



**SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ AZ91 MATRİSLİ
PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE
RADYOAKTİF ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Özlem MERT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Özlem MERT

09/01/2023

SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ AZ91 MATRİSLİ PARÇACIK
TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE RADYOAKTİF ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Özlem MERT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2023

ÖZET

Bu tez çalışmasında AZ91 matrisli B₄C seramik takviyeli metal matrisli kompozit numuneler ve takviye elemanı içermeyen AZ91 numune sıcak presleme ve toz metalurjisi yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Her bir numune için ağırlıkça %10, %15, %20 B₄C seramik takviyesi AZ91 matrise eklenerek 30 dakika boyunca karıştırıcı kullanılarak karıştırılmıştır. Böylece, preslenmiş ve toz metal örnekler elde edilmiştir. Üretilen numunelerin yapısal ve radyoaktif özellikleri incelenmiştir. Yoğunluk, çapraz kırılma dayanımı, sertlik değerleri ölçülmüş, EDS, SEM, optik görüntüleri analiz edilmiştir. Tüm numunelerin Phyx-Psd programı kullanılarak teorik radyoaktivite özellikleri ile Co-60 ve Cs-137 radyasyon kaynakları karşısındaki radyoaktif özellikleri analiz edilmiştir. Elde edilen veriler birbiriyle karşılaştırılmış ve deneysel veriler ile teorik verilen birbirini desteklediği görülmüştür. Ayrıca ilave edilen B₄C oranı arttıkça kompozit numunelerin hem mekanik hem de zırhlama özelliklerinin arttığı görülmüştür.

Bilim Kodu	:	93103
Anahtar Kelimeler	:	AZ91,B ₄ C, kompozit, radyasyon zırhlaması
Sayfa Adedi	:	79
Danışman	:	Doç. Dr. Uğur GÖKMEN

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND RADIOACTIVE PROPERTIES OF
AZ91 MATRIX PARTICLE REINFORCED COMPOSITES MANUFACTURED BY
HOT PRESSING METHOD

(M. Sc. Thesis)

Özlem MERT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

In this thesis, B₄C ceramic reinforced metal matrix composite samples with AZ91 matrix and AZ91 sample without reinforcement elements were produced by using hot pressing and powder metallurgy methods. For each sample, 10%, 15%, 20% by weight B₄C ceramic reinforcement was added to AZ91 powder and mixed one by one for 30 minutes in a 3D mixer. Powder metal block samples were obtained by pressing the mixed powders under uniaxial pressure. Mechanical and radioactive properties of the produced samples were investigated. Among the investigated properties, density, cross fracture strength, hardness, EDS, SEM, optical images were analyzed. Theoretical radioactivity properties of all samples and their radioactive properties against Co-60 and Cs-137 radiation sources were investigated using the Phyx-Psd program. It has been seen that the experimental and theoretical data support each other. It was observed that both the mechanical and armoring properties of the composite samples increased as the amount of B₄C added increased.

Science Code : 93103
Key Words : AZ91, B₄C, composite, radiation shielding
Page Number : 79
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Uğur GÖKMEN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca mesleki bilgi birikimi ile yardımlarını benden esirgemeyen kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Uğur GÖKMEN'e, radyasyon alanındaki bilgi ve tecrübeleri ile bilgi daracığımı aydınlatan çok değerli hocam Prof. Dr. Sema Bilge OCAK'a ve sevgili arkadaşım Zübeyde ÖZKAN'a sonsuz teşekkür eder, saygı ve şükranlarımı sunarım. Her zaman yanımda olarak özveriyle beni destekleyen aileme teşekkürü borç bilir saygılar sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
2.1. Magnezyum ve Alaşımları	3
2.2. Toz Metalurjisi	10
2.3. Radyasyon	12
2.3.1. İyonlaştırıcı radyasyon	14
2.3.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon.....	17
2.3.3. Radyasyondan koruma	20
3. MALZEME VE METOT	27
3.1. Malzeme	27
3.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi	27
3.3. Tozların Hazırlanması	28
3.4. Kompozit Tozlarının Preslenmesi.....	29
3.5. Numunelerin Sinterlenmesi.....	31
3.6. Metolografi.....	31
3.7. Yoğunluk Ölçümleri.....	33

	Sayfa
3.8. Mikroyapı Analizleri	34
3.9. Sertlik Testleri	35
3.10. Çapraz Kırılma Testleri	36
3.11. Radyasyon Geçirgenlik Testleri	37
4. DENEYSEL SONUÇLAR	39
4.1. Yoğunluk Sonuçları	39
4.2. Numunelerin Sertlik Sonuçları	40
4.3. Çapraz Kırılma Dayanımı Sonuçları	41
4.4. Optik Mikroskop Sonuçları	42
4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi (EDS) Analizi	45
4.6. Kırık Yüzey İncelemeleri	56
4.7. Teorik Radyasyon Hesaplama Sonuçları	60
4.8. Deneysel Radyasyon Sonuçları	66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. AZ91 özellikleri.....	6
Çizelge 2.2. Gama radyoizotoplarından bazıları.....	16
Çizelge 3.1. AZ91 üretiminde kullanılan malzemelerin ağırlıkça yüzdesel oranları	27
Çizelge 3.2. B ₄ C seramik takviyesinin fiziksel nitelikleri	27
Çizelge 3.3. Radyasyon kaynağı özellikleri.....	38
Çizelge 4.1. Co (60) için deneysel ve teorik radyasyon sonuçları.....	71
Çizelge 4.2. Cs (137) için deneysel ve teorik radyasyon sonuçları	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.	8
Şekil 2.2. Çekirdeğin kararlı hale geçişi	13
Şekil 2.3. Radyasyon tiplerinin şematik görünümü	14
Şekil 2.4. Alfa ve beta parçacıklarının menzilleri	15
Şekil 2.5. Fotonların(gama ve ışınları) madde ile etkileşmesi.....	17
Şekil 2.6. Fotoelektrik Etki	18
Şekil 2.7. Compton saçılması.....	19
Şekil 2.8. Çift oluşumu	19
Şekil 2.9. Radyasyondan korunmanın üç temel yolu	20
Şekil 2.10. Radyasyon türlerinin giricilik özellikleri.....	22
Şekil 2.11. DX kesitli malzemeden geçen elektromanyetik radyasyonun absorblanması	23
Şekil 3.1. Üretim safhası	28
Şekil 3.2. Üretimi yapılan kompozit malzemeler	29
Şekil 4.1. Numunelerin yoğunluk sonuçları	39
Şekil 4.2. Numunelerin sertlik sonuçları.....	41
Şekil 4.3. Numunelerin çapraz kırılma dayanımı grafiği.....	42
Şekil 4.4. Takviyesiz AZ91 optik mikroskop analizi	42
Şekil 4.5. %10B ₄ C Takviyeli AZ91 optik mikroskop analizi.....	43
Şekil 4.6. %15B ₄ C Takviyeli AZ91 optik mikroskop analizi.....	43
Şekil 4.7. %20 B ₄ C Takviyeli AZ91 optik mikroskop analizi.....	44
Şekil 4.8. Saf AZ91 'in SEM analizi; a)x250 b) x500 c) x1000.....	46
Şekil 4.9.%10 B ₄ C içeren AZ91 'in SEM analizi; a)x250 b) x500 c) x1000	47
Şekil 4.10.%15 B ₄ C içeren AZ91 'in SEM analizi; a)x250 b) x500 c) x1000	48
Şekil 4.11.%20 B ₄ C içeren AZ91 'in SEM analizi; a)x250 b) x500 c) x1000	49

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. %10 B ₄ C içeren AZ91 'in EDS analizi.....	50
Şekil 4.13. % 10 B ₄ C içeren AZ91 'in EDS analizi x1000 ; a)1.bölge b) 2.bölge c) 3.bölge.....	51
Şekil 4.14. %15 B ₄ C içeren AZ91 'in EDS analizi.....	52
Şekil 4.15. %15 B ₄ C içeren AZ91 'in EDS analizi x1000 ; a)1.bölge b) 2.bölge c) 3.bölge.....	53
Şekil 4.16. %20 B ₄ C içeren AZ91 'in EDS analizi.....	54
Şekil 4.17. %20 B ₄ C içeren AZ91 'in EDS analizi x1000 ; a)1.bölge b) 2.bölge c) 3.bölge.....	55
Şekil 4.18. Çapraz kırılma deneyi uygulanan saf AZ91'in kırık yüzey analizi a) X250 Büyütme b) X500 büyütme.....	57
Şekil 4.19. Çapraz kırılma deneyi uygulanan %10 B ₄ C takviyeli AZ91'in kırık yüzey analizi a) X250 Büyütme b) X500 büyütme.....	58
Şekil 4.20. Çapraz kırılma deneyi uygulanan %15 B ₄ C takviyeli AZ91'in kırık yüzey analizi a) X250 Büyütme b) X500 büyütme.....	59
Şekil 4.21. Çapraz kırılma deneyi uygulanan %20 B ₄ C takviyeli AZ91'in kırık yüzey analizi a) X250 Büyütme b) X500 büyütme.....	60
Şekil 4.22. LAC grafiği.....	61
Şekil 4.23. MAC grafiği.....	62
Şekil 4.24. HVL grafiği	63
Şekil 4.25. TVL grafiği.....	64
Şekil 4.26. MFP grafiği.....	65
Şekil 4.27. C _{eff} enerji grafiği	66
Şekil 4.28. Co-60 ve Cs-137 için LAC grafiği	67
Şekil 4.29. Co-60 ve Cs-137 için MAC grafiği	68
Şekil 4.30 Co-60 ve Cs-137 için HVL grafiği	69
Şekil 4.31. Co-60 ve Cs-137 için TVL grafiği.....	69
Şekil 4.32. Co-60 ve Cs-137 için MFP grafiği	70

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Yüksek enerjili karıştırıcı	29
Resim 3.2. Tek eksenli hidrolik pres	30
Resim 3.3. Sıkıştırma kalıpları.....	30
Resim 3.4. Sinterleme fırını	31
Resim 3.5. ATM Saphir 330 manyetik çift diskli zımpara-parlatma cihazı	32
Resim 3.6. Zımparalama cihazı	33
Resim 3.7. Sartorius marka yoğunluk ölçme cihazı	33
Resim 3.8. Jeol JEM 6060 LV tarama elektron mikroskobu (EDS ünitesi mevcut)	34
Resim 3.9. Leika DM 4000M metal mikroskobu	35
Resim 3.10. Emco Test Duravision 2000 model sertlik cihazı.....	36
Resim 3.11. Instron 3369 model ölçüm cihazı	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
μ	Lineer Soğurma Katsayısı(cm-1)
EMR	Elektromanyetik Radyasyon
g	Gram
I	Malzemedan Geçen Fotonun Yoğunluğu
IAEA	International Atomic Energy Agency
I₀	Malzemeye Giren Fotonun Yoğunluğu
k	Çift Oluşum Olma İhtimali
m	Kuru Ağırlık(g)
m_s	Yaş Ağırlık(g)
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements
sn	Saniye
t	Zaman(s)
θ	Açı(°)
λ	Dalga Boyu(m)
ρ	Yoğunluk(g/cm ³)
σ	Compton Saçılma Faktörü
τ	Fotoelektrik Oluşma Faktörü
Kısaltmalar	Açıklamalar
HVL	Half Value Layer(cm)
LAC	Linear Attenuation Coefficient (cm ⁻¹)
MAC	Mass Attenuation Coefficient (cm ² /g)
MFP	Mean Free Path (cm)
MMK	Metal Matrisli Kompozit
N_{eff}	Etkin Elektron Yoğunluğu

Kısaltmalar	Açıklamalar
TM	Toz Metalurjisi
TVL	Tenth Value Layer (cm)
Z_{eff}	Etkin Atom Numarası

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze insanoğlu pek çok malzeme kullanmış ve kullandığı bu malzemeler sayesinde yaşam kalitesi artmıştır. İlk olarak doğada bulunan taş, toprak, ahşap gibi malzemeler mevcut haliyle kullanılmış zamanla basit araçlar kullanarak ve mevcut malzemeler birbiriyle karıştırılarak farklı biçimlere sokulmuştur. Endüstri devriminde makinelerin icadı ile yeni bir dönem başlamış olup malzemeye duyulan gereksinim farklı bir boyuta geçerek malzemenin önemi daha da artmıştır.

20. yüzyıla geldiğimizde ise teknolojik gelişmelerdeki ivmelenme artmakta ve buna bağlı olarak malzeme biliminde de büyük gelişmeler yaşanmaktadır. Ancak yerkürede bulunan temel hammadde ve malzemelerin sınırlı olması sebebiyle elimizdeki malzemeler ortaya çıkan ihtiyaçları karşılayamamaktadır. Hem mevcut olan malzemelerin özelliklerini geliştirmek hem de daha ekonomik bir biçimde üretmek için çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla farklı özelliklere sahip malzemeler farklı üretim teknikleri ve farklı şekillerde bir araya getirilerek gelişmiş malzemeler ortaya çıkarılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar neticesinde farklı özelliklerdeki bileşenler çeşitli kombinasyonlar kullanılarak bir araya getirilerek malzemenin özellikleri geliştirilmiştir.

Bunların yanı sıra çevre kirliliği, küresel ısınma, petrol fiyatlarındaki artış gibi sebeplerle daha çevreci ve daha hafif malzemeler üretimde daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Magnezyumun yapısal metaller arasında en hafif metal olmasından dolayı mg üzerindeki çalışmalar artmış ve pek çok uygulamada mg kullanılmaya başlamıştır [1-3].

Fakat magnezyumun mekanik özelliklerinin yetersiz oluşu üretimde saf halde kullanımına engeldir. Saf olarak kullanılamayan magnezyum başka metaller veya takviye elemanları ile takviyelendirilerek kullanılır duruma gelmektedirler. Bu da magnezyum alaşımlarını günümüzde çok değerli bir konuma getirmiştir.

Günümüzde öne çıkan magnezyum alaşımlarından birisi de AZ91'dir. AZ91 diğer magnezyum alaşımlarına oranla oda sıcaklığında yüksek dayanım göstermesi sebebiyle en çok kullanılan magnezyum alaşımlarından biridir. Magnezyum alaşım olarak kullanıldığında sınırlı mekanik özellikleri gelişse de bu alaşımları takviye elemanları ile güçlendirilerek kompozit malzeme haline getirip kullanmak daha avantajlıdır. Yüksek

rijitlik ve iyi sertlik özellikleri gibi mekanik özellikleri barındırmasından dolayı magnezyum ve AZ91 gibi alaşımları için bor karbür bir hayli kullanışlı takviye malzemelerindendir.

Günümüzde pek çok sorunun çözümü olan fakat insanlara ve çevreye verdiği zarardan dolayı bir sorun haline gelen önemli bir konu da radyasyondur. Kendiliğinden doğada bulunmasının yanı sıra gelişen teknolojiyle beraber yapay olarak da üretilen radyasyon tıpta, endüstride, bilimsel araştırmalarda, askeri amaçlarla ve daha pek çok alanda hayatımızı kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Modern teknolojinin vazgeçilmez bir ögesi olarak radyoaktivite hayatımızdan çıkaramayacağımız bir noktaya gelmiştir. Radyasyon her ne kadar hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelerek pek çok fayda sağlasa da maruz kalınan radyasyonun dozuna ve maruz kalma süresine bağlı olarak pek çok zarara da sebep olmaktadır. Radyasyonun zararlarına rağmen hayatımızdan çıkarabilmemiz pekte mümkün gözükmemektedir. Bu sebepten dolayı radyasyonun zararlı etkilerini ortadan kaldırmak veya azalmak için birçok bilim insanı tarafından radyasyonun etkilerini azalmaya yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu zırhlama ve zırhlamada kullanılacak malzemenin önemi anlaşılmıştır.

Günümüzde radyasyon zırhlamada en bilinen malzeme kurşundur. Fakat insan sağlığına zararlı oluşu, zayıf mekanik özellikleri dolayısıyla radyasyondan koruyucu yeni malzeme arayışı ortaya çıkmıştır. Bir malzemenin radyoaktif zırhlama malzemesi olarak kullanılabilmesi için doğrusal zayıflama katsayısı(LAC), kütle zayıflama katsayısı(MAC), etkin atom numarası (Z_{eff}), hızlı nötron tesir kesiti (FNRC), yarı değerli katman (HVL), onuncu değer katmanı (TVL), ortalama serbest yol (MFP), maruziyet artış faktörleri (EBF) ve etkin elektron yoğunluğu (N_{eff}) gibi parametrelere dikkat edilmektedir.

Bu çalışmada AZ91 metal matris içerisine %10, %15,%20 oranlarında B₄C seramik parçacık takviye edilerek kompozit malzemeler sıcak presleme yoluyla üretilmiş ve mekanik özellikleri ile radyasyon geçirgenlik özelliklerindeki değişim incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Magnezyum ve Alaşımları

Joseph Black tarafından 1754 yılında magnezya (MgO) olarak keşfedilmiş daha sonra 1808 yılında , Sir Humprey Davey tarafından Oksitten izole edilerek saf hale getirilmiştir. Magnezyumun yüksek miktarda üretilmesi 1928 yılında Antoine Alexandre Brutun Bussy tarafından olmuştur.

Magnezyum $1,7 \text{ g/cm}^3$ lük yoğunluğuyla en hafif metallerden biridir. Mg, Al'dan yaklaşık olarak 1,5 kat, çelikten ise 5,5 kat daha hafiftir. Bu sebepten dolayı hafifliğin önemli olduğu otomotiv, hava ve uzay vb. pek çok sanayi alanında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Özellikle otomotiv endüstrisinde yıldız haline gelen Mg araç parçalarının üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Petrol kaynaklarının kısıtlı oluşu ve artan maliyetler sonucu araçların daha az yakıt ile daha uzun mesafeleri kat etmesi istenmektedir. Bunu sağlayabilmenin en önemli yollarından biri araç ağırlığını azaltmaktır. Araç ağırlığının azalması için hafif metaller otomotiv sektöründe daha çok kullanılmalıdır. Bu sayede araç ağırlığında meydana gelen ağırlık azalmasıyla beraber hem yakıt tüketiminde hem de sera gazı salınımında azalma meydana gelecektir.

Mg yerkürede en çok bulunan elementlerden biri olmasına rağmen reaktifliği oldukça yüksektir. Bu sebeple mg doğada karbonat, oksit, kalsiyum bileşikleri ve oksit olarak bulunur. Mg'un ucuz bir metal olmaması bu sebeptedir [4,5]. Saf haldeki magnezyum atom numarası 12'dir, gümüşümsü gri rengine, sıkı paket hegzagonal kristal yapılı, 650°C 'de eriyen, 25020 kJ.kg^{-1} yanma ısısına ve 20°C 'de 1.738 g/cm^3 yoğunluğa sahiptir [6]. Bunların yanı sıra 650°C 'de 1.25 cp viskozite, 2800°C parlama sıcaklığı, 650°C 'de 360 Pa buhar basıncı vardır [6].

Mg alaşımları çelikler ve alüminyum ile karşılaştırıldığında hem maliyetli hem de düşük ergime sıcaklığı(650°C) olmasına karşın döküm özelliğinin iyi olmasından dolayı tercih edilme oranı artmaktadır [7].

Mg alaşımları mevcut materyalleri arasında düşük yoğunluğa sahip olmalarına rağmen sertlikleri ve mukavemetleri yüksektir. Darbe ve titreşim sönümlerine ile toklukları yüksektir, bu durum magnezyum alaşımlarını otomotiv endüstrisi ve havacılık için değerli hale getirir. Hafif olmaları, yüksek elektromanyetik parazit korumaları ile iyi ısı dağıtım kabiliyetleri ise magnezyum alaşımlarını dijital, elektronik ve makine üretiminde vazgeçilmez parça haline getirmektedir. Ayrıca magnezyum kaynakları boldur. Magnezyum elementlerinin avantajlarının yanı sıra bir takım dezavantajları kullanımın yelpazesini kısıtlamaktadır. Bunlar düşük korozyon, yanıcılığının yüksek oluşu ve oda sıcaklığında düşük elastite modülüne sahip olmalarıdır.

Magnezyum alaşımlarının magnezyumdan dolayı sahip olduğu dezavantajlar alaşımlandırma malzemesi olarak alüminyum, manganez, çinko, silikon, bakır, zirkonyum ve nadir toprak elementleri seçilerek düşürülebilir. Böylelikle endüstriyel ürünlerde alüminyum ve bakır alaşımlarının ve dökme demirlerinin kullanımının yerini almaya başlamıştır.

Magnezyumun alüminyum, çinko, mangan, nadir toprak elementleri, toryum ve zirkonyum gibi elementlerle alaşımlandırılması, yüksek sıcaklıklarda sürünme direnci, mukavemet, ağırlığın azalması ve atalet kuvvetlerin düşürülmesi sağlanabilir [8,9]. Bu alaşımlandırılma özelliğinden dolayı dökme demirler, bakır esaslı alaşımlar, çelik ve hatta alüminyum alaşımlarının yerini almıştır [10]. Magnezyum alaşımlandırmada en çok kullanılan elementlerden bazıları şunlardır:

Alüminyum (Al): Magnezyumun en çok alaşımlandırıldığı elementtir. Alüminyum sayesinde alaşımın mukavemeti, dökülebilirliği ve korozyon direnci oda sıcaklığında gelişir [2, 3, 11].

Çinko (Zn): Oda sıcaklığında korozyonu azaltır [12, 13]. Ayrıca çekme mukavemeti ve akışkanlığını artırır [13, 14].

Mangan (Mn): Alaşımın korozyon direncini, sürünme direncini, akma mukavemetini geliştirir.

Magnezyum alaşımları ASTM(A275) standardı kullanılarak adlandırılırlar. Bu standart 1948 yılında hazırlanmıştır. 2 harf ve 2 rakam kullanılarak ilk önce Mg ‘den sonra en çok kullanılan element ve daha sonra da 2. en çok kullanılan element belirtilir. Rakamlar ise kullanılan elementlerin yüzdesel oranlarını vermektedir.

AZ91 açıklamasına bakacak olursak;

A→ Alüminyum ifade eder. Magnezyumdan sonra alaşımda en çok bu element bulunur.

Z→ Oran olarak Magnezyumdan sonra en çok kullanılan 2. Elementin Çinko olduğunu belirtir.

9→ Alaşımda %9’luk Alüminyum bulunduğunu gösterir.

1→ Alaşımda %1’lik Çinko bulunduğunu gösterir

AZ serisi Mg alaşımları daha çok

AZ serisi Mg alaşımları Mg, Al ve Zn’den oluşmakla beraber içerik olarak yaklaşık %1-10 arasında Al içeren, Al’den daha düşük oranda Zn içeren ve ticari olarak çok sık kullanılan alaşımlardır.

AZ91, magnezyumun diğer Mg alaşımları ile kıyaslandığında daha iyi dökülebilirlik ile daha iyi akma dayanımı gibi daha gelişmiş mekanik özellikler göstermektedir [7,14].

