bölüm 3- Radyasyon "Radyasyon ve Biz"* http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r08.htm. Erişim Tarihi: 04.04.2016.

Tajiri, M., Sunaoka M., Fukumura A., Endo M. (2004) A new radiation shielding block material for radiation therapy, Med Phys. 31, 3022–3.

Vikipedi1, (2016) *Kurşun*, https://tr.wikipedia.org/wiki/Kur%C5%9Fun. Erişim Tarihi: 04.04.2016.

Vikipedi2, (2016) *Volfram*, https://tr.wikipedia.org/wiki/Volfram. Erişim Tarihi: 04.04.2016.

Yalçın, H., Gürü M. (2006) *Malzeme Bilgisi*, Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 492s.

Yue, K., Luo W., Dong X., Wang C., Wu G., Jiang M., Zha Y. (2009) A new lead-free radiation shielding material for radiotherapy, Radiat. Protect. Dosimetry, 133, 256-260.

Yvan, L., Pierre P. (1965) Pneumatiques, Pat. FR 1, 384, 603, GB 1034533.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : Ömer CAN

Uyruk : T.C.

Doğum Yeri ve Tarihi: Sakarya - 10.08.1990

Medeni Hali : Bekar

Telefon : 05393846824

E-posta : chmstrycan@gmail.com

Eğitim

Lise : Bandırma Kemal Pireci Lisesi, 2004-2007.

Lisans : Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi Kimya Bölümü, 2007-2012.

Y. Lisans : Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Anorganik Kimya, 2012- devam ediyor

Yabancı dil(ler)

İngilizce	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma		X	
Konuşma		X	
Anlama			X
Okuma		X	

Sertifikalar

1. ISO 9001:2008 Kalite Yönetim Sistemi (2013)

2. OHSAS 18001:2007 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi (2013)

3. ISO 14001:2004 Çevre Yönetim Sistemi (2013)

4. Microsoft Office, Web Sayfası Tasarımı, Eğitim Yazılımları, İstatistik Paketleri ve Çoklu Ortam Uygulamaları yeterlilik Sertifikası (2012)

Hobiler

1. Basketbol oynamak
2. Yüzmek
3. Kitap okumak