Mg alaşımlarını adlandırmak ve standartlarını ortaya koymak için ASTM sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde ana alaşım elementleri ve saflık oranları gösterilir. AZ91 alaşımı için Al ve Zn elementlerini içerdiğini gösterir. Alaşımdaki Al oranı %8,5-9,5 ile Zn oranı %0,45-0,9 oranında olduğunu ortaya koymaktadır.

AZ91’in özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir .

Çizelge 2.1. AZ91 özellikleri [8].

Yoğunluk	1.79 gr/cm ³
Döküm Sıcaklığı	650 – 695 °C
Çekme Dayanımı	220 Mpa
İletkenlik	61 W/m [°] K
Brinell	60
Termal Genleşme	25.6 μ m/m [°] K
Elastiklik	45 Gpa

Kompozit malzeme

Kompozit malzeme, birbirinden kimyasal ve fiziksel olarak farklı iki veya daha fazla malzemenin birbirinin içinde çözünmeden ve hatta kendi fiziksel özelliklerini koruyarak, bileşenlerinin sahip olduğu özelliklerden farklı yeni bir malzeme meydana getirmesini ifade eder. Ana malzemelerin tek başlarına elde edilemediği özellikler, malzemelerin bir araya gelmesiyle elde edilebilir duruma gelmektedir. Kompozit malzeme, mekanik özellikleri geliştiren takviye fazı ve takviye fazını bir arada tutan ana bileşen olan matris fazından oluşurlar.

Kompozitler, genellikle geleneksel mühendislik yöntemleriyle üretilen aynı boyutlardaki malzemelere kıyasla daha yüksek mukavemet ve daha düşük ağırlıktadırlar. Bu durum enerji tasarrufu ve daha yüksek performans anlamına gelmektedir.

Kompozitler çok eski dönemlerden beri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda elde edilen bulgulara göre M.Ö.2800'lü yıllarda lamine edilmiş tahta tabakalar bulunmuştur. Bunun yanı sıra çamurla karıştırılarak yapılan kerpiç, ahşap, kemik gibi malzemeler de doğal ve yapay kompozit malzeme örneklerindendir.

1900'lü yılların ortalarında kompozit malzemenin mühendislik alanında kullanımı başlamıştır. 2. Dünya savaşının başlamasıyla eldeki malzemelerin teknolojik istekleri karşılayamaması sonucu kompozit malzemelerin önemi anlaşılacak kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalar genişlemiştir. Günümüzde kompozit malzeme üretiminde sınırsız kombinasyonla yeni malzemeler üretme imkanı bulunmaktadır.

Bir malzemenin kompozit malzeme olarak adlandırılabilmesi için aşağıdaki özellikleri taşıması gerekir [15].;

- Kompozit malzemeler birbiri içerisinde çözünebilen bileşenlerden oluşmaz.
- Kompozit malzemeyi oluşturan malzemeler arasında atom alışverişi yoktur. Bileşenlerin atomik düzeyde birbiri ile etkileşimi kompozit malzeme yerine alaşımları oluşturur.
- Kompozitlerin bileşenleri kimyasal olarak birbirini etkilemezler.

Kompozitlerin bazı avantajları şu şekilde sıralayabiliriz;

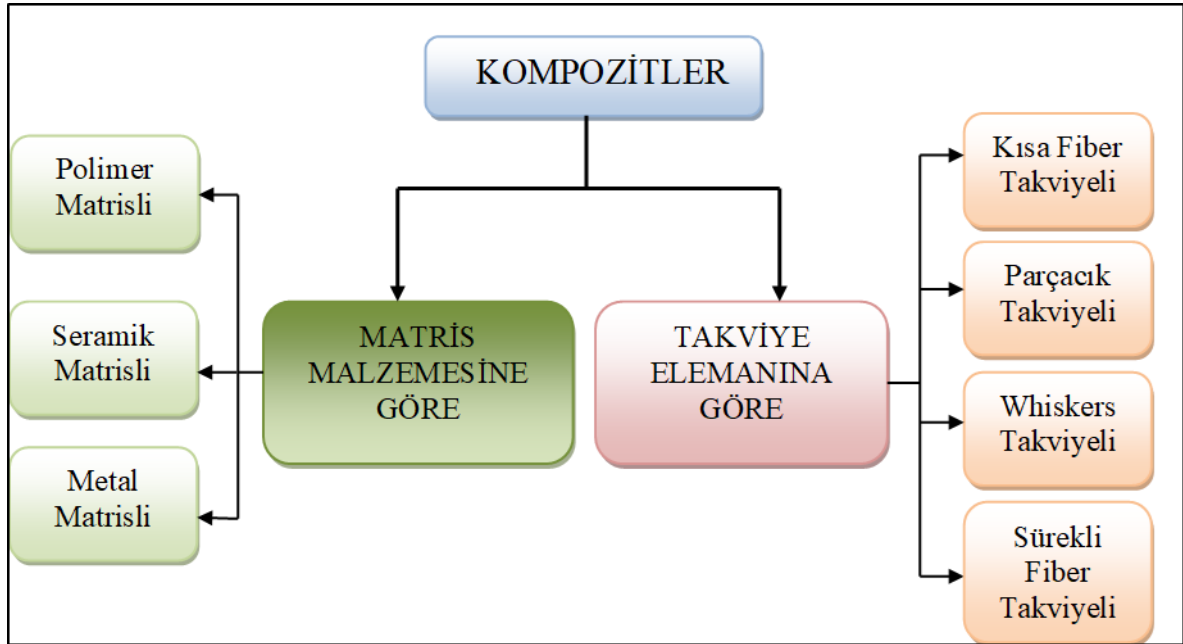
- Kompozitler pek çok metale göre daha yüksek basınç, çekme, darbe dayanımına sahiptir. İstenen mukavemetin daha az malzemeyle sağlanarak daha düşük maliyetli ürünler ortaya çıkar.
- Kompozit malzemeler gerek polimerlere gerekse metallere oranla daha yüksek mukavemete sahiptir. Hem yüksek mukavemet hem de hafiflik kompozitlerin sağladığı en kullanışlı özelliklerdendir.
- Kompozit malzemeler tasarımcının hayal gücü ile sınırlıdır. İstenilen her ihtiyacı karşılayacak boyutta, karmaşıklıkta, görünümde ve işlevde üretilebilmektedir.
- Kompozit malzemelerde karmaşık parçalar tek işlemle üretilip şekil verilebilmektedir. Böylelikle zamandan, işçilikten tasarruf sağlanır.
- Doğru malzemeler kullanılarak oluşturulan kompozit malzemeler hem iletkenlik hem de yalıtkanlık açısından üstün özelliklere sahiptir.
- Kompozit malzemeler, polimer malzemeler gibi viskoelastik ve büzülme özelliklerine sahip değildir. Bunun yanı sıra termal genleşme katsayısı kompozit malzemeler için daha küçüktür. Böylelikle boyutları hava şartlarından çok fazla etkilenmez.
- Kompozitler iyi süneklik ve titreşim sönümleme özellikleri sayesinde çok düşük çatlak ilerlemesi meydana gelir.
- Kompozitlerin üretim yöntemi fark etmeksizin alaşımlara göre araç gereç maliyeti daha düşüktür.

Aşağıda kompozit malzemelerin bazı dezavantajları verilmiştir;

- Kompozit malzeme üretiminde kullanılan hammadde pahalıdır.
- Kaliteyi standardize etmek zordur.

- Kompozitlerin onarılmaları zordur ve gevrek malzeme oldukları için zarar görmeleri çok kolaydır.

Her ne kadar farklı kriterlere göre sınıflandırılırsalar da genellikle matris malzemenin fiziksel ve ya kimyasal yapısı baz alınarak sınıflandırılırlar. Bunun dışında kompozitler yapay ve doğal olmak üzere de doğal (deri, kas) ve yapay kompozitler(cam takviyeli v.b.) olarak da sınıflandırılabilirler. Kompozit malzemeyi bir arada tutan ve oluşturan ana malzeme olan matris malzemesine göre sınıflandırma yapılırsa da en sık olarak kullanılan sınıflandırma yöntemi malzemenin mukavemetini sağlayan takviye malzemesi baz alınarak yapılır.



Şekil 2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması [16-18].

Matris malzemesine göre kompozit malzemeler;

- Polimer matrisli kompozitler endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan petrokimya bazlı malzemelerdir. Bu durumun öncelikli nedeni üretiminin ucuz ve basit olmasıdır. Polimer Matrisli Kompozitler havacılık ve uzay endüstrisinde, spor malzemelerinde, otomotiv sanayi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır.
- Seramik Matrisli Kompozitler yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda sıklıkla kullanılırlar. Yapısal olarak kırılgan ve sert bir yapıdadırlar. Yapılan son çalışmalar

göstermiştir ki seramik matrisli kompozitler biyomalzeme, uzay araçları ve roket başlığı gibi alanlarda kullanılmaktadır [15].

- Metal matrisli kompozitler mevcut metallerin kullanılamayacağı özellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılmak üzere oluşturulmuş bir metal ile diğer bileşenlerden oluşan gelişmiş malzemelerdir. Faz takviyesi kompozit malzemenin mekanik özelliklerini geliştiren ve daha yüksek dayanım gösteren, sert olan kısımdır. Matris malzeme ise kompozit malzemenin ana kısmıdır ve düşük sertlik ve dayanım göstererek geliştirilmesi gereken kısımdır. Süneklik, yüksek elastik modülü, yüksek darbe dayanımı gibi gelişmiş özelliklere sahiptirler. Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller ve alaşımlar kullanılır. Hafif metal ve alaşımların özgül dayanımları ve korozyon dirençleri yüksektir bu sebeple hafif yapılarda kullanılır.

MMK'lerde matris malzemesi olarak en çok magnezyum, titanyum, alüminyum, alüminyum-lityum, süper alaşımlar ve bakırlar kullanılmaktadır [19]. Matris malzemesi olarak en çok bu malzemeler düşük ergime sıcaklığı ve yoğunlukta oldukları için kullanılmaktadır [16, 20].

Kompozitler malzemeler üretilirken takviye malzemesini belirlemede fiziksel ve mekanik özellikler, kimyasal bileşim, morfoloji, maliyet ve mikroyapı gibi nitelikler önemli olup, matris malzemesini seçerken ise korozyon direnci, dayanım, oksidasyon, yoğunluk ve tokluk-süneklik oranı gibi değişkenler önem arz etmektedir[21]. Metal matrisli kompozitlerde hafif metaller ve alaşımları iyi mekanik özellikleri olması, yüksek tokluk ve düşük yoğunluğa sahip olmaları nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Hafif metaller ve alaşımları hafifliğin istendiği durumlarda iyi mekanik özellikleri ve düşük yoğunluklara sahip oldukları için tercih edilmektedir [16]. MMK'lerde matris malzemesi olarak Titanyum (Ti), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Alüminyum (Al), Demir (Fe), Magnezyum (Mg), Gümüş (Ag) Nikel (Ni), gibi metaller ile alaşımları ve süper alaşımları sık sık kullanılmaktadır [22,23]. Bu elementlerin içinde Al, Ti, Mg ve bunlara ait alaşımlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır [23].

Metal matrisli kompozitlerin üretimi yapılırken yüksek elastiklik modülü, matrisle uyumlu olma, düşük yoğunluk, ekonomiklik, yüksek sıcaklıklarda özelliklerini koruma, yüksek dayanım gibi nitelikler takviye malzemelerinden beklenmektedir[24]. Takviye malzemesi

olarak ise karbürlerden bor karbür (B_4C), titanyum karbür (TiC), silisyum karbür (SiC) ; oksitlerden silikon dioksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve nitrürlerden alüminyum nitrür (AlN), titanyum nitrür (TiN), silikon nitrür (Si_3N_4) benzeri seramik malzemeler kullanılmaktadır [16,25].

Metal matrisli kompozitler sıvı faz ve katı faz toz metalurjisi yöntemleri kullanılarak üretim aşamaları tamamlanır. Sıvı faz teknikleri (döküm, sıkıştırılmalı döküm, infiltrasyon) daha çok karmaşık şekilli parçalar için, toz metalurjisi ise parçacık takviyesinin çok olduğu homojen dağılım isteyen küçük parçalarda tercih edilebilir.

2.2. Toz Metalurjisi

Toz metalurjisi, dökme; talaşlı imalat gibi yöntemlerle üretimi zor olan metal ya da metal alaşım tozlarına seramik, plastik gibi malzemeler eklenerek yüksek sıcaklık ve basınç altında hassas tolerans ve çok az hurda oranında homojen malzemeler üretilmesi yöntemidir. Diğer bir deyişle farklı tozların homojen bir şekilde karıştırılıp şekillendirildikten sonra sinterlenmesi işlemidir.

Çok farklı kombinasyonlarda emsalsiz malzemeler üretilmesine imkan tanıyan bir yöntemdir. Karmaşık geometrili, diğer üretim yöntemleriyle üretimi zor olan parçalar TM sayesinde kolaylıkla üretilir.

TM yönteminin dünyanın çeşitli bölgelerinde çok eski zamanlardan beri kullanılmakta olduğu arkeolojik kazılar sayesinde görülmektedir. İnkaların altını toz hale getirerek mücevherlerinde kullandığı bilinmektedir [26]. Modern dünyada TM yönteminin kullanılması ise tungsten toz kullanarak dayanıklı lamba filamanları üreten Coolidge ile başlar.

Toz metalurjisinin günümüzde esas kullanım sebebi toz olarak elde edilen metallerin yüksek basınç ve sıcaklık altında presleme ve sinterleme işlemlerine tabi tutulduktan sonra kullanışlı parçalar haline gelmesidir. Elde edilen parçalar genellikle son kullanıma uygun haldedir, ek bir işlem gerektirmez.

Aşağıda TM yönteminin bazı avantajları verilmiştir;

- Karmaşık şekilli parçalar yüksek hassasiyet ve yüksek hızda seri olarak üretilebilirler.
- Malzeme kaybı çok az olduğu için verimli bir yöntemdir.
- Doğası itibarıyla gözenekli yapıları üretmeye uygun bir yöntemdir.
- Diğer üretim yöntemlerine göre daha kaliteli malzeme üretir. (yüksek dayanım, yüksek sertlik ve yoğunlukta)
- İhtiyaç duyulan fiziksel ve mekanik özelliklerde malzeme üretilmesine imkan tanır.
- Diğer yöntemlerle karışması zor olan malzemeler bir araya getirilir.

Aşağıda TM yönteminin bazı dezavantajları verilmiştir;

- Büyük boyutlu parça imalatı yapmak yüksek basınç gerektiği için hem zor hem maliyetlidir.
- Seri üretim yapılmadığı takdirde sinterleme vb. gibi işlemleri yapmanın maliyeti yüksektir.
- Kullanılan tozların temiz olmaması malzeme kalitesini düşürmektedir.
- Metal tozlarının maliyeti ingota göre daha yüksektir.

Toz metalurjisi üretim yöntemi

Toz metalurjisi üretim yöntemi temel olarak 3 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar karıştırma, presleme ve sinterlemedir.

Toz metalurjisi üretim yönteminde tozlar önce birbirleriyle karıştırılırlar. Karıştırılan bu tozlar kalıplarda yüksek basınç altında preslenerek şekillendirilir ve sonrasında partiküllerin birbirleriyle kuvvetli bir bağ oluşturması ve arzu edilen niteliklere ulaşmaları için, metal tozlarının ergime sıcaklığının altında sinterleme işlemi yapılır [27]. Sinterleme sıcaklığı, sinterlenecek numunenin içerisindeki tozların en düşük ergime sıcaklığının altında yapılır [28]. Sinterleme işleminden sonra ürün nihai haline ulaşmış ya da çok yaklaşmıştır.

Sabit bir kompozisyonu ve tek boyutu olan tozu, arzu edilen karakteristiğın yüklenmesi çok zordur. Bu sebepten dolayı, genellikle başlangıç malzemesi için değışik boyut; farklı şekil ve kompozisyonadaki tozlar ile bağlayıcı ve yağlayıcıdan oluşan karışımlar tercih edilmektedir. Oluşturulan tozları karıştırmak numunenin homojen preslenmesi, kalıbından rahat çıkarılması ve zaruri oranda mukavemeti oluşturabilmesi açısından önemlidir. Karıştırma işlemi oluşturulacak numunede bulunan elementlerin yüzdece ağırlığına bağılı olarak yapılır [29].

Presleme işlemi serbest toz karışımının arzu edilen biçime dönüştürölerek kompakt hale gelmesi için bir kuvvet uygulanması işlemidir. Serbest durumdaki tozlara uygulanan basınç değıerine göre tozların mukavemet ve yoğunluk değıerini artar. Böylelikle arzu edilen gözenek yapısı ve miktarı elde edilir.

Sinterleme işlemi sıkıştırılıp şekil alan tozların termal enerji yardımıyla ısılı olarak birleştirilmesi işlemidir. Presleme işlemi ile tozlar arasında mekanik bağlar oluşturulurken sinterleme işlemi ile kimyasal bağlar oluşturulur. Sinterleme işlemi yapıldığında parçacıklar birbiriyle mükemmel bağlar oluşturur böylece gözeneklilik azalır ve ya tamamen kaybolur.

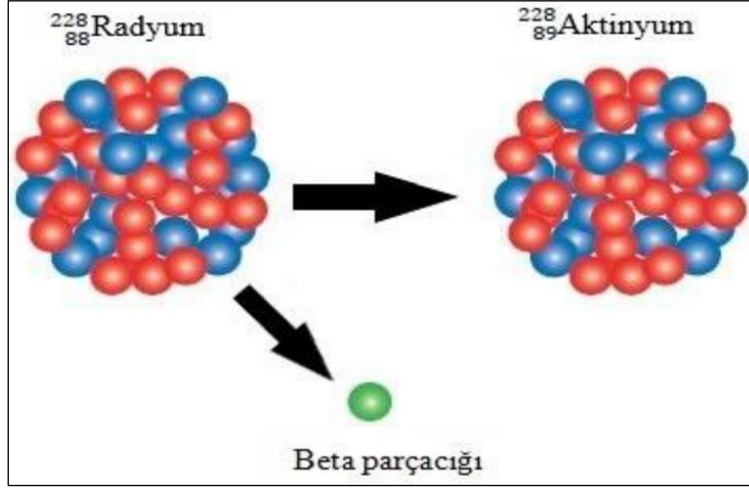
2.3. Radyasyon

Doğadaki elementlerin bir kısmı ağır çekirdeğıe sahiptir. Bu ağırlık atomlarda çekirdek kararsızlığına yol açar. Atomlar fazla enerjilerini verip kararlı duruma geçmek isterler. Bu olaya radyoaktivite, bu çekirdeklere de radyoaktif çekirdek denir. Radyoaktif çekirdekler kararlı duruma geçmek için alfa, beta, gama adı verilen ışımlar yaparlar. Yaptıkları bu ışımlara da radyasyon denmektedir.

Bilimdeki ilerlemeler doğal radyasyonun yanı sıra yapay radyasyonu da mümkün kılmıştır. Doğal radyasyon kaynaklarına kozmik ışınlar, radon gazı gibi örnekler verilebilir. Yapay radyasyon kaynaklarına nükleer santrallerden salınan radyoaktif maddeler, sağıık sektöründe kullanılan X-ışınları gibi örnekler verilebilir.

Gelişen teknolojiyle beraber her geçen gün yapay radyasyon hayatımıza daha çok girmektedir. Günümüzde tıpta, endüstride, bilimsel araştırmalarda, askeri amaçlarla ve

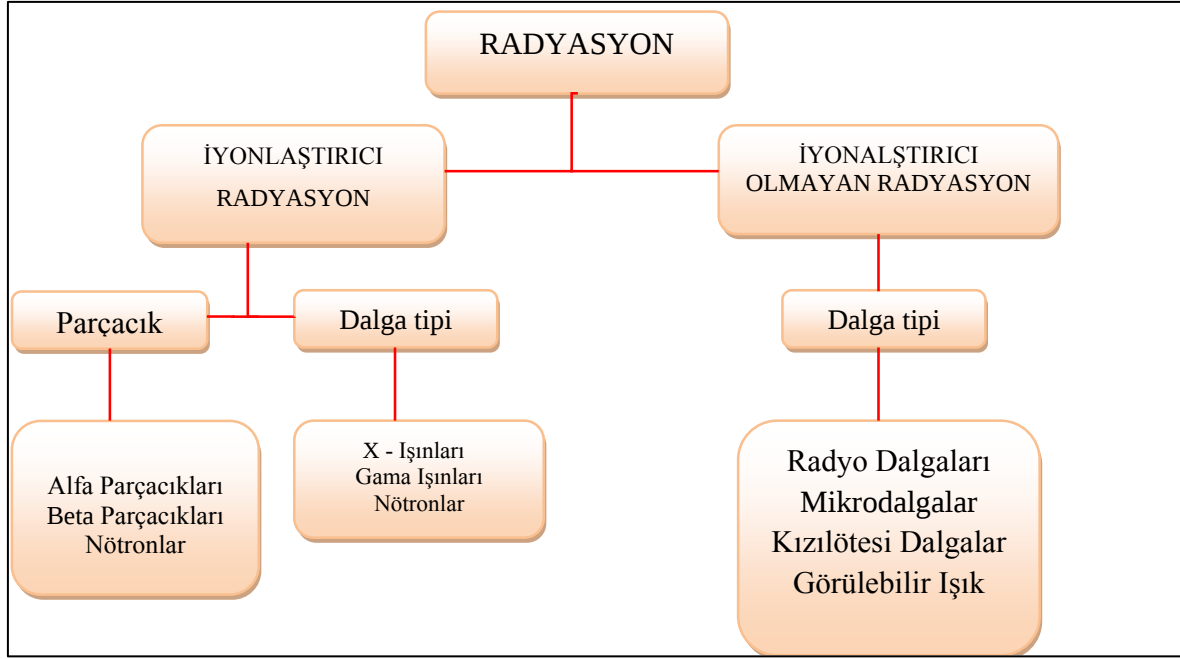
daha pek çok alanda hayatımızı kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Şekil 2.2’de çekirdeğin karalı hale geçişi gösterilmiştir [30].



Şekil 2.2. Çekirdeğin kararlı hale geçişi [30].

Radyasyonu sınıflandırmak için enerjiye, türe ve kaynağa bağlı olarak 3 parametre kullanılır.

- Radyasyon bir çeşit enerjidir ve bu enerjiye bağlı olarak yüksek enerjiye sahip olan radyasyon ve düşük enerjiye sahip olan radyasyondur.
- Radyasyon bazen dalgalar halinde hareket eder buna elektromanyetik radyasyon denir. Bazen de parçacıklar halinde hareket eder buna da parçacık radyasyonu denir.
- Kaynağa bağlı olarak güneş, toprak gibi doğal kaynaklardan yayılan radyasyona doğal radyasyon; tıp, nükleer enerji santralleri gibi insan eliyle oluşturulan kaynaklardan yayılan radyasyona yapay radyasyon denir [31].



Şekil 2.3. Radyasyon tiplerinin şematik görünümü [30].

2.3.1. İyonlaştırıcı radyasyon

Etkileşimde bulunduğu atomların dış yörüngelerinden elektron kopararak atomları iyonize eder. Tıp ve endüstriyel alanlarda kullanılan radyoaktif maddeler ile X ışınlarının yanı sıra yiyecekler ve nefes aldığımız hava bile iyonize radyasyon kaynağıdır[32]. İyonlaştırıcı radyasyon kaynakları dalga tipi ve parçacık tipi olmak üzere 2'ye ayrılırlar. Parçacık tipi radyasyon, gözle görülmeyecek kadar küçük, hızlı hareket edebilen, belirli bir enerji ve kütleye sahip parçacıklardır [33]. Alfa, beta ışınları parçacık tipi radyasyonlardır. X ışınları ve gama ışınları yüksek enerjiye sahip kütlesi olmayan yani iyonize edici elektromanyetik (parçacık tipi) radyasyondur. Titreşim halinde ilerleyerek yörüngeden yayımlanan radyasyona x-ışını, çekirdekten yayımlanan ışınlara ise gama ışınları denir.

Parçacık radyasyonu

a- Alfa parçacığı: Alfa parçacığı 2 proton ve 2 nötrondan oluşan ağır yüklü Helyum atomunun çekirdeğidir ve genellikle Uranyum-238 gibi radyoaktif elementlerin bozunması sonucu oluşur. Alfa parçacıkları ağır yüklerinden dolayı düşük hızlı ve çift yüklüdür bu sebeple kısa mesafelerde enerjisini tüketirler.

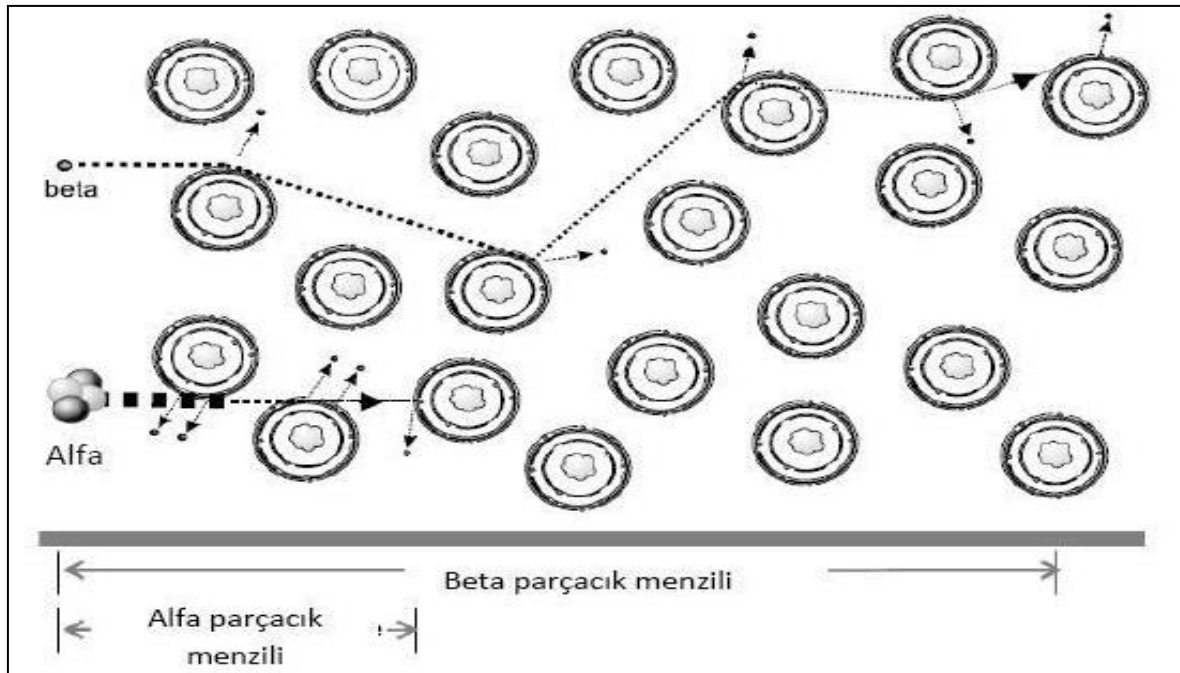
$${}^A_ZX = {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He(\alpha) + \theta \quad (2.1)$$

Alfa parçacığı girdiği ortam içinde Coloumb etkileşimi gerçekleştirerek iyonlaşma yapar. Alfa parçacıklarının dalga boyları büyük olduğundan nüfuz etme kuvvetleri düşüktür. Ağır bir kütleye sahip olması ve büyük dalga boyları sayesinde kağıt yaprağı kullanılarak bile durdurulabilir.

b- Beta parçacığı: Beta parçacıkları tek yüklü elektron ve ya pozitrondan oluşurlar. Beta ışıması yapan parçacığın yükü değişir. Bunun olması için ya çekirdek etrafındaki elektron yakalanır ya da pozitron ya da pozitron yayınımlı yapılır.

$${}^A_ZX \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y_{N-1} + e^{-} \quad (2.2)$$

$${}^A_ZX \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y_{N+1} + e^{+} \quad (2.3)$$



Şekil 2.4. Alfa ve beta parçacıklarının menzilleri [34].

Beta parçacıkları alfa parçacıklarından daha hızlı hareket edebilirler ve giricilikleri daha fazladır. Bu sayede daha derine nüfuz edebilirler. Fakat aynı mesafede alfa parçacığından daha az zarar verirler. Beta radyasyonunu durdurmak için en az Al malzemesi gereklidir.

Nötron: Atmosferde bulunan atomlar çarpışarak nötronları meydana getirebileceği gibi bir nükleer reaktördeki atomların parçalanması sonucu nötronlar (n) meydana gelebilir[35]. Parafin, kalın beton ve su kullanarak nötronlar durdurulabilir [33].

Elektromanyetik radyasyon

X ışınları ile gama ışınları elektromanyetik radyasyona dahildir . Aynı enerjideki parçacık radyasyonuna (alfa ve beta ışınlarına) göre daha uzun menzilli ve daha giricidirler. Bu özellikleri gama ve X ışınlarını daha tehlikeli yapar. X ışınları yörüngede bulunan elektronlarda gama ışınları ise atom çekirdeğinden yayımlanmaktadır.

Gama Radyasyonu: Gama radyasyonu parçacık radyasyonunun aksine yüksüz ve kütesizdir. Çekirdekte bulunan proton ve nötron değişiminden oluşur ve enerjisine bağlı olarak değişik saçılma olayları meydana gelir [36].

Gama ışıması atom çekirdeğindeki farklılıklardan kaynaklanır. Yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alanda sapma yapmazlar. İyonlaştırma etkileri zayıf olsa da giricilikleri çok yüksektir. Bu yüzden zırhlaması kurşun tuğlalarla yapılır. Çizelge 2.2’de bazı gama aktif radyoizotopları belirtilmektedir.

Çizelge 2.2. Gama radyoizotoplarından bazıları [37].

Radyoizotop	Yarı Ömür	Kinetik Enerji (MeV)
137Cs	30 y	0,66
60Co	5,26 y	1,17-1,33
46Sc	83,7 g	889,2-1120,5
124Sb	60 g	0,6-2,1
24Na	15,0 s	1368,5-2754
22Na	2,6 y	1274,5
192Ir	74 g	0,3-0,6

X Işınları: X ışını, yüksek enerjili hızlandırılmış elektronların yavaşlatılması ve ya bir atomun yörüngesindeki elektron geçişleri ile oluşan yüksek enerjili ve yüksek giricilik özelliğine sahip elektromanyetik dalgadır. Gama ışınları atomun çekirdeğinden yayımlanırken X ışınları atomun elektron kılıfından yayımlanmaktadır. X ışınları insan vücudunda giricilikleri olması dolayısı ile tıpta çoğu teşhis yöntemi olarak kullanılmaktadır [38,39].

2.3.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

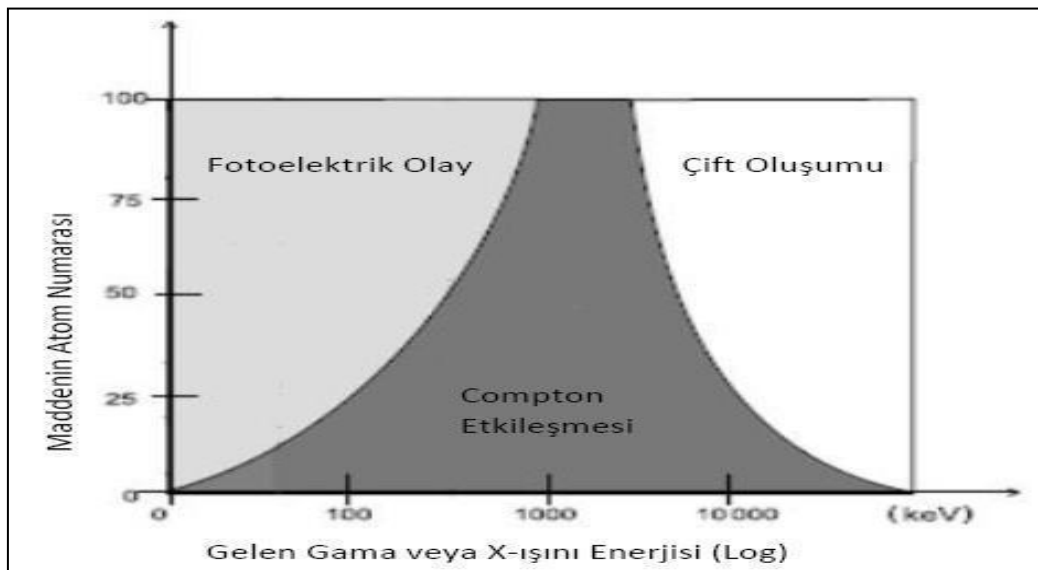
İyonlaştırıcı olmayan radyasyon maddeye tesir ettiğinde iyonlaştırma yapacak kadar enerjiye sahip değildir. Maddeyi uyaracak kadar enerjiye sahiplerdir [40]. Güneşten gelen ultraviyole ışınları ve mikrodalgalar, radyo dalgaları gibi EMR nitelikli radyasyon iyonize olmayan radyasyona örnektir.

Fotonların madde ile etkileşimi

Yüklü parçacıklar madde içinde Coloumb kuvvetine maruz kalırlarken elektriksel yükleri bulunmayan X ve gama ışınları gibi fotonlar Coloumb kuvvetinden etkilenmedikleri için yolları üzerinde bulunan parçacıklarla çarpışma yaparlar. Çarpışmalar sonucunda fotonların madde ile yaptığı en önemli etkileşimler 0,001 MeV ile 0,5 MeV enerji bölgesinde fotoelektrik etki, 0,1 MeV'den 0,5 MeV aralığında Compton saçılması ve 1,02 MeV ile fotonun enerjisi aralığında da çift oluşumu gerçekleşir [41]. Bu gibi etkileşimlerle foton enerji kaybeder.

Fotobozunum, Rayleigh ve Bragg saçılması gibi etkileşimlerde fotonun enerji değişimi çok az olduğu için sıklıkla göz ardı edilir [42].

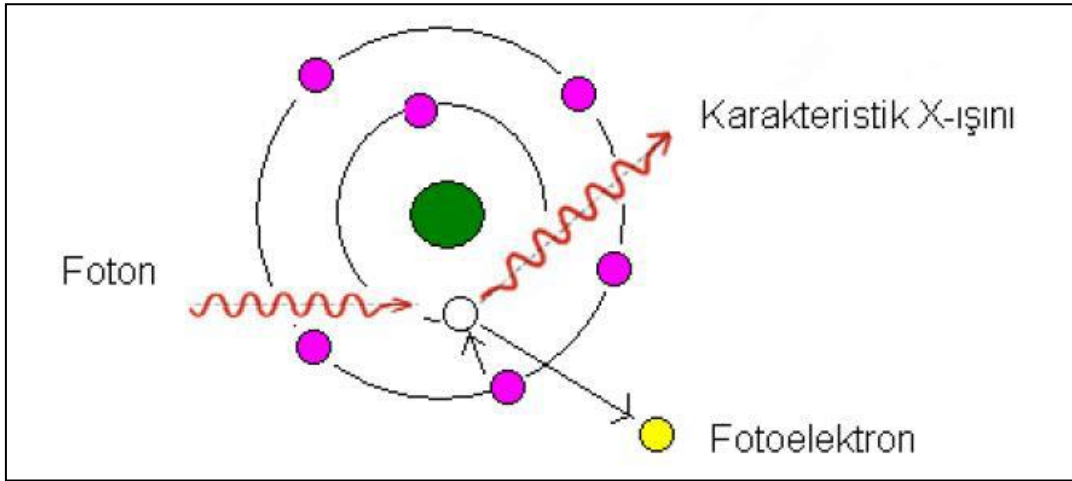
Şekil 2.5'de fotonların(gama ve ışınları) madde ile etkileşmesi gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Fotonların(gama ve ışınları) madde ile etkileşmesi[34].

5- Fotoelektrik olay

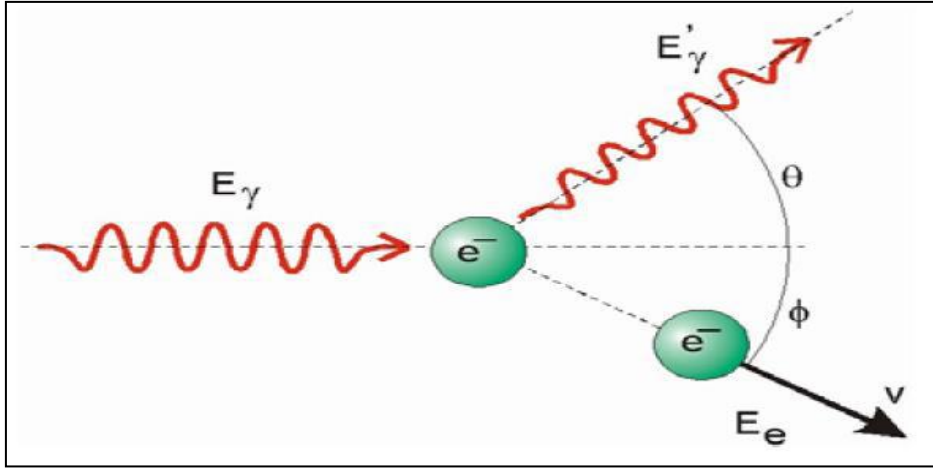
Belirli bir enerjisi olan fotonun enerjisinin atomun elektronunun bağlanma enerjisinden yüksek olduğunda foton tüm enerjisini elektrona aktarır ve elektronu yörüngeden koparır. Buna fotoelektrik olay, sökülen elektrona fotoelektron denir. Fotoelektrik olay esnasında X ışınları açığa çıkar. Fotonun elektron koparabilmesi için gereken enerji miktarına eşik enerjisi denir. Eşik enerjisi elektron koparmaya yetmediğinde atomdan elektron koparılamaz. Fotoelektrik olay sonucu foton soğurulduğundan saçılma olmaz. Madde içerisinde menzili kısadır ve fotoelektrik olay sonucunda atom elektron kaybından dolayı iyonize olur.



Şekil 2.6. Fotoelektrik Etki [43].

Compton Olayı

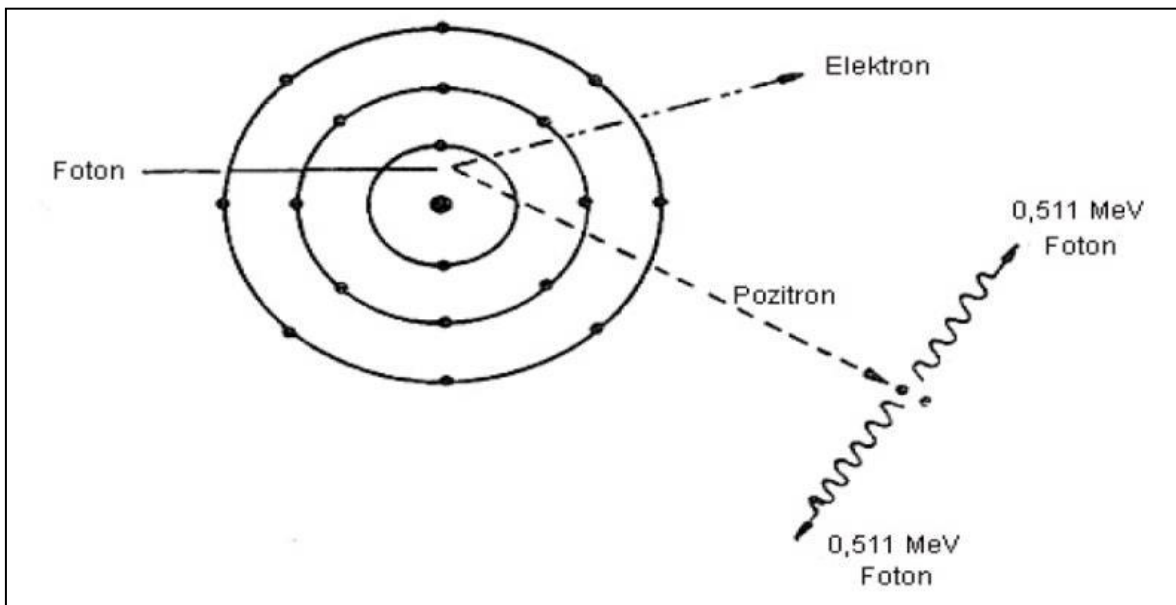
Yeterince enerjiye sahip foton dış yörünge elektronuyla çarpışarak sahip olduğu enerjinin bir miktarını kaybeder ve yönünü değiştirerek yol alır. Foton kalan enerjisi bitene kadar elektronlarla aynı saçılıma uğrar. Şekil 2.7’de compton saçılması gösterilmiştir [43].



Şekil 2.7. Compton saçılması [43].

Çift oluşumu

Atom çekirdeğinin yakınından geçen, hareketsiz 2 elektronun enerjisinden yüksek enerjili fotonun enerjisi soğurularak elektron ve pozitron oluşumuna sebep olur. Buna çift oluşumu denir. Fotonda bulunan enerji Einstein'ın kütle ve enerji eşitliğine göre oluşan çiftin kütlesine dönüşür. Gama fotonu ne kadar yüksek enerjiliyse çift oluşumunun meydana gelme ihtimali o kadar yüksektir. Gelen fotonun enerjisinin ne kadar düşükse madde ile etkileşimin doğası itibariyle fotoelektrik olay ve compton oluşması ihtimali artmaktadır [44].

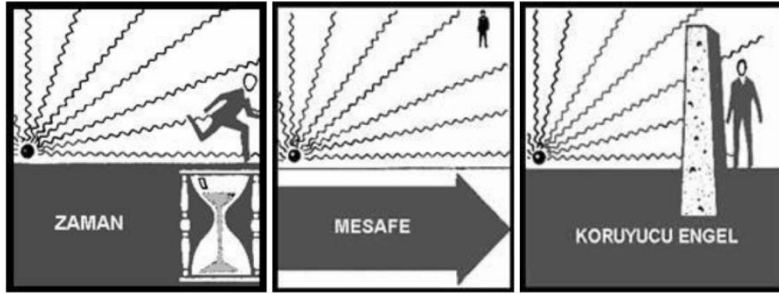


Şekil 2.8. Çift oluşumu [43].

2.3.3. Radyasyondan koruma

Günümüzde insanoğlu hem doğal hem de yapay radyasyona maruz kalmaktadır. Yapay radyasyon hayatımızda tıpta, sanayide, askeri alanda, enerji sektöründe sürekli kullanılmakla beraber nükleer silahlanma ve bu silahların kullanımı da radyasyon oluşturur. Radyasyon hücre ile etkileştiğinde vücudumuzda pek çok hasara sebep olmaktadır. Oluşan biyolojik etkiler bedensel olabileceği gibi sonraki kuşaklara aktararak kalıtsal hasarlara da yol açabilir. Kısa bir zaman diliminde yüksek dozda radyasyona maruz kalmak kısa zamanda ortaya çıkacak hasarlara sebep olurken düşük dozlara sistematik olarak maruz kalmak yıllar sonra ortaya çıkacak hasarlara neden olabilir.

Radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak ve oluşabilecek hasarları en aza indirerek canlıları korumak için süre, mesafe, zırlama olmak üzere 3 temel faktöre bağlıdır. Bunların yanı sıra maruz kalınan radyasyon tipi ve radyasyona maruz kalınan vücut kısmı ve büyüklüğü de önemlidir. Radyasyondan korunmanın en iyi yöntemi ise bahsedilen kuralların hep birlikte uygulanmasıdır. Şekil 2.9'da radyasyondan korunmanın üç temel yolu gösterilmiştir [44].



Şekil 2.9. Radyasyondan korunmanın üç temel yolu [44].

1- Doz

Radyasyon dozu, bir kaynaktan çıkan radyasyonun hedef materyal tarafından ne kadarının emildiğini gösteren ölçüdür. Soğurulan doz, etkin doz ve eşdeğer doz olmak üzere 3'e ayrılır.

Radyasyon zırhlarını kapsayan yürürlükteki yasal doz sınırı günümüzde tasarım dozunu belirlemektedir. IAEA, 1996 yılında radyasyon güvenliği ve radyasyondan korunma ilgili

uluslararası standartları oluşturarak yayınlanmıştır[45]. Doz sınırları bu yayın baz alınarak tayin edilmiştir. İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalma dozu NCRP 116 numaralı rapora dayanarak 1193 yılında tanımlanmaktadır [46]. 200 yılında ise ülkemizde oluşturulan Radyasyon Güvenliği yönetmeliği baz alınarak iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalma dozu için güvenli değerler belirlenmiştir.

Bu yönetmeliğe göre uluslar arası standartlar göz önünde bulundurularak yıllık olacak şekilde radyasyon görevlileri ile toplum üyeleri için farklı olacak şekilde hesaplanmıştır. Eğitim amaçlı kullanım istisna olup 18 yaşından küçükler radyasyon uygulaması işinde çalıştırılmazlar. Toplumdaki bireyler için etkin doz yıllık 1 mSv'i geçemez. Radyasyon görevlileri içinse yıllık 50 mSv'yi geçmeyecek şekilde 5 yılın ortalaması 20 mSv'i geçmemelidir.

2- Mesafe

Radyasyondan korunmada önemli olan parametrelerden biri de mesafedir. Mesafe ve radyasyon dozu arasında ters kare kanunu vardır. Radyasyon kaynağı ve hedef arasında mesafe 2 katına çıkarsa alınan doz 4 kat azalacaktır. Dozu azaltmada mesafe önemli bir parametredir.

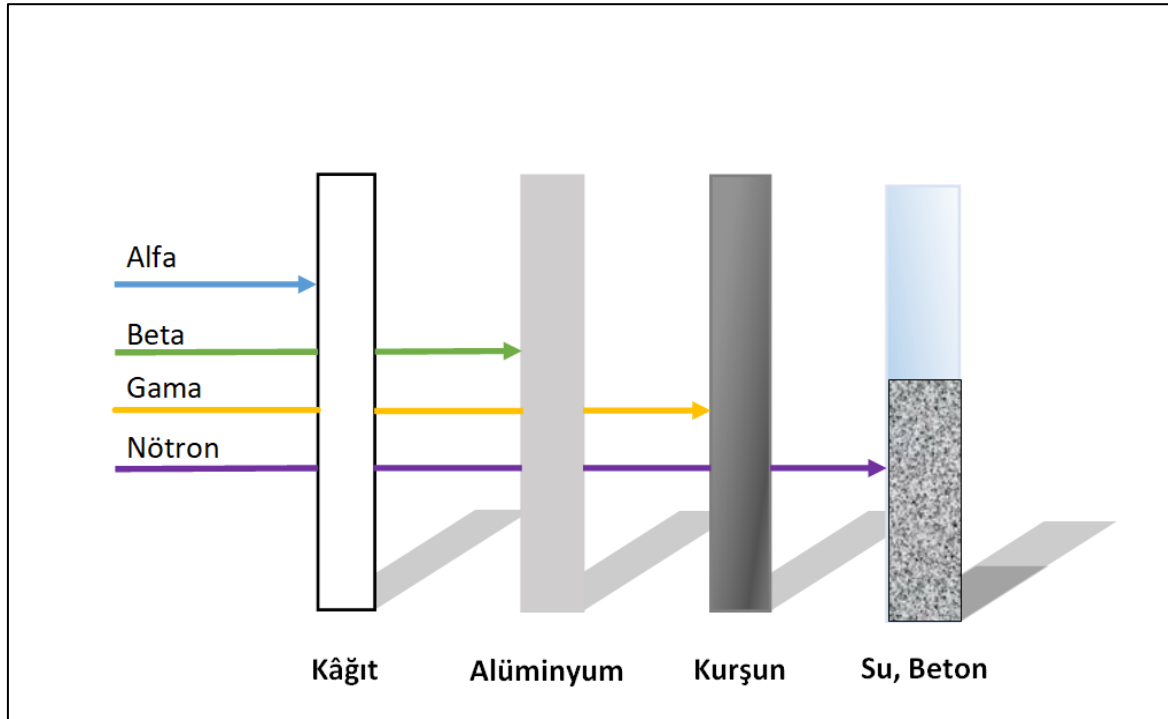
3- Zaman

Radyasyon dozu maruz kalma süresi ile orantılıdır. Bir radyasyon kaynağının etrafında geçirilen zaman arttıkça alınan radyasyon dozu artar. Doz ve süre doğru orantılı olarak artar. Alınan radyasyon dozunun azaltılması için radyasyon kaynağı etrafında geçirilen süre azaltılmalıdır.

4- Zırhlama

Zırhlamada kullanılacak malzeme radyoaktif ışınları absorbe ederek zayıflatır. Şekil 2.10'da görüldüğü üzere en kısa mesafede alfa radyasyonu durdurulabilmektedir. Bunun sebebi alfa parçacığının ağır olmasıdır. İkinci olarak giriciliği düşük olan radyasyon beta radyasyonudur. En fazla giriciliği olan radyasyon ise gama radyasyonudur. Radyasyonun madde içinde malzemenin elektronları ile etkileşime geçtikçe enerjilerini azaltarak yok

olurlar. Radyoaktif enerjideki bu kayıp oranı malzemenin özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterir. Malzemenin atom numarası ve dolayısı ile yoğunluğu arttıkça zırlama kabiliyeti yükselir. Bir malzemenin radyoaktif zırlama malzemesi olarak kullanılabilmesi için doğrusal zayıflama katsayısı (LAC), kütle zayıflama katsayısı (MAC), ortalama serbest yol (MFP), etkin atom numarası (Z_{eff}), etkin elektron yoğunluğu (N_{eff}), yarı değer kalınlığı (HVL), onda bir değer kalınlığı (TVL), etkin atom ağırlığı (A_{eff}), maruziyet artış faktörleri (EBF) ve enerji absorpsiyon artış faktörleri (EABF) gibi parametreler malzemenin radyasyon özelliklerini anlamamızda yardımcı olurlar. Malzemenin bu özelliklerini inceleyerek hangi malzemenin daha etkin koruma sağlayacağını söylememiz mümkündür. Şekil 2.10'da radyasyon türlerinin giricilik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Radyasyon türlerinin giricilik özellikleri

Phy-X / PSD programı

PSD Programı, malzemenin zırlama ve dozimetri özellikleri hakkında bilgi verir. Program, lineer ve kütle zayıflama katsayılarını (LAC-MAC), yarı ve onda bir değer kalınlığı (HVL- TVL), ortalama serbest yol (MFP), etkin atomik sayısı ile elektron yoğunluğu (Z_{eff} - N_{eff}) ve etkin iletkenlik (C_{eff}) hesaplarını yapmaktadır. Her bir enerji seviyesi için tekrar hesap yapmak gerekliliği, hesapların çokluğu ve karmaşıklığı ve

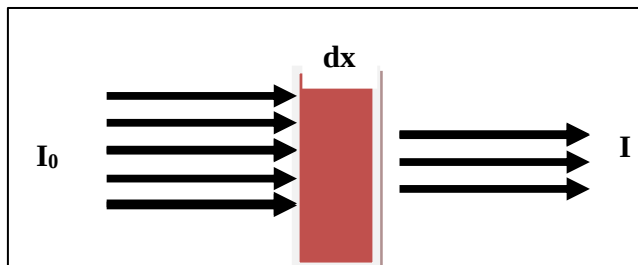
özellikle kompozit malzemeler için büyük miktarda verinin elle hesaplanması hem çok zaman alıcı hem de karmaşık bir süreçtir. Yapılan analizlerin doğru, pratik ve hızlı şekilde hesaplanabilmesi için Phy-X/PSD programı kullanılmıştır. Bu yazılım çevrimiçi olarak kullanılmakta olup, ^{22}Na , ^{55}Fe , ^{60}Co , ^{109}Cd , ^{131}I , ^{133}Ba , ^{137}Cs gibi bilinen radyoaktif kaynak enerjilerinde hem de 1 keV-100 GeV enerji aralığında radyasyon ile ilgili olan parametreler hakkında bilgi vermektedir. Uygulama ücretsiz ve çevrimiçi olarak çalışmakta ve <https://phy-x.net/PSD> sitesinden ulaşılabilir. Uygulama dili, Nginx 1.15.8 ile hizmet veren NodeJS v8.4.0'dır. İstemci tarayıcısı ile sunucu arasındaki güvenlik 256 Bit Positive SSL ile sağlanmaktadır [47].

Lineer zayıflatma katsayısı (LAC)

Gama ışınları bir malzemenin içinden geçerken soğurulur ve saçılırlar. Böylelikle radyasyon şiddetinde azalmalar meydana gelir. Her malzemenin radyasyonu absorbe etme miktarını belirlemek için bu parametredeki bu azalma incelenmelidir. Bir malzemenin içerisinde bulunan atomların gama radyasyonu ile etkileşime girme olasılığı fotoelektrik olayın, çift oluşumunun ve Compton saçılması ihtimalinin toplamına eşittir. Eşitlik 2.4'de verilen lineer zayıflatma katsayısı (μ) ile ifade edilir [48].

Şekil 2.11'de elektromanyetik radyasyonun dx kesitli bir maddeden geçerken soğurulması gösterilmektedir.

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (2.4.)$$



Şekil 2.11. dx kesitli malzemenin geçen elektromanyetik radyasyonun absorblanması

X kesitindeki malzemeden geçen dar bir foton demetindeki değişim Eşitlik 2.5'deki gibi gösterilmektedir. Üstel olarak ifade edilen bu denklemde bir fotonun teorik olarak, tamamen absorblanmasının mümkün olmayacağını göstermektedir.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.5)$$

Burada, I numuneden çıkan radyasyonun miktarını, I_0 ise numuneye nüfuz eden radyasyon miktarını, x numunenin kesitini, μ lineer zayıflatma katsayısını ifade etmektedir.

Kütle zayıflatma katsayısı (MAC)

Kütle zayıflatma katsayısı (μ_m), birim kütleye düşen radyasyon soğurulma miktarıdır. Bir malzemenin zırlama özelliğini belirlemekte kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Lineer zayıflatma katsayısı (μ)'nın, malzemenin yoğunluğuna (ρ) bölünmesi (Eşitlik 2.6) ile bulunur.

$$\mu_m = \mu / \rho \quad (2.6)$$

Burada μ lineer zayıflatma katsayısını, μ_m kütle zayıflatma katsayısını, ρ ise numunenin yoğunluğunu ifade eder.

Birbirinden farklı malzemelerden bir araya gelen karışımları hesaplamak için kullanılan toplam kütle zayıflatma katsayısı (Eşitlik 2.7), yeni malzemeyi oluşturan maddelerin kütle zayıflatma katsayıları toplamıdır.

$$(\mu/\rho) = \sum_i w_i (\mu/\rho)_i \quad (2.7)$$

Burada, w_i karışım içerisinde bulunan i. malzemenin ağırlıkça yüzdesini, ρ_i karışım içerisinde bulunan i. malzemenin yoğunluğunu, μ_i karışım içerisinde bulunan i. malzemenin lineer zayıflatma katsayısını ifade eder.

Ortalama serbest yol

Fotonun malzeme içinde art arda yaptığı iki çarpışma sırasında aldığı ortalama yol λ olarak ifade edilir. Eşitlik 2.8’de verilen formülle hesaplanır.

$$MFP = \lambda = \frac{\int_0^{\infty} x e^{-\mu x} dx}{\int_0^{\infty} e^{-\mu x} dx} = \frac{1}{\mu} \quad (2.8)$$

Yarı değer kalınlığı ve Onda bir değer kalınlığı

HVL malzemeye giren radyoaktif foton miktarının yarıya düşmesi için gerekli olan malzemenin kalınlığıdır. Eşitlik 2.9’da verilen formüller ile hesaplanırlar. μ doğrusal zayıflama katsayısını belirtir.

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2.9)$$

Foton miktarını onda bir değerine indirebilmek için gerekli olan malzemenin kalınlığına onda bir değer kalınlığı (TVL) denir. Eşitlik 2.10’de verilen formülle ile ifade edilirler.

$$TVL = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (2.10)$$

Etkin atom numarası, Etkin iletkenlik, Elektron yoğunluğu

X-ışını veya gamma radyasyonunun soğurulması ve saçılması elementlerin yoğunluğu ve atom numaraları ile ilgilidir. Kompozit malzemelerde ise etkin atom numarası (Z_{eff}) ve etkin elektron yoğunluğu (N_{eff}) ile ilgilidir. Atom numarası elementler için ayırt edici bir özelliktir. Farklı atom numaralarına sahip elementlerden oluşan bileşikler için Efektif atom numarası terimi kullanılır. Efektif atom numarası ve efektif elektron yoğunluğu teknolojik ve mühendislik alanında geniş bir kullanıma sahip olup özellikle radyoterapide radyasyon dozunun doğru olarak belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir.

Etkin atom numarası (Z_{eff}), çok bileşenli kompozit malzemeler için belirleyici bir diğer önemli parametredir. Kompozit malzemenin etkin atom numarasını hesaplamak için çeşitli yöntemler olsa da en çok kullanılan yöntemlerden biri olan "Doğrudan Yöntem" aşağıdaki eşitlikte gösterildiği şekilde hesaplanır. Bu eşitlikte gösterilen σ_a toplam elektronik tesir kesitini ifade ederken, σ_e toplam atomik tesir kesitini ifade eder. Her ikisinin de birimi cm^2/g 'dir.

$$Z_{eff} = \sigma_a / \sigma_e \quad (2.11)$$

Etkin Elektron yoğunluğu ise (N_{eff}) birim kütle başına düşen elektron miktarıdır. N_{eff} ve Z_{eff} değerleri pek çok alanda kullanılmakla beraber özellikle radyasyon dozunun miktarının ayarlamak için kullanılan parametrelerdendir.

$$N_{eff} = \frac{N_A}{N} Z_{eff} \sum_i n_i \quad (2.12)$$

Bu denklemde $\sum n_i$ elementin malzeme içerisindeki toplam sayısı, N_A avagadro sayısını temsil eder. N_{eff} oranı yükseldikçe foton etkileşim oranı artar.

Etkin iletkenlik ise bir diğer önemli parametredir ve eşitlik 2.13 'e göre hesaplanır.

$$C_{eff} = \left(\frac{N_{eff} \tau e^2 \rho}{m_e} \right) \times 10^3 \quad (2.13)$$

Bu eşitlikte e elektron yükünü gösterir birimi C'dir, m_e elektron kütlesini gösterir birimi kg 'dir, τ elektronların Fermi yüzeyindeki ortalama gevşeme süresidir.

Elementlerin x ve gama ışınları altındaki saçılım, soğurma gibi davranışları o elementin atom numarası ve yoğunluğuna bağlıdır. Fakat kompozit malzemeler için ayırt edici unsur etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğudur.

3. MALZEME VE METOT

3.1. Malzeme

Matris elemanı için kullanılan AZ91 tozu <150 μm boyutunda olup Zhejiang Bainianyin Industry and Trade firması tarafından üretilmiştir. AZ91 alaşımına ağırlıkça %10,%15,%20 B₄C seramik takviyesi katılmıştır. Arzu edilen numuneleri oluşturmak için toz metalurjisi yöntemi ve sıcak presleme yöntemi kullanılarak kompozit malzeme meydana getirilmiştir. Ayrıca takviye elemanı eklenmemiş AZ91 de üretilmiştir. Matris malzemesi olarak kullanılan AZ91 in yoğunluğu 1,81 g/cm³ dür.

Çizelge 3.1. AZ91 üretiminde kullanılan malzemelerin ağırlıkça yüzdesel oranları

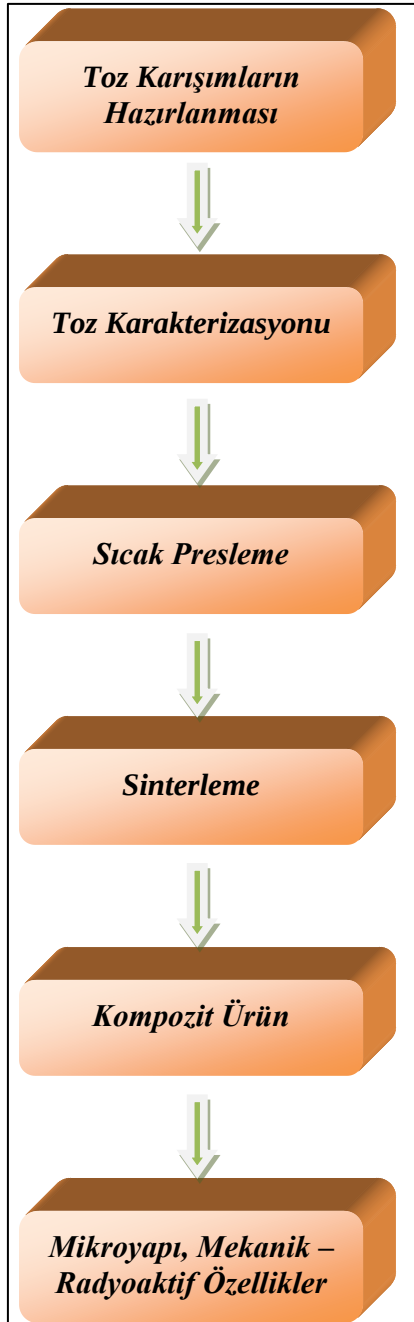
AZ91 Kimyasal Kompozisyonu				
Al	Zn	Ni	Cu	Mg
8.77	0.74	<0.01	<0.01	Kalan

Çizelge 3.2. B₄C seramik takviyesinin fiziksel nitelikleri

Yoğunluk (gr/cm ³)	Erime Noktası (MPa)	Eğme Dayanımı (Mpa)	Çekme Mukavemeti (GPa)	Elastiklik Modülü (MPa)	Basma Dayanımı (GPa)	Sertlik (Vickers)
2.52	2400	345	155-162 980-1425) °C	290-450	2750	27.4-34.3

3.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi

Kullanılan tüm ürünler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesinde bulunan, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında üretilmiş olup burada mevcut olan cihazlar kullanılmıştır. Üretim süreci Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Üretim safhası

3.3. Tozların Hazırlanması

AZ91 tozları ile ağırlıkça %0-10-15-20 oranlarında B₄C tozlarının tartımı için 0,1 mg tartım hassasiyeti olan Precisa marka hassas terazi kullanılarak tartıldı. Tartımı yapılan tozlar homojen dağılımı sağlamak adına Turbula markasına ait T2 F üç boyutlu karıştırıcı (Turbula® Wab Mixer) kullanılarak 30 dakika boyunca karıştırıldı. Şekil 3.2’de üretimi yapılan malzemelerin karışım oranları verilmiştir. Resim 3.1. Yüksek enerjili karıştırıcı.

%100 AZ91
%90 AZ91+ %10B₄C
%85 AZ91+ %15B₄C
%80 AZ91+ %20B₄C

Şekil 3.2. Üretimi yapılan kompozit malzemeler



Resim 3.1. Yüksek enerjili karıştırıcı

3.4. Kompozit Tozlarının Preslenmesi

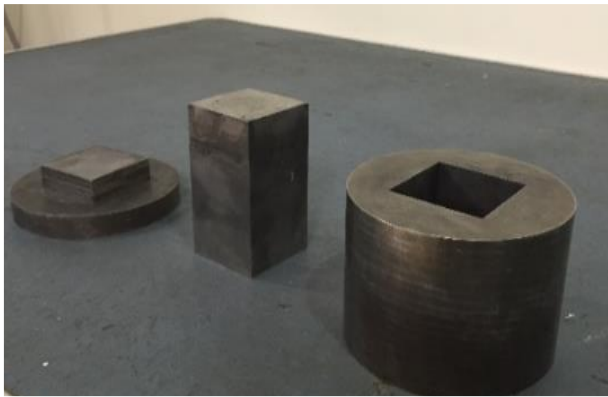
Toz malzemeler karıştırıldıktan sonra kompozit malzemenin üretilmesi için önceden belirlenen miktarda malzeme kalıba yerleştirilerek 300 ton kapasiteli hidrolik preste 550°C, 500 Mpa'da 1 saat boyunca sıcak presleme yapılmıştır.

Presleme süresi sona erdiğinde numune ortam sıcaklığında kalıp içerisinde soğutulmuştur.

Pres ve kalıp işlemlerinin yapıldığı cihaz ve kalıp Resim 3.2 ve 3.3'te gösterilmiştir.



Resim 3.2. Tek eksenli hidrolik pres



Resim 3.3. Sıkıştırma kalıpları

3.5. Numunelerin Sinterlenmesi

Sinterleme işlemi için numuneler PROTHERM markasına ait HLF 100 mufle fırın içinde koruyucu atmosfer olmadan 600 C’de 1 saatte gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.4. Sinterleme fırını

Sinterleme işlemi bittikten sonra numuneler ölçümler için GF Machining Solutions AgieCharmilles CUT 300 Sp modeli CNC Tel Erezyon cihazı kullanılarak çeşitli analizler için hazırlanmıştır.

3.6. Metolografi

Sinterleme işlemi sonrasında numuneler bakalite gömülmüş Resim 4.5 ve 4.6’da verilen cihazlarda yüzey parlatma ve 600, 800 ve 1200 numaralı zımparalar ile zımparalama işlemleri yapılmıştır. Yapılan bu işlemlerin amacı yüzeyde oluşmuş olması muhtemel

oksitlenmiş tabakayı temizlemektir. Yapılan metalografik analizler sonucu üretilen kompozit malzemelerin içindeki takviye elemanın dağılımı ve matris /partikül arayüz durumuyla ilgili veriler elde edilmesi planlanmıştır.



Resim 3.5. ATM Saphir 330 manyetik çift diskli zımpara-parlatma cihazı



Resim 3.6. Zımparalama cihazı

3.7. Yoğunluk Ölçümleri

Üretimi gerçekleştirilen kompozit parçalarda Arşimet prensibi kullanılarak yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Ölçüm için Resim 3.7’de verilen düzenek kullanılmıştır. Numuneler kuru şekilde tartılma işleminin ardından su içerisine konularak tartılmıştır. Malzemenin yoğunluk hesabı Eşitlik 3.1’de verilen formül ile bulunmuştur.



Resim 3.7. Sartorius marka yoğunluk ölçme cihazı

$$d = \frac{m}{V_y - V_s} \quad (3.1)$$

Eşitlik'e göre, d ifadesi yoğunluğu (g/cm^3), m ifadesi ağırlığı (g), V_y ifadesi yaş ağırlığı (g) ve son olarak V_s ifadesi su içerisindeki ağırlığı (g) işaret etmektedir.

3.8. Mikroyapı Analizleri

Üretilen saf ve B_4C seramik takviyeli numunelerin Resim 3.8'de verilen JEOL JSM 6060LV markasına ait SEM cihazı kullanılarak presleme, zımparalama gibi işlemler sonrası oluşan şekil ve morfolojik durumları tespit edilmiştir. Numunelerin tanecik yapısı, gözenek durumu, takviye malzemesi ile ana malzeme ara yüzey durumu, yapı farklılıkları gibi lokal değişimlerini saptamak için SEM analizleri x250, x500 ve x1000 büyütme oranlarında yapılmıştır. JEOL JSM 6060LV marka cihazın Enerji Dağılımlı X-ışınları Spektrometresi (EDS) ünitesi kullanılarak noktasal EDS analizleri yapılmıştır. Optik mikroskop için hazırlanan numuneler Resim 3.9'da verilen Leica DM4000M optik mikroskopta, mikro yapı görüntüleri elde edilmiştir.



Resim 3.8. Jeol JEM 6060 LV tarama elektron mikroskobu (EDS ünitesi mevcut)



Resim 3.9. Leika DM 4000M metal mikroskobu

3.9. Sertlik Testleri

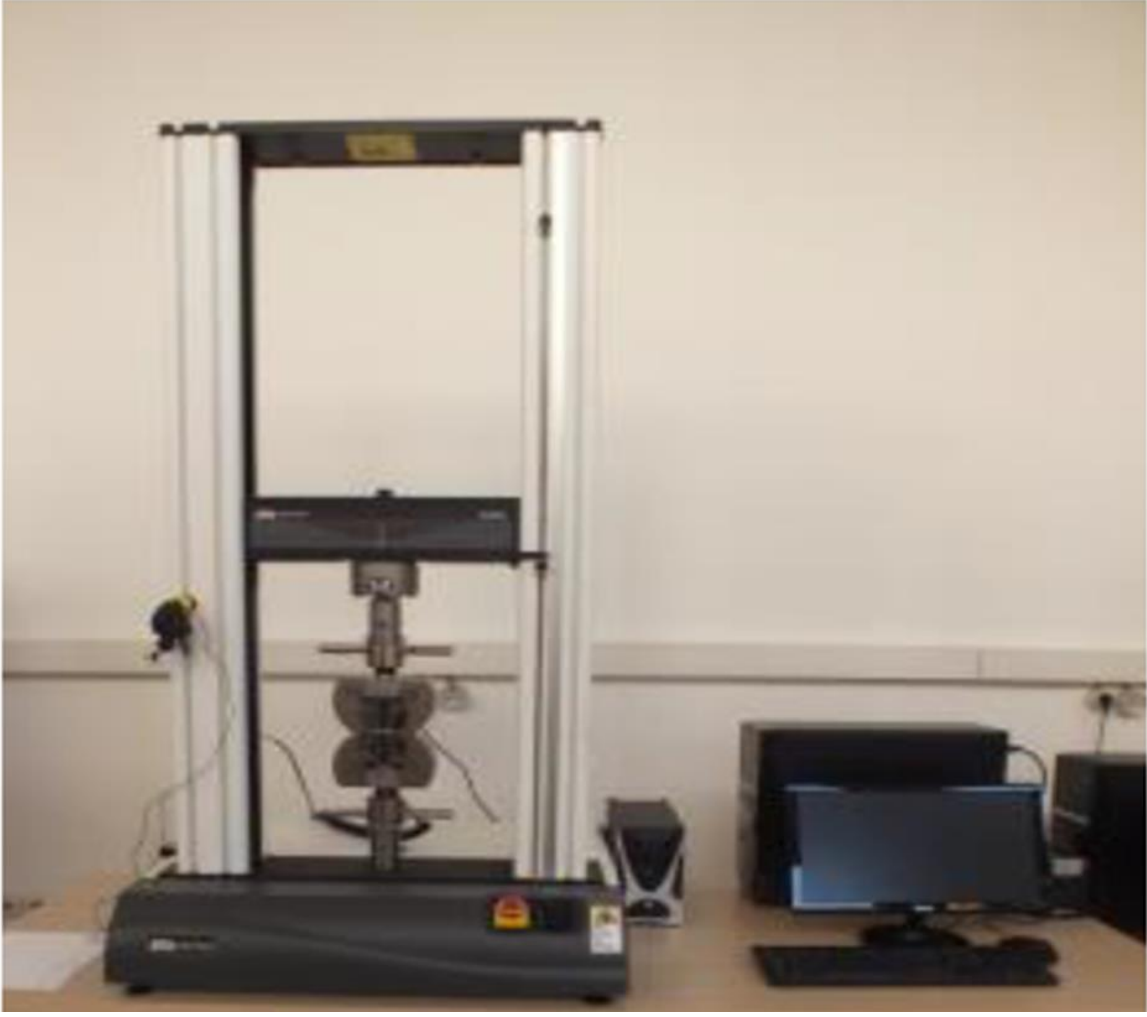
Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş kompozit malzemede değişen B_4C miktarının sertlik değerine etkisini incelemek için Resim 3.10’da verilen Emco Test Duravision 2000 Marka sertlik test cihazında numuneler için değişik noktalardan alınan sertlik ölçümlerinin aritmetik ortalamaları alınarak Brinell ölçümleri yapılmıştır.



Resim 3.10. Emco Test Duravision 2000 model sertlik cihazı

3.10. Çapraz Kırılma Testleri

Çapraz kırılma testleri Resim 3.11’de verilen Instron 3369 test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numuneler üzerinde yapılan hazırlık ve deney sürecinde MPIF Standart 41 dikkate alınmıştır.



Resim 3.11. Instron 3369 model ölçüm cihazı

3.11. Radyasyon Geçirgenlik Testleri

AZ91 matris içerisine farklı oranlarda B_4C eklenerek üretilen kompozit malzemelerin içerisine eklenen B_4C seramik malzemesinin kompozit malzemenin radyoaktif geçirgenlik özellikleri üzerindeki etkileri incelemek için Atom Enerjisi kurumunda radyoaktivite deneyleri yapılmıştır.

Deneylerde orta enerjili Cs-137 ve Co-60 radyoizotopları kullanılmıştır. Co-60 kaynağında 1173keV enerjisinde, Cs-137 kaynağında ise 662keV enerjisinde deneyler gerçekleştirilmiştir. GM-Counter/ Geiger-Müller Zahler PHYWE dedektörü ve Cs-137 gama kaynağı olarak kullanılmıştır. HPGe dedektörü (ORTEC/GEM50P4-83) analog dijital dönüştürücü ile kullanılmıştır. Ölçümler 5 dakikalık sürelerle, 7 cm kaynak detektör arası mesafe gözetilerek yapılmıştır.

Çizelge 3.3. Radyasyon kaynağı özellikleri

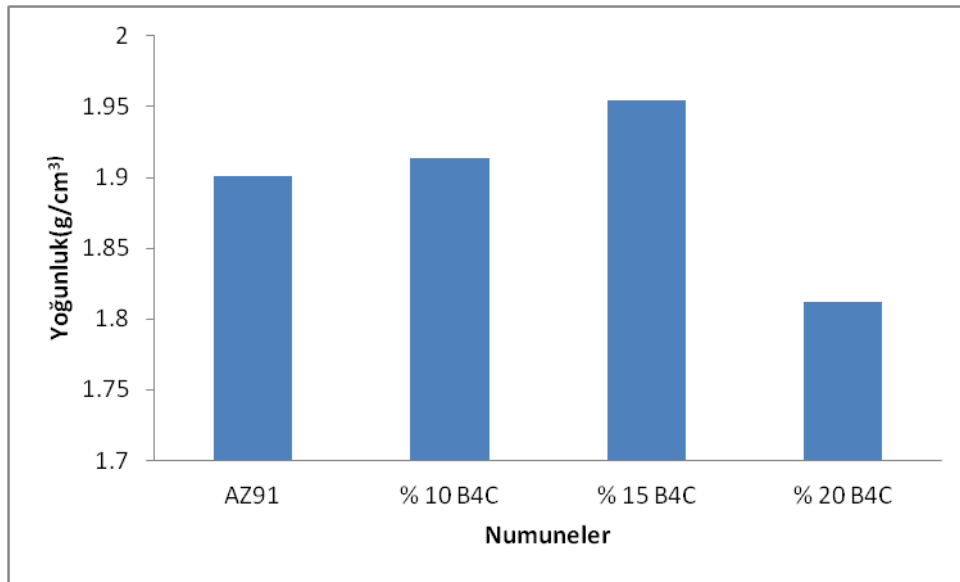
Radyasyon Kaynağı	Enerji	Radyasyon Tipi
Cs-137	0.662MeV	Gama Radyasyonu
Co-60	1.173MeV	Gama Radyasyonu

4. DENEYSEL SONUÇLAR

AZ91 matrisli farklı oranlarda B₄C seramik takviyeli kompozit numunelere yapılan deneysel ve teorik çalışmalar sonucu ortaya çıkan bulgular aşağıda incelenmiştir.

4.1. Yoğunluk Sonuçları

Farklı oranlarda B₄C takviye edilerek üretilen AZ91 kompozit numuneleri toz metalurjisi yöntemiyle malzeme içerisinde var olan gözenek ve takviye oranının arasındaki ilişkiyi anlayabilmek için yapılan Arşimet yoğunluk ölçümleri ile malzemenin nispi yoğunluk ölçümlerinin kıyaslaması şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Numunelerin yoğunluk sonuçları

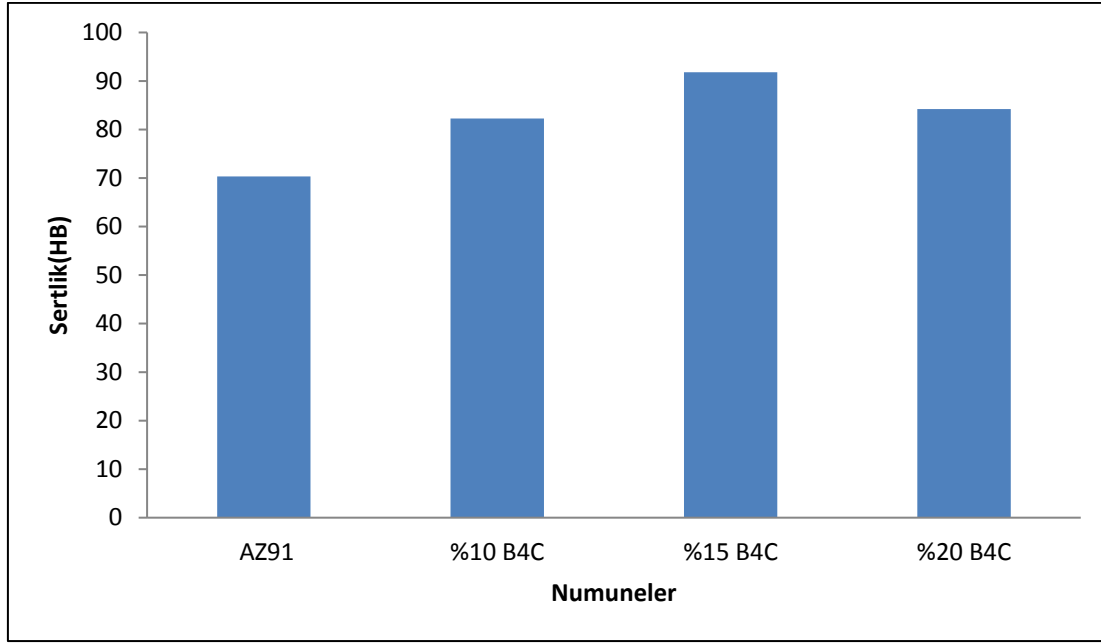
Üretilen numenler içerisinde eklenen takviye malzemesi miktarına göre yoğunlukta değişimler görülmektedir. AZ91, %10 B₄C, %15 takviyeli kompozit malzemelerin deneysel yoğunluk değerlerinin malzemenin teorik yoğunluk değerlerinden daha yüksek değerleri alırken %20 B₄C takviyeli kompozit malzemelerin deneysel sonuçları teorik sonuçlarının altındadır. Bu durumun üretim koşullarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Takviye malzemesi eklenmeyen AZ91’in deneysel yoğunluğu 1.9263 g/cm³ ‘tür. %10 B₄C takviyeli numunenin yapılan deneyler sonucu görülen yoğunluğu 1.9482 g/cm³ , % 15 B₄C takviyeli numunenin deneysel yoğunluğu ise 1.9605 g/cm³ ‘tür.

Son olarak % 20 B₄C takviyeli AZ91'in deneysel yoğunluğu 1.8386 g/cm³ 'tür. Sayısal veriler incelendiğinde deneysel yoğunlukların takviye oranı arttıkça, artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Söz konusu artışın takviye oranı arttıkça numunenin gözenek yapısındaki boşluğunun azalmasından kaynaklanmaktadır. Seramik takviyeli kompozit malzemenin yoğunluğunun AZ91'den fazla olmasının sebebi, B₄C'ün yoğunluğunun AZ91'in yoğunluğundan fazla olmasıdır. En çok yoğunluk artışının %10 B₄C takviyeli kompozit malzeme de olduğu görülmektedir. Takviye elemanın miktarı arttıkça parçacık matris yüzey arası boşluk miktarının arttığı bu duruma paralel olarak yoğunlukta kısmi azalmaların olduğu düşünülmektedir.

4.2. Numunelerin Sertlik Sonuçları

Şekil 4.2'de AZ91 matrisli B₄C takviyeli sıcak presleme ve sinterleme yöntemleriyle üretilmiş kompozit numunelerin sertlik deney sonuçlarına göre en düşük sertlik takviye malzemesiz AZ91'de ölçülmüştür.

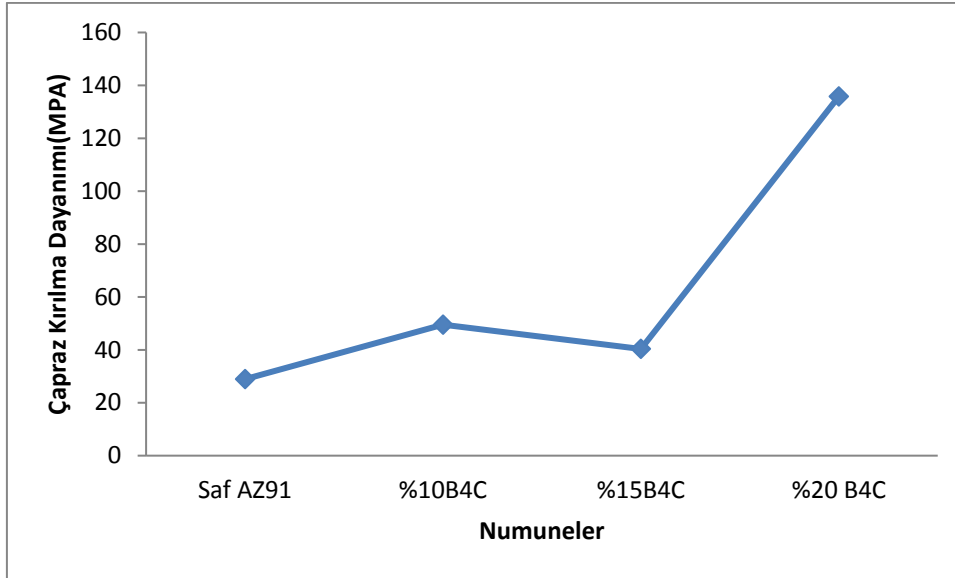
AZ91 matrisli B₄C takviyeli numuneler, takviye malzemesi içermeyen AZ91'le kıyasladığında sertlik değerlerinde artış meydana geldiği görülmüştür. En yüksek sertlik değeri 91.8 HB ile %15 B₄C takviyeli AZ91 numunelerde görülmüştür. %10 B₄C takviyeli AZ91'in sertlik değeri 82.27 HB iken %20 B₄C takviyeli AZ91 sertlik değerleri 84.23HB ile sertlik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. %15 B₄C içeren numunelerde elde edilen sertlik değeri ve yoğunluk değeri bir biri ile örtüşmektedir. Artan yoğunluk oranına bağlı olarak kompozit numunenin dağılımlı sertlik değerinde de artış olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.2. Numunelerin sertlik sonuçları

4.3. Çapraz Kırılma Dayanımı Sonuçları

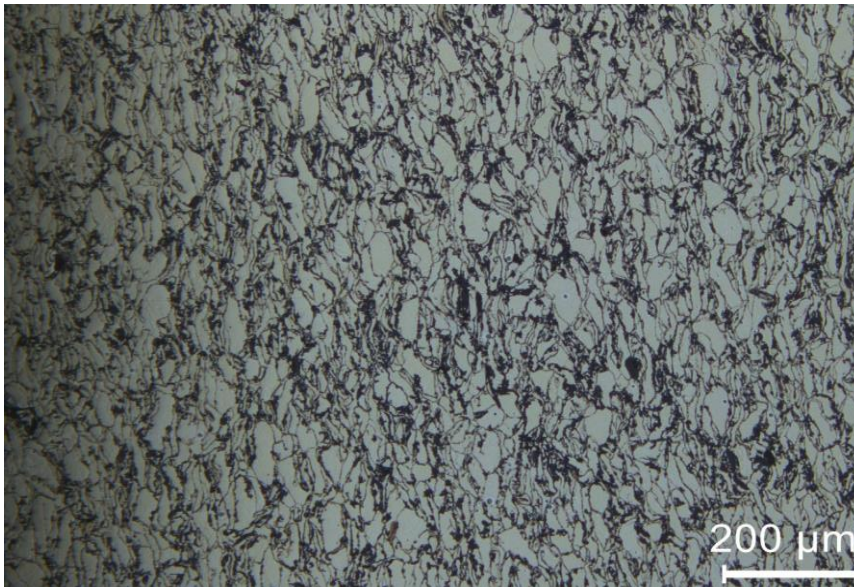
Şekil 4.3'te AZ91 matrisli B₄C takviyeli sıcak presleme ve sinterleme yöntemleriyle üretilmiş kompozit numunelerin çapraz kırılma dayanımları gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en düşük çapraz kırılma dayanımı saf AZ91'de ölçülmüştür. Eklenen seramik parçacık, metal matrisli kompozit numunenin çapraz kırılma dayanımı artırmıştır. Yapılan deneylerde en yüksek dayanım 129 MPa ile %20 B₄C'lik numunede yakalanmıştır. %10 ile 15 B₄C içeren numunelerde sonuçların birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. Takviye malzemesinin ağırlıkça oranı arttıkça numunelerin çapraz kırılma dayanımı değerleri artmıştır.



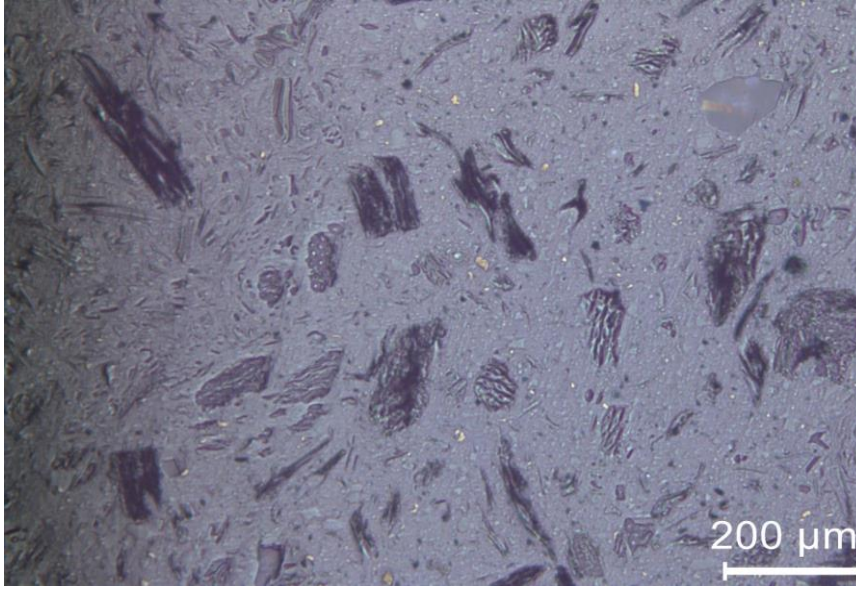
Şekil 4.3. Numunelerin çapraz kırılma dayanımı grafiği

4.4. Optik Mikroskop Sonuçları

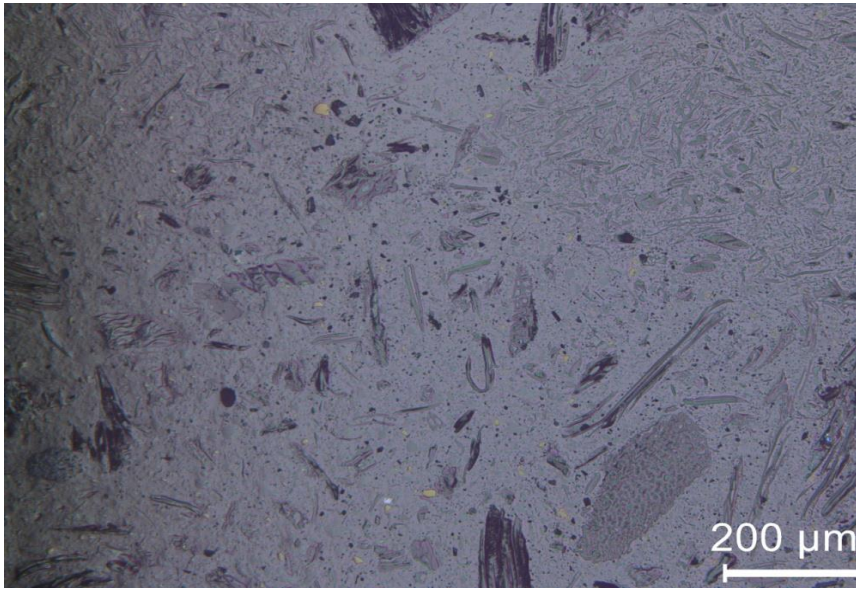
AZ91 matrisli B₄C takviyeli kompozit numunelerin incelenmesi için metalografi işlemi yapılarak optik mikroskop sonuçları neticesinde yapısal özellikleri incelenmiştir. Numuneler 200µm oranında optik mikroskopta büyütülerek partikül dağılımı, gözeneklilik gibi özellikleri incelenmiştir. Şekil 4.4’de saf AZ91’in optik mikroskop analizi verilmiştir.



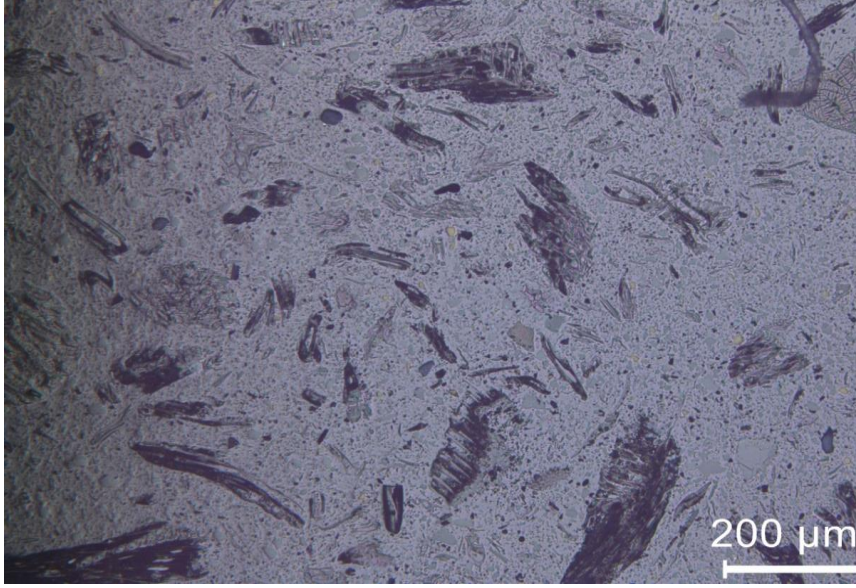
Şekil 4.4. Takviyesiz AZ91 optik mikroskop analizi



Şekil 4.5. %10B₄C Takviyeli AZ91 optik mikroskop analizi



Şekil 4.6. %15B₄C Takviyeli AZ91 optik mikroskop analizi



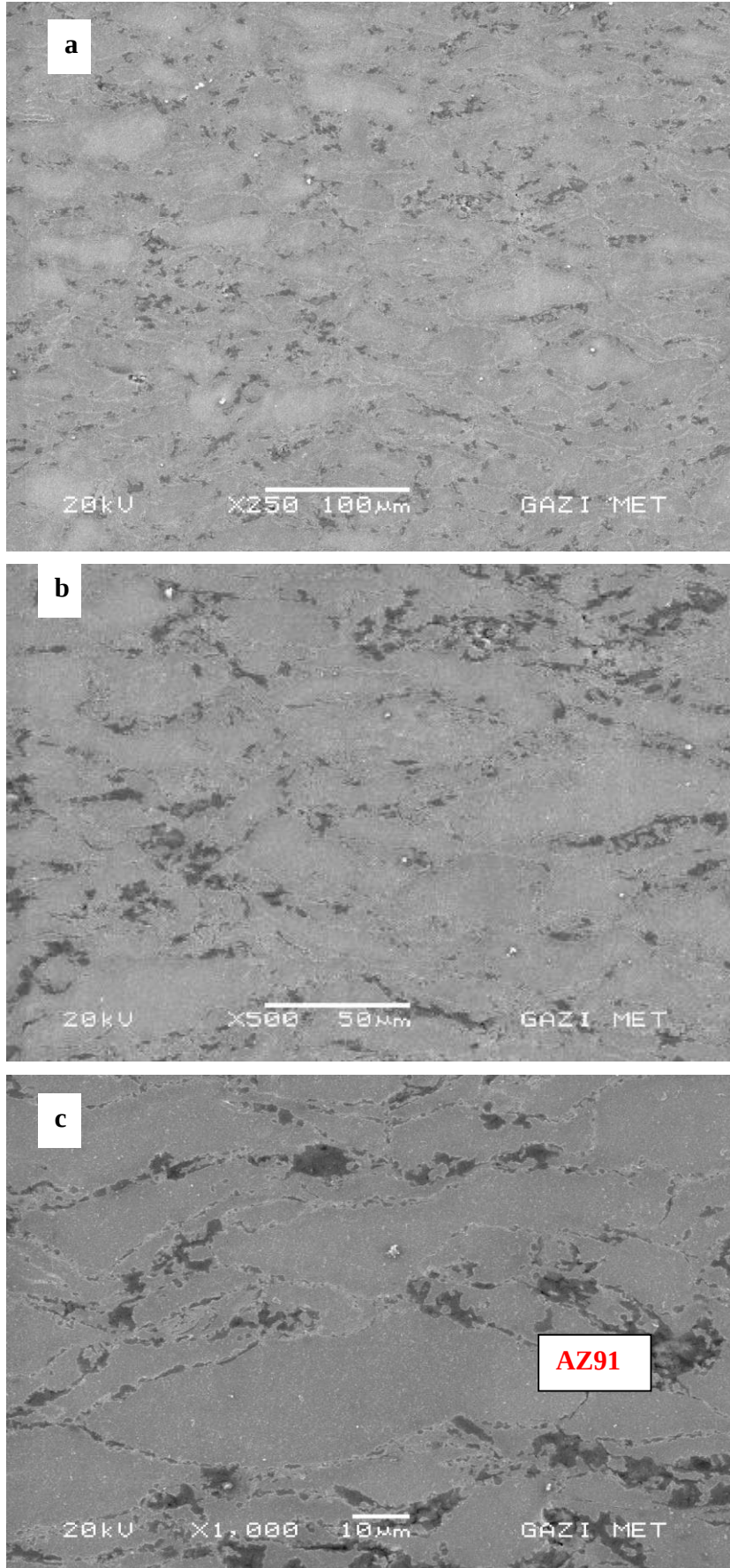
Şekil 4.7. %20 B₄C Takviyeli AZ91 optik mikroskop analizi

Farklı miktarlarda B₄C takviye malzemesi eklenen kompozit numunelerin Şekil 4.5 ile Şekil 4.7’de gösterilen optik mikroskop analizleri incelendiğinde beyaz kısımların AZ91 siyah kısımların gözenek ve koyu gri kısımların B₄C olduğu anlaşılmaktadır.

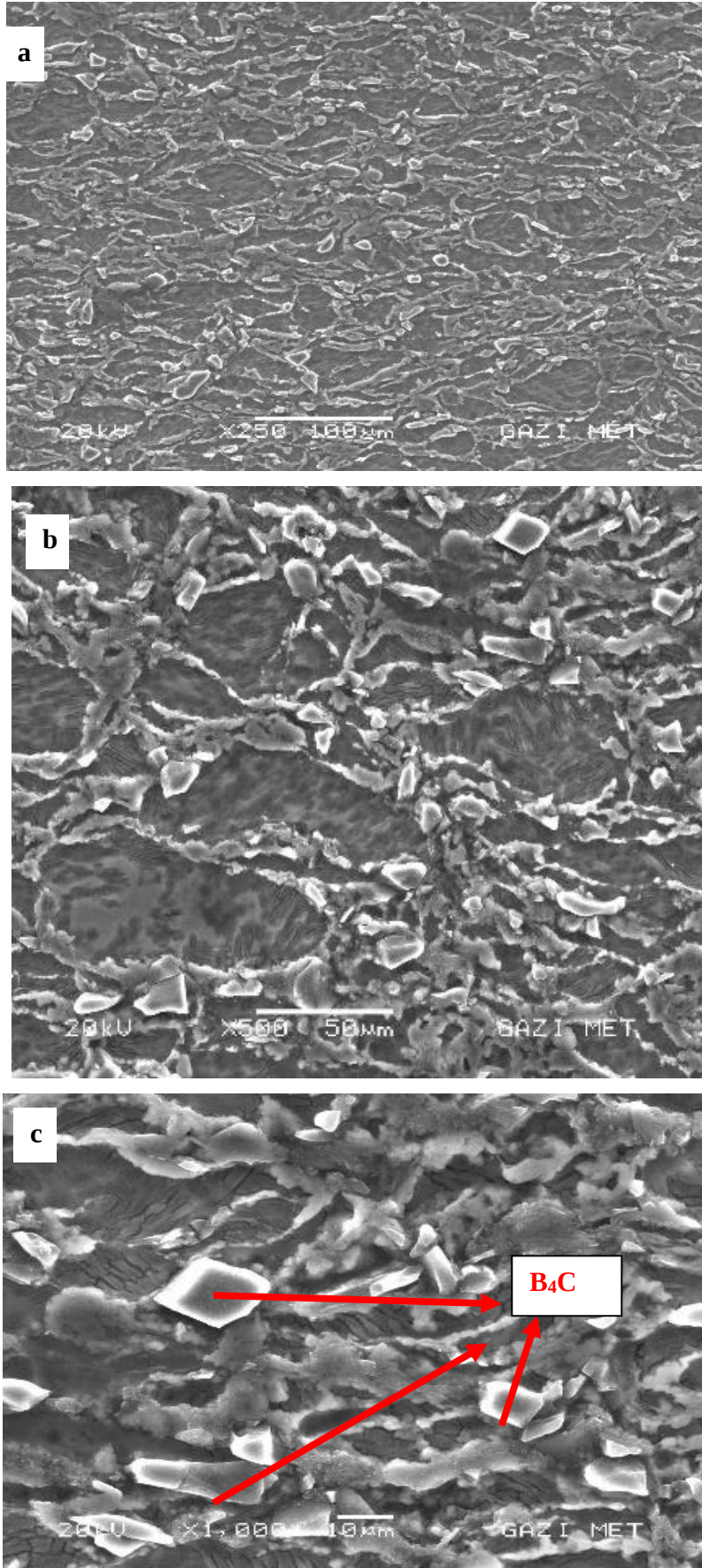
%10 B₄C metal matrisli kompozit malzeme incelendiğinde topaklanma diğer numunelere oranla daha az olduğu gözlemlenmiştir. B₄C parçacıklarının matris içinde homojen bir dağılım sergilediği takviye malzemesinin artmasıyla gözenek sayısında artış olduğu görülmüştür. Matris yapı içinde bulunan gözeneklerin bağımsız bir yapı sergilediği görülmüştür. B₄C parçacıklarında kısmen kümelenme olduğu ve matris ara yüzeyi ile parçacık arasında bölgesel boşluklar görülmektedir.

4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektrometresi (EDS) Analizi

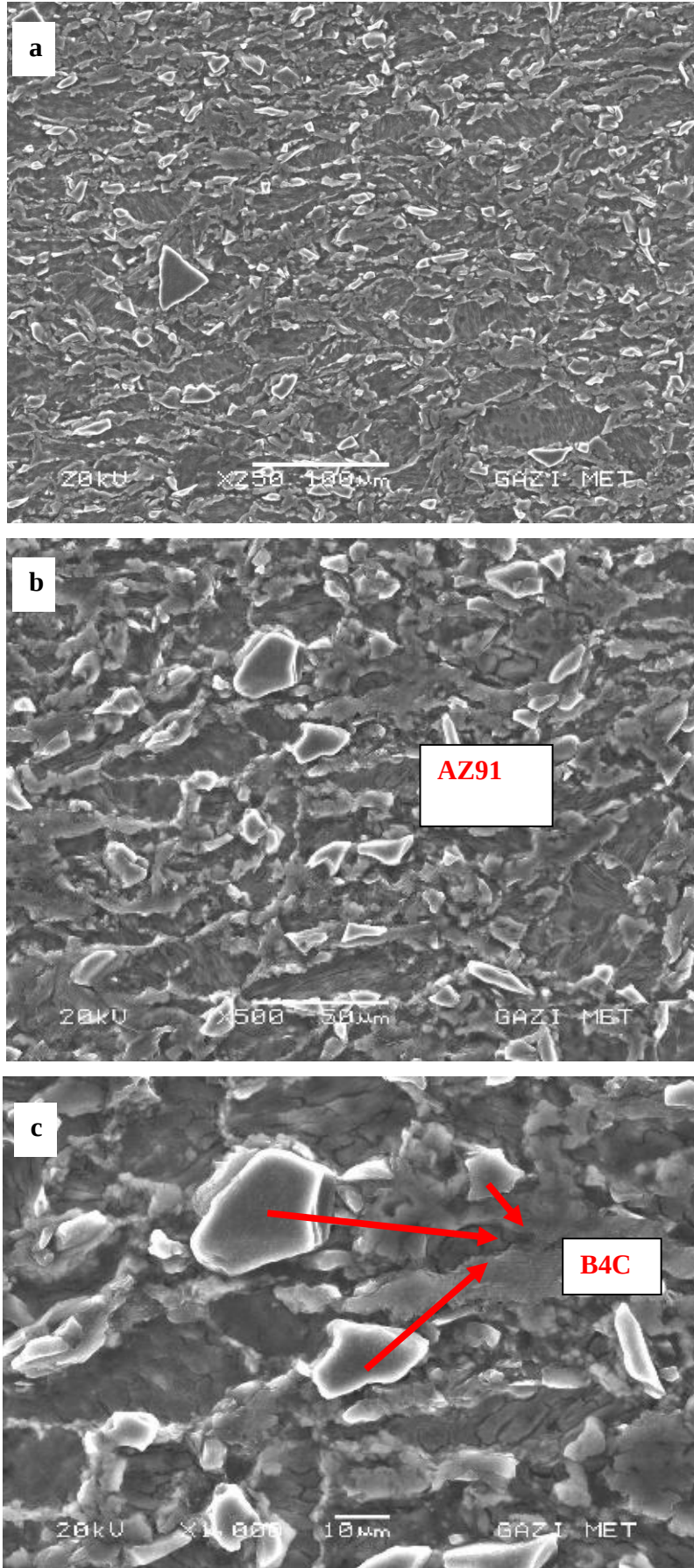
AZ91 matrisli B₄C takviyeli kompozit numuneler, SEM ve EDS incelemelerine tabi tutulmuştur. Numunelerin işlem görmüş yüzeylerinden x250,x500,x1000 oranlarında SEM analizleri alınmıştır .



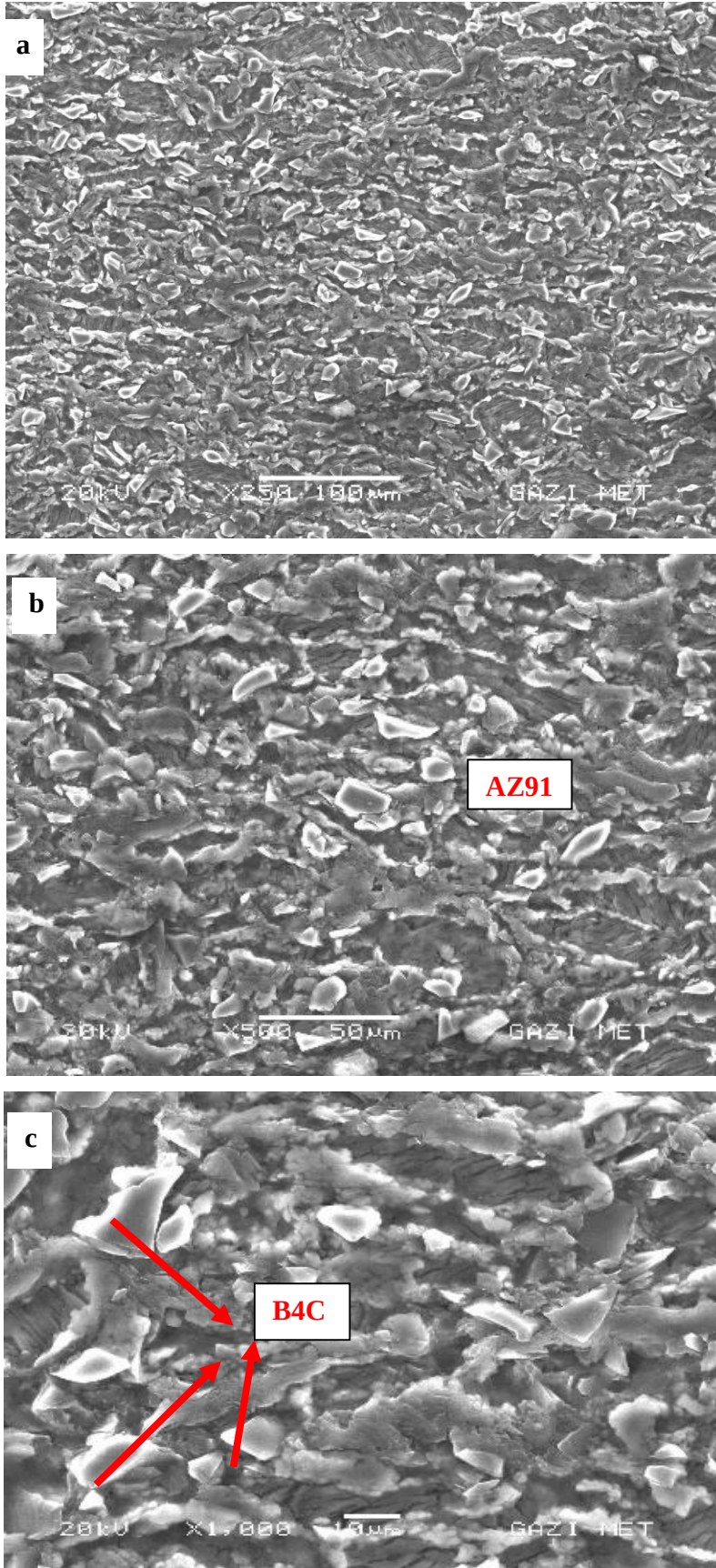
Şekil 4.8. Saf AZ91 'in SEM analizi; a)x250 b) x500 c) x1000



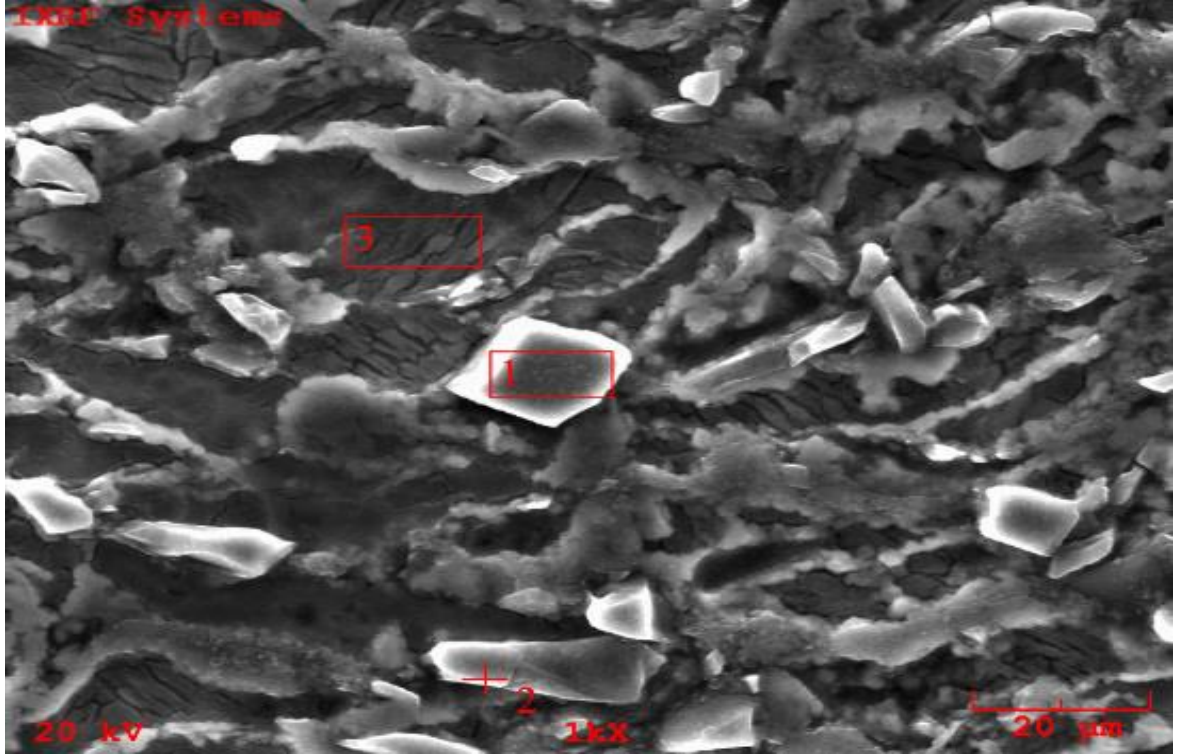
Şekil 4.9.%10 B₄C içeren AZ91 'in SEM analizi; a)x250 b) x500 c) x1000



Şekil 4.10.%15 B₄C içeren AZ91 'in SEM analizi; a)x250 b) x500 c) x1000



Şekil 4.11.%20 B₄C içeren AZ91 'in SEM analizi; a)x250 b) x500 c) x1000



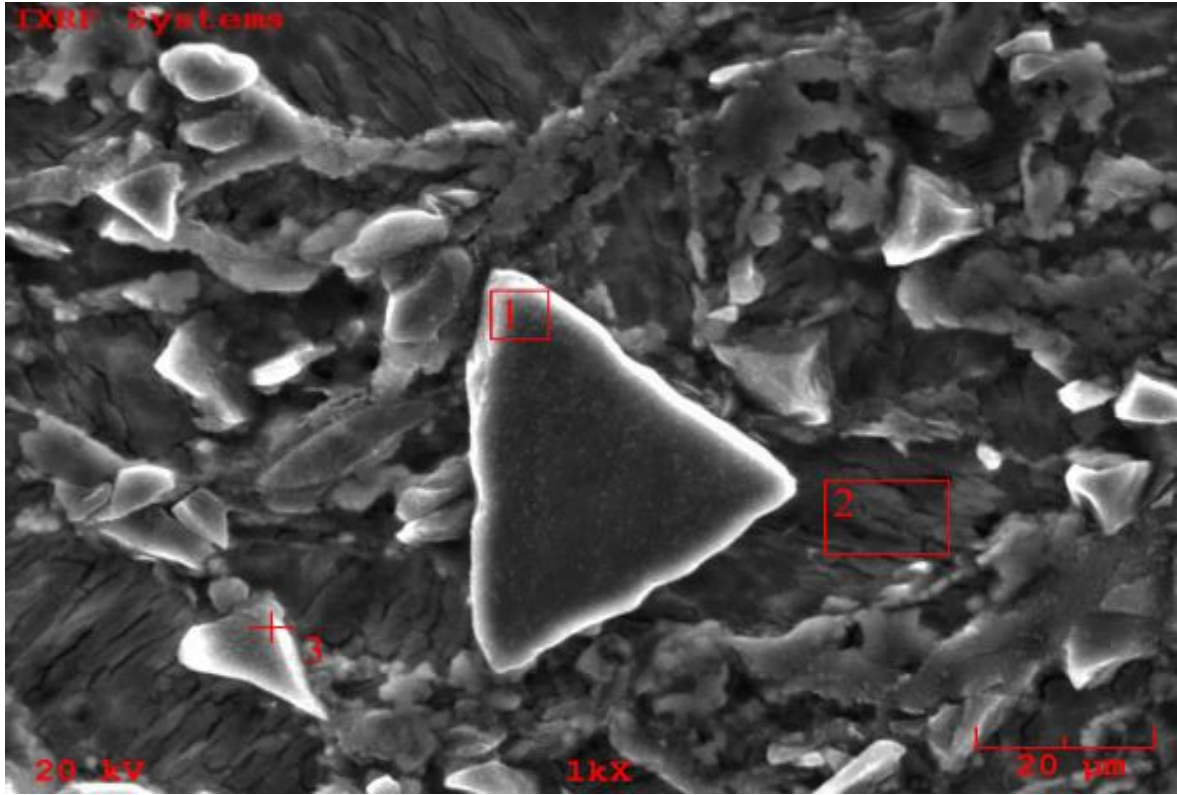
Şekil 4.12. %10 B₄C içeren AZ91 'in EDS analizi

1						
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc		
B	Ka	6.71	1.638	71.330	wt. %	
C	Ka	0.62	0.499	18.531	wt. %	
O	Ka	1.98	0.890	6.178	wt. %	
Mg	Ka	19.94	2.824	3.892	wt. %	
Al	Ka	0.36	0.379	0.069	wt. %	
Zn	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
				100.000	wt. %	Total
kV		20.0				
Takeoff Angle		35.0°				
Elapsed Livetime		10.0				

2						
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc		
B	Ka	3.14	1.121	58.044	wt. %	
C	Ka	0.81	0.570	33.780	wt. %	
O	Ka	0.89	0.597	6.188	wt. %	
Mg	Ka	4.76	1.380	1.938	wt. %	
Al	Ka	0.13	0.230	0.050	wt. %	
Zn	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
				100.000	wt. %	Total
kV		20.0				
Takeoff Angle		35.0°				
Elapsed Livetime		10.0				

3					
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
B	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %
O	Ka	2.99	1.094	5.290	wt. %
Mg	Ka	367.14	12.114	91.716	wt. %
Al	Ka	0.24	0.312	0.185	wt. %
Zn	Ka	2.20	0.937	2.809	wt. %
				100.000	wt. %
				Total	
kV		20.0			
Takeoff Angle		35.0°			
Elapsed Livetime		10.0			

Şekil 4.13. % 10 B₄C içeren AZ91 'in EDS analizi x1000 ; a)1.bölge b) 2.bölge c) 3.bölge



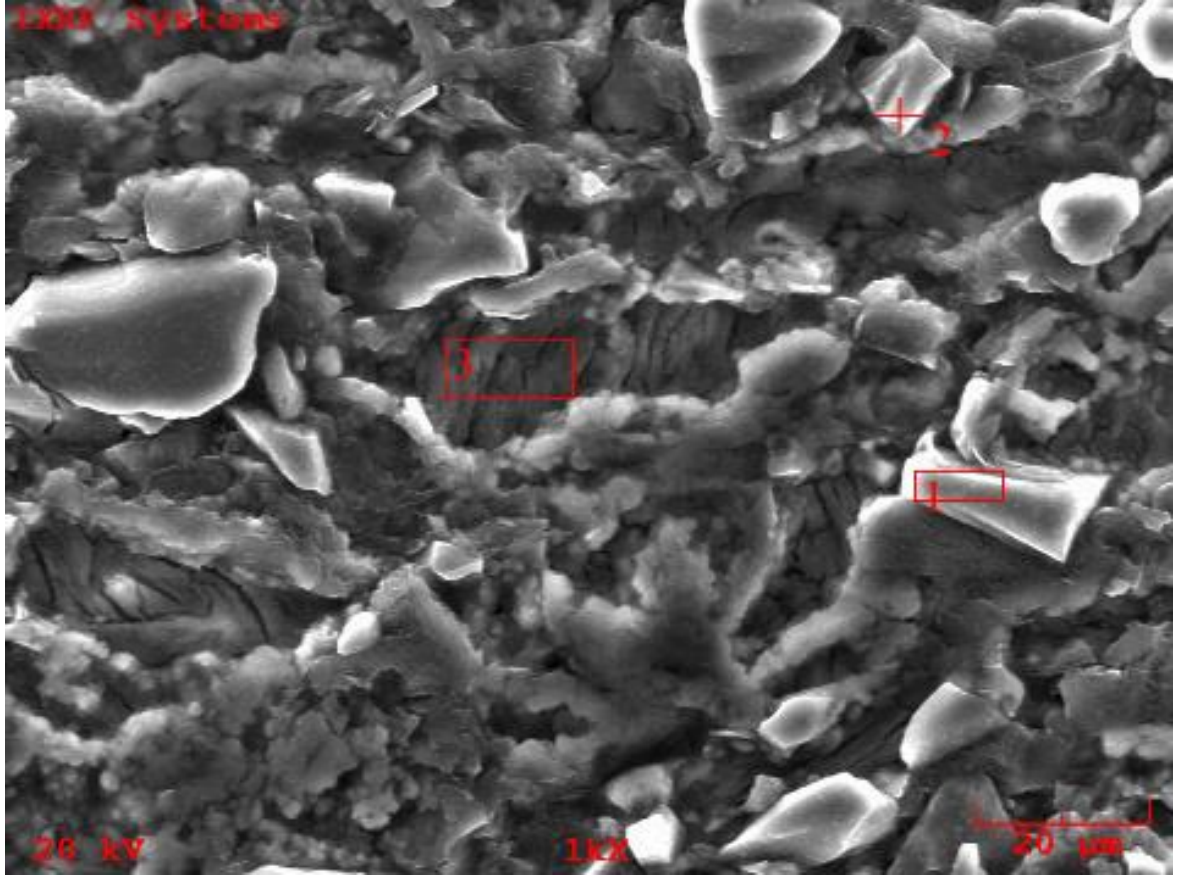
Şekil 4.14. %15 B₄C içeren AZ91 'in EDS analizi

1						
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc		
B	Ka	14.36	2.396	62.100	wt. %	
C	Ka	3.08	1.110	29.445	wt. %	
O	Ka	3.40	1.166	4.683	wt. %	
Mg	Ka	46.71	4.321	3.749	wt. %	
Al	Ka	0.30	0.345	0.023	wt. %	
Zn	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
				100.000	wt. %	Total
kV 20.0						
Takeoff Angle 35.0°						
Elapsed Livetime 10.0						

2						
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc		
B	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
O	Ka	5.44	1.475	12.575	wt. %	
Mg	Ka	231.24	9.616	84.660	wt. %	
Al	Ka	0.24	0.313	0.247	wt. %	
Zn	Ka	1.42	0.754	2.517	wt. %	
				100.000	wt. %	Total
kV 20.0						
Takeoff Angle 35.0°						
Elapsed Livetime 10.0						

3						
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc		
B	Ka	5.38	1.468	65.165	wt. %	
C	Ka	0.86	0.585	30.666	wt. %	
O	Ka	0.31	0.355	1.620	wt. %	
Mg	Ka	4.67	1.367	1.344	wt. %	
Al	Ka	0.94	0.613	0.249	wt. %	
Zn	Ka	0.72	0.538	0.956	wt. %	
				100.000	wt. %	Total
kV 20.0						
Takeoff Angle 35.0°						
Elapsed Livetime 10.0						

Şekil 4.15. %15 B₄C içeren AZ91 'in EDS analizi x1000 ; a)1.bölge b) 2.bölge c) 3.bölge



Şekil 4.16. %20 B₄C içeren AZ91 'in EDS analizi

1						
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc		
B	Ka	8.81	1.877	53.682	wt. %	
C	Ka	2.93	1.083	42.357	wt. %	
O	Ka	1.09	0.662	3.345	wt. %	
Mg	Ka	3.28	1.145	0.530	wt. %	
Al	Ka	0.58	0.483	0.085	wt. %	
Zn	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
				100.000	wt. %	Total
kV 20.0						
Takeoff Angle 35.0°						
Elapsed Livetime 10.0						

2						
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc		
B	Ka	7.14	1.689	67.820	wt. %	
C	Ka	0.85	0.582	24.395	wt. %	
O	Ka	1.58	0.794	5.564	wt. %	
Mg	Ka	9.34	1.933	1.966	wt. %	
Al	Ka	1.29	0.719	0.255	wt. %	
Zn	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
				100.000	wt. %	Total
kV 20.0						
Takeoff Angle 35.0°						
Elapsed Livetime 10.0						

3						
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc		
B	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
O	Ka	7.57	1.740	19.878	wt. %	
Mg	Ka	167.20	8.176	77.555	wt. %	
Al	Ka	0.45	0.423	0.521	wt. %	
Zn	Ka	0.96	0.620	2.047	wt. %	
				100.000	wt. %	Total
kV 20.0						
Takeoff Angle 35.0°						
Elapsed Livetime 10.0						

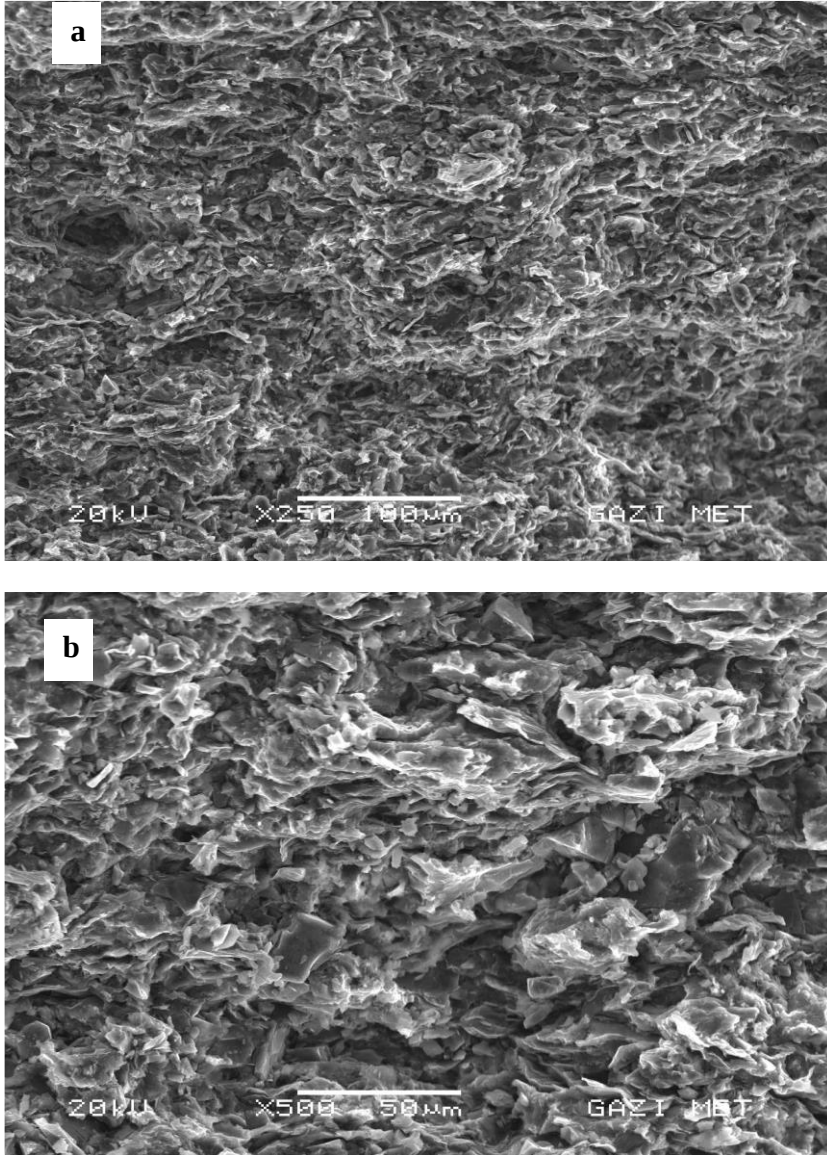
Şekil 4.17. %20 B₄C içeren AZ91 'in EDS analizi x1000 ; a)1.bölge b) 2.bölge c) 3.bölge

Şekil 4.8 ile Şekil 4.17 arasında verilen takviye malzemesiz ve %10,%15,%20 oranlarında B₄C ile takviyelendirilmiş AZ91 numunelerine ait EDS ve SEM analizleri verilmiştir. Takviye malzemesiz AZ91 ‘in içinde Mg, Al ve Zn gibi elementlerin olduğu bilinmektedir. Görüntüler incelendiğinde yer yer hafif oksitlenmelerin de olduğu görülmektedir. Şekil 4.10 ile Şekil 4.13 arasında gösterilen SEM analizleri incelendiğinde B₄C takviye malzemesi eklenen kompozit numunelerde, B₄C partiküllerinin köşeli morfolojiye sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.9 ile Şekil 4.11 arasında görüldüğü üzere takviye malzemesinin matris malzeme içinde homojen bir dağılım sergilediği tespit edilmiştir. B₄C takviye etrafında birleşmenin tam olarak gerçekleşmediği ve gözenek oluşumu görülmektedir. Şekil 4.12 ile Şekil 4.17 arasında gösterilen EDS incelemelerinde siyah olan yerlerin matris malzemesi olan AZ91 olduğu, koyu renkli kısımların takviye elemanı olan B₄C olduğu ve takviye elemanın çevresinde yer yer görülen beyaz renkli kısımların boşluklar olduğu anlaşılmaktadır. Takviye malzemesinin oranı arttıkça birikmelerin de arttığı ve matris malzemesi içinde B₄C taneciklerinin daha fazla bir araya gelerek numunelerde daha az homojenlik olduğu görülmektedir. Şekil 4.13 ile Şekil 4.17’de gösterilen EDS analizlerinde görüldüğü üzere numunelerde yüksek oranda B elementi bulunmuş olup matris elemanı olan AZ91’de B elementinin olmadığı düşünülünce görülen parçacıkların B₄C olduğu anlaşılmaktadır.

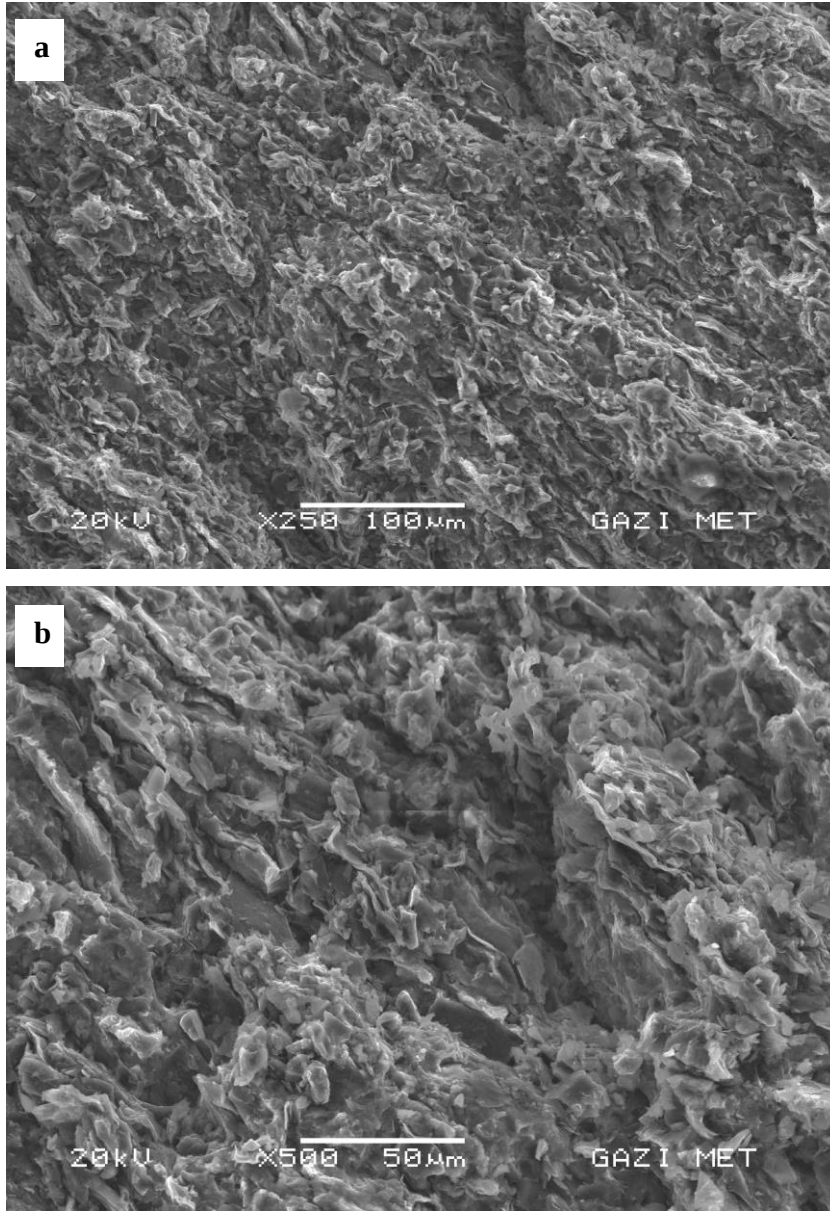
4.6. Kırık Yüzey İncelemeleri

Farklı oranlarda B₄C ile takviye malzemesi eklenen AZ91 matrisli numunelerde çapraz kırılma testi sonrasında kırık yüzeylerden SEM analizleri yapılmış Şekil 4.18-4.21 gösterilmiştir. Al içeren alaşımlarda hasarın genellikle büyük çökeltilerin ve parçacık kümelenmelerinin olduğu bölgelerde bazen de küçük çökelti etrafında ve mikro çatlaklar ile başladığı bilinmektedir. Bütün numuneler çukurcuklu sünek kırılma davranışı sergilemiştir.

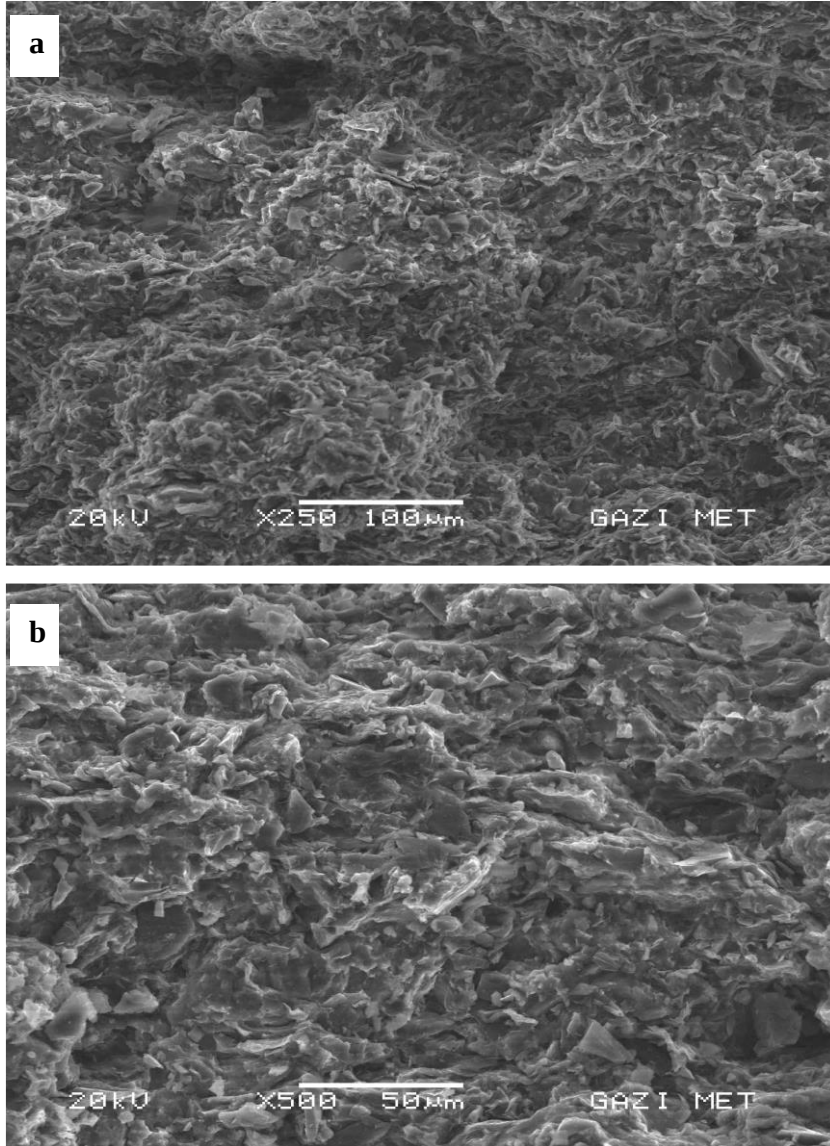
İncelenen şekillerde küçük boşluklar ve etrafında çatlaklar olduğu görülmektedir. Çapraz kırılma sonrası numunelerde çukurcuklu sünek kırılma görülmektedir. B₄C seramik takviyesi eklenen numuneler incelendiğinde takviye oranı ile çukurların küçüldüğü bunun da sünek davranışı azalttığı düşünülmektedir. Parçacık takviyesi arttıkça yüzeylerin daha pürüzsüz ve parlak olduğu görülmüştür.



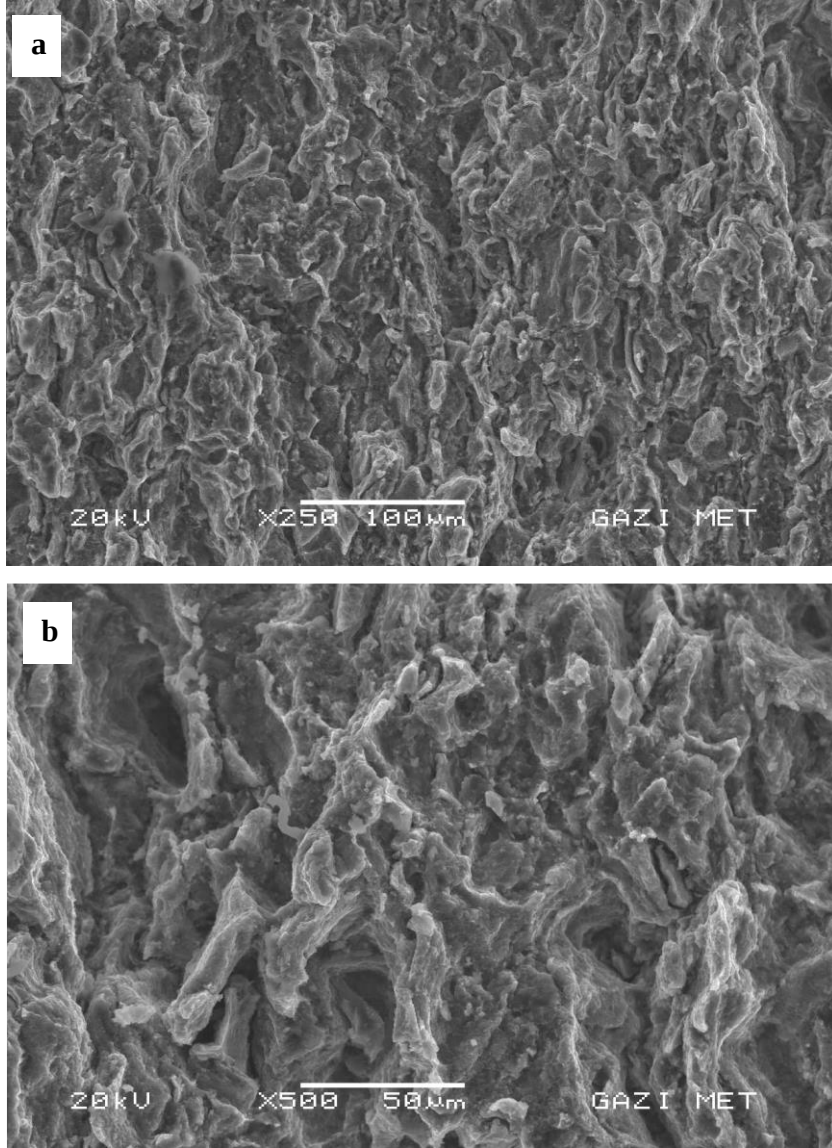
Şekil 4.18. Çapraz kırılma deneyi uygulanan saf AZ91'in kırık yüzey analizi a) X250 Büyütme b) X500 büyütme



Şekil 4.19. Çapraz kırılma deneyi uygulanan %10 B₄C takviyeli AZ91'in kırık yüzey analizi a) X250 Büyütme b) X500 büyütme



Şekil 4.20. Çapraz kırılma deneyi uygulanan %15 B₄C takviyeli AZ91'in kırık yüzey analizi a) X250 Büyütme b) X500 büyütme

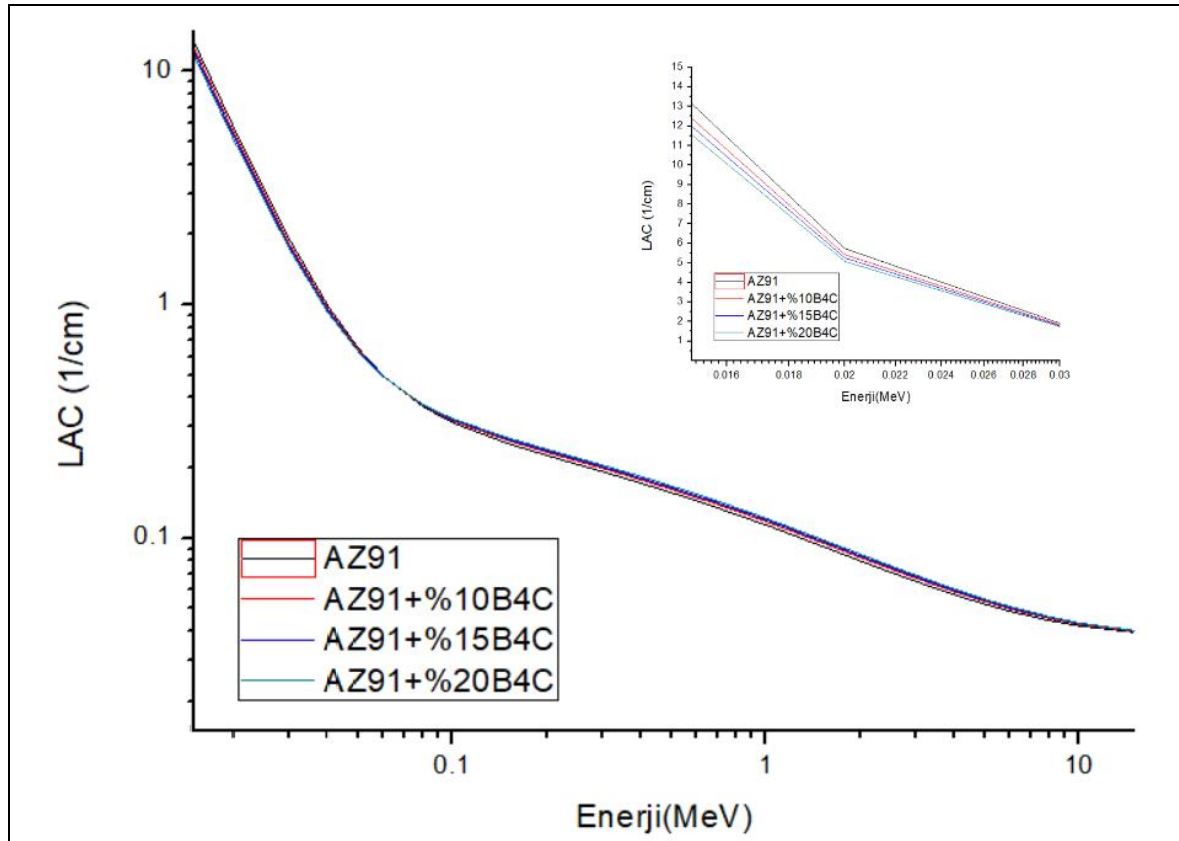


Şekil 4.21. Çapraz kırılma deneyi uygulanan %20 B₄C takviyeli AZ91'in kırık yüzey analizi a) X250 Büyütme b) X500 büyütme

4.7. Teorik Radyasyon Hesaplama Sonuçları

Üretilen kompozit numunelerde radyoaktif özelliklerin deneysel bulguları elde edilmeden önce çalışmaya baz olması amacıyla Phy-X/ PSD programı kullanılarak numunelerin teorik radyoaktif özellikleri araştırılmıştır. Bu araştırma verileri kullanılarak deneysel bulgular ile teorik sonuçlar karşılaştırılmış, farklı oranlarda eklenen seramik takviyenin kompozit malzemenin radyasyon zırhlama özelliklerine ne kadar katkı sağladığı analiz edilmiştir. Ek olarak üretim koşullarının zırhlama özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

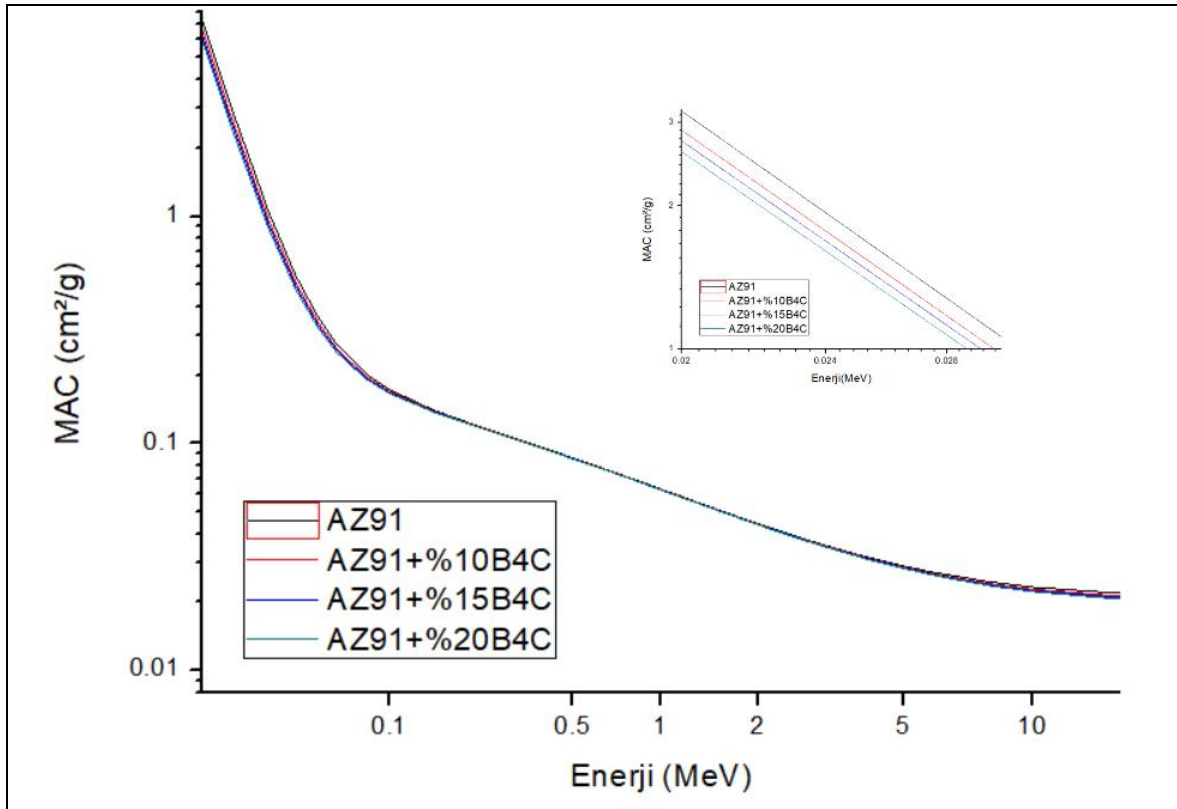
Şekil 4.22.'de tüm numunelerin LAC(Lineer Zayıflama Katsayısı) değerleri teorik yoğunluk kullanılarak hesaplanmıştır. Değerler birbirine yakın olmasına rağmen Takviye malzemesi eklenen numuneler ile saf AZ91 arasında bir fark olduğu görülmektedir. Özellikle ağırlıkça %20 B₄C eklenen numune ile takviyesiz AZ91 arasındaki fark daha net görülmektedir. LAC değerleri arasında AZ91>%10 B₄C+AZ91> %15 B₄C +AZ91 >%20 B₄C+AZ91 olduğu görülmektedir. Enerjinin artmasıyla LAC değeri azalmaktadır.



Şekil 4.22. LAC grafiği

LAC değerinin yoğunluğa bağlı değişimi MAC (kütle zayıflatma katsayısı) değerini verir. Şekil 4.23. 'de numunelerin 0-10MeV arasındaki farklı foton enerjilerinde MAC sonuçları verilmiştir. MAC değeri düşük enerji aralığında foton enerjisi arttıkça şiddetli bir azalma göstermektedir. Düşük enerji aralığındaki (0.015- 0.5 MeV), fotoelektrik soğurmanın baskınlığından kaynaklanmaktadır. Fotoelektrik etkinin soğurma kesiti numunenin atom numarası ile değişir. Bu sebeple düşük enerji aralığında numuneler en yüksek MAC değerlerine ulaşmıştır. 0.5- 3.38 MeV enerji aralığında Compton saçılmaya bağlı olarak kimyasal yapılarından bağımsız şekilde numuneler neredeyse aynı değerleri almıştır.

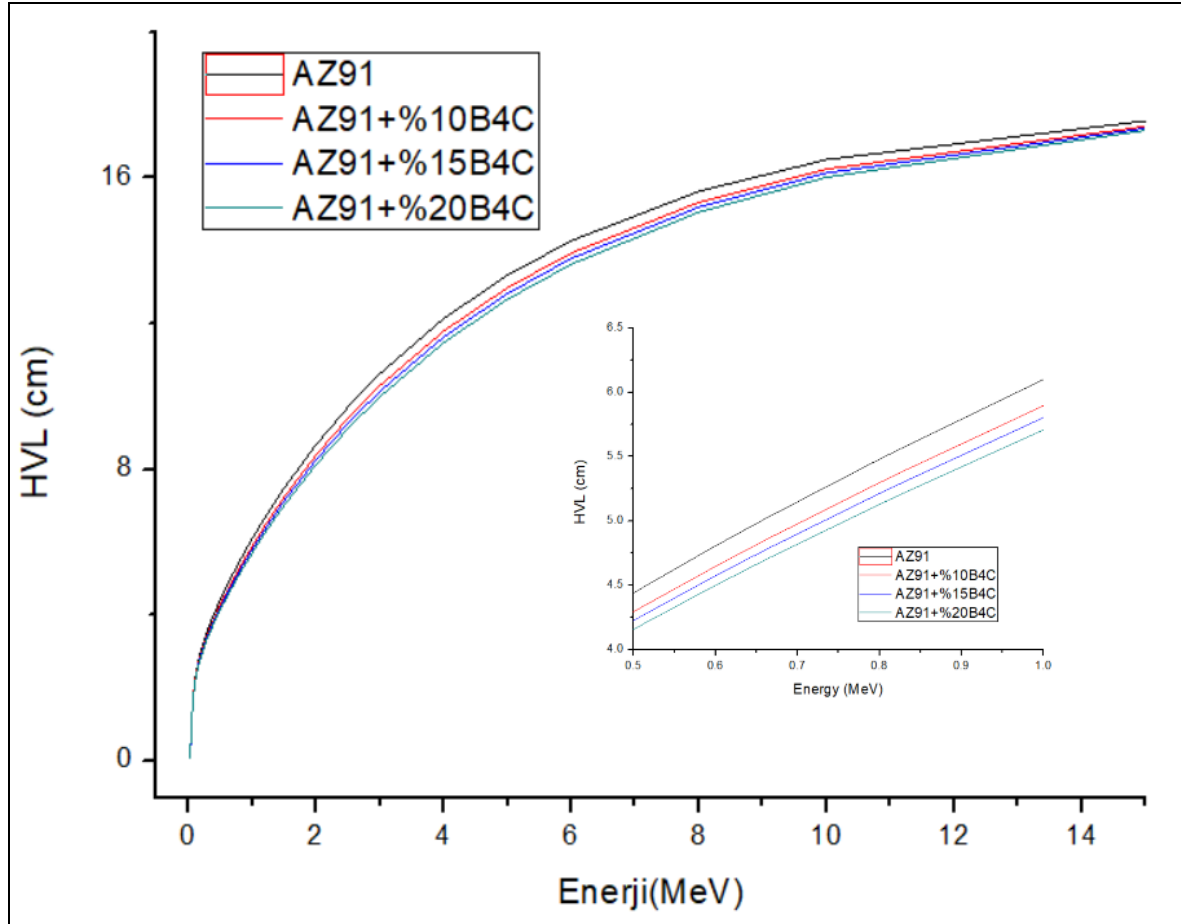
Compton saçılımının baskın olduğu bölgede soğurma olasılığı minimum olduğundan çift üretim bölgesinde (1.02MeV) MAC değerlerinde Compton saçılımına oranla daha fazla artan enerji ile artış görülmektedir. MAC değerleri ile LAC değerlerinin birbirine çok yakın olmasının kompozit malzemelerin içindeki takviye elemanı miktarının ağırlıkça az dolayısıyla yoğunlukların birbirine çok yakın olmasıdır. MAC değerlerine göre bir sıralama yapmak istersek $AZ91 > \%10 B_4C + AZ91 > \%15 B_4C + AZ91 > \%20 B_4C + AZ91$ sonucu ortaya çıkmaktadır.



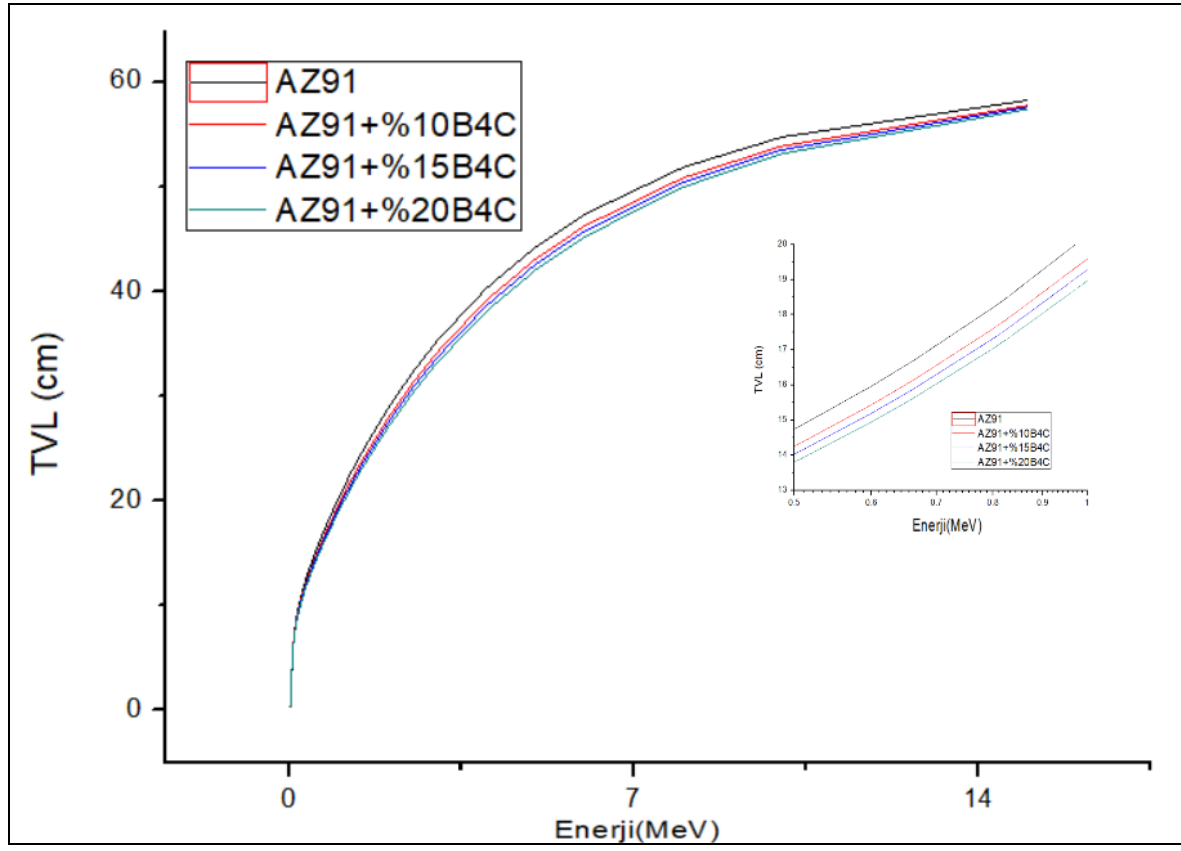
Şekil 4.23. MAC grafiği

Bir maddenin radyoaktif özelliklerini incelemek istediğimizde HVL ve TVL değerleri de önem arz etmektedir. HVL ve TVL değerleri malzemeye gelen radyasyon şiddetini belirli oranlarda azalması için gereken malzeme kalınlığını ifade ettiği için zırhlamada kullanılan önemli bir parametredir. HVL ve TVL grafiklerinde enerjinin artışına bağlı olarak malzeme kalınlığının da artması gerektiği görülmektedir. Yüksek enerji bölgelerinde malzeme kalınlığının iyi bir radyoaktif koruyuculuk için çok daha fazla artması gerektiği grafikte görülmektedir. Bu bölgeler çift oluşumu gibi yüksek enerji isteyen bölgelere karşılık gelmektedir.

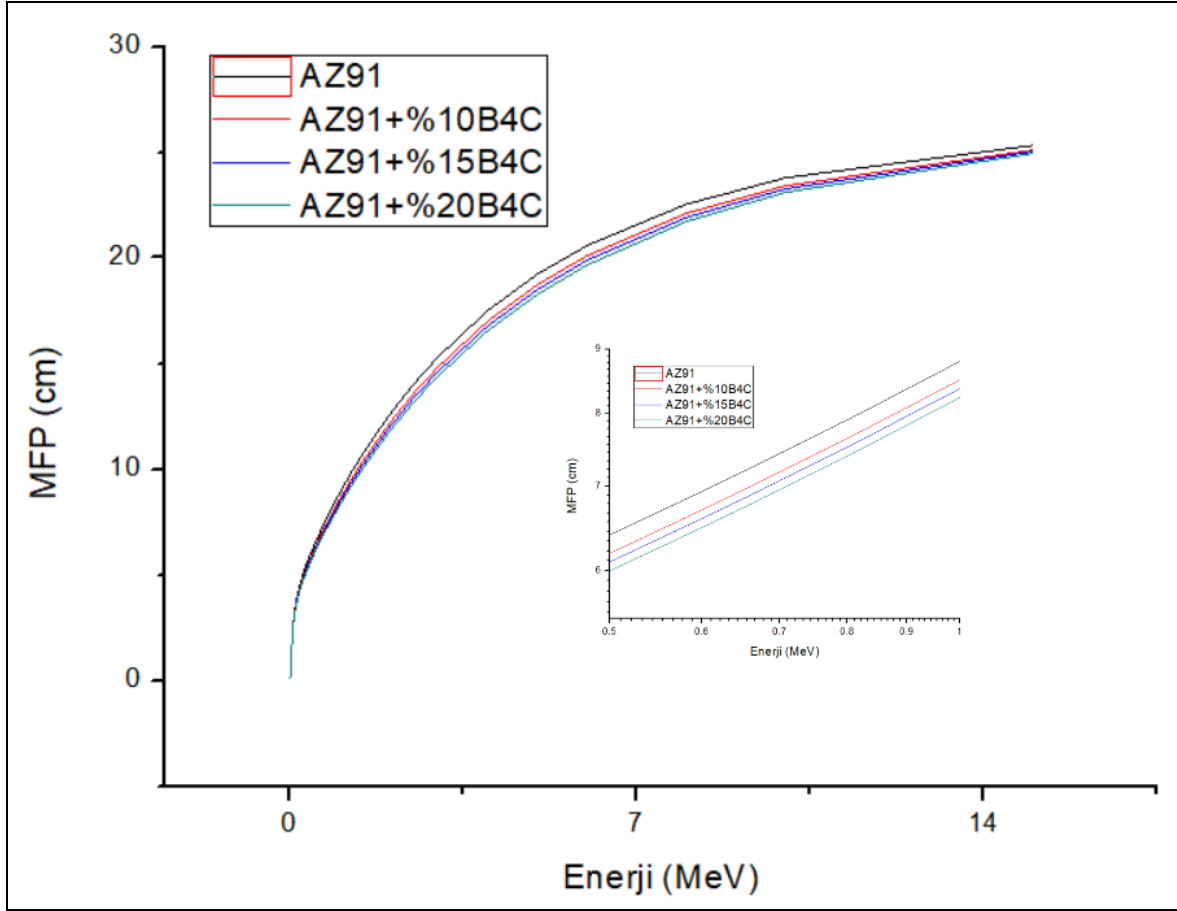
Grafiklerde görüldüğü gibi en yüksek HVL ve TVL kalınlık değeri takviyesiz AZ91 içindir. Bu da B₄C'ün AZ91'in radyoaktif koruyuculuk özelliğini artırdığını göstermektedir.



Şekil 4.24. HVL grafiği

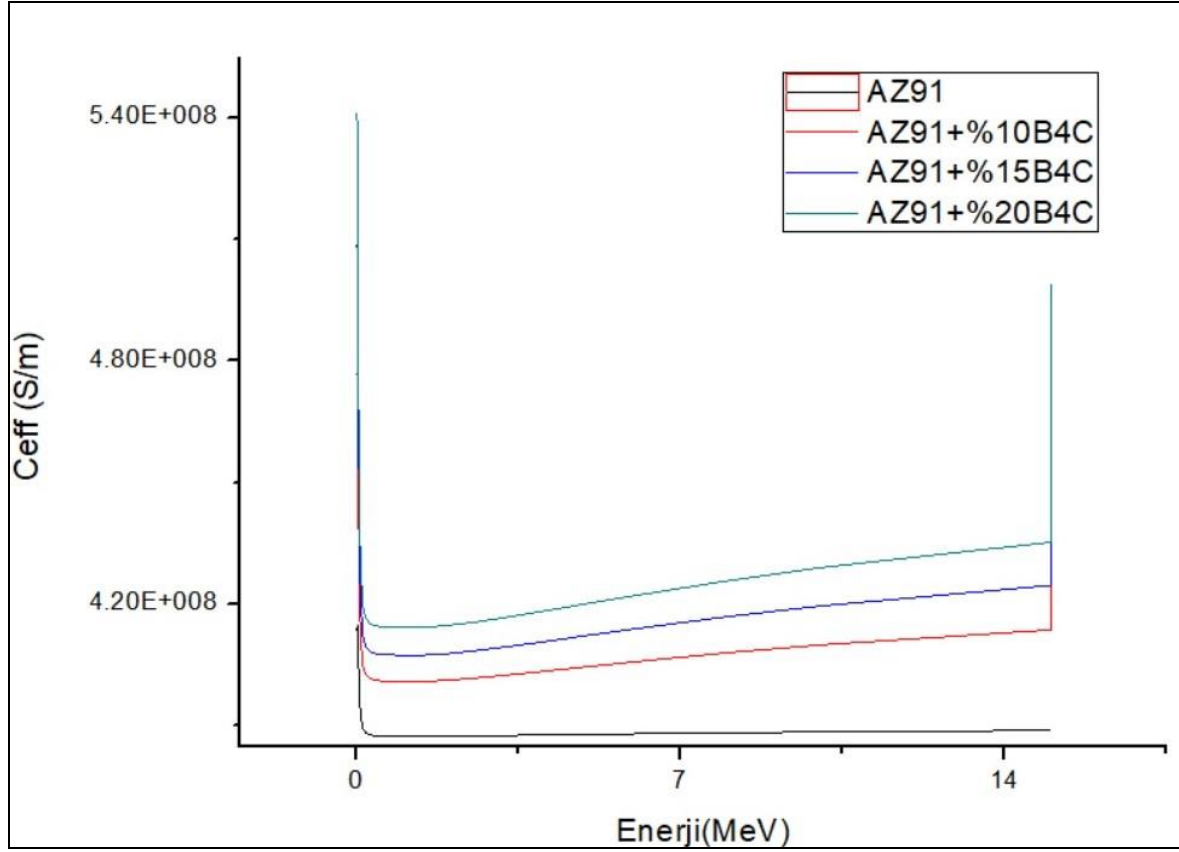


Şekil 4.25. TVL grafiği



Şekil 4.26. MFP grafiği

Radyasyon hesaplamaları için oldukça önemli olan diğer bir parametre olan MFP grafiği ise Şekil 4.26'da verilmiştir. MFP grafiği, HVL ve TVL grafikleri ile paralellik göstermektedir. Enerji değeri artmasıyla MFP değeri artmaktadır. Malzemenin radyasyona maruz kaldığı düşük enerji bölgesi olan fotoelektrik olayın meydana geldiği enerji bölgelerinde art arda iki foton çarpışmasının olması için gerekli mesafe daha düşük iken Compton saçılmasının ve çift oluşumun meydana geldiği yüksek enerjilerde gerekli mesafe miktarı artmıştır. Radyasyon zırhlamasında kullanılacak malzemelerde düşük MFP, HVL ve TVL değerleri istenir. Düşük enerji aralığında söz konusu değerler 0'a yakındır. Ancak Compton saçılımının baskın olduğu bölgedeki çoğu foton saçılma eğilimindedir. Bu nedenle soğurma olasılığı daha düşüktür ve aha kalın malzemelere ihtiyaç duyulmakla beraber fotonlar daha uzun MFP değerine sahiptir. Orta enerji bölgesinde HVL, TVL ve MFP değerlerinde artış eğilimi bu sebeple olmaktadır. Bu sonuçlara göre MFP değeri, %20 B4C içeren AZ91 en düşük değere sahip olduğu için en iyi zırhlama özelliği gösteren malzeme olduğu gösterilmiştir.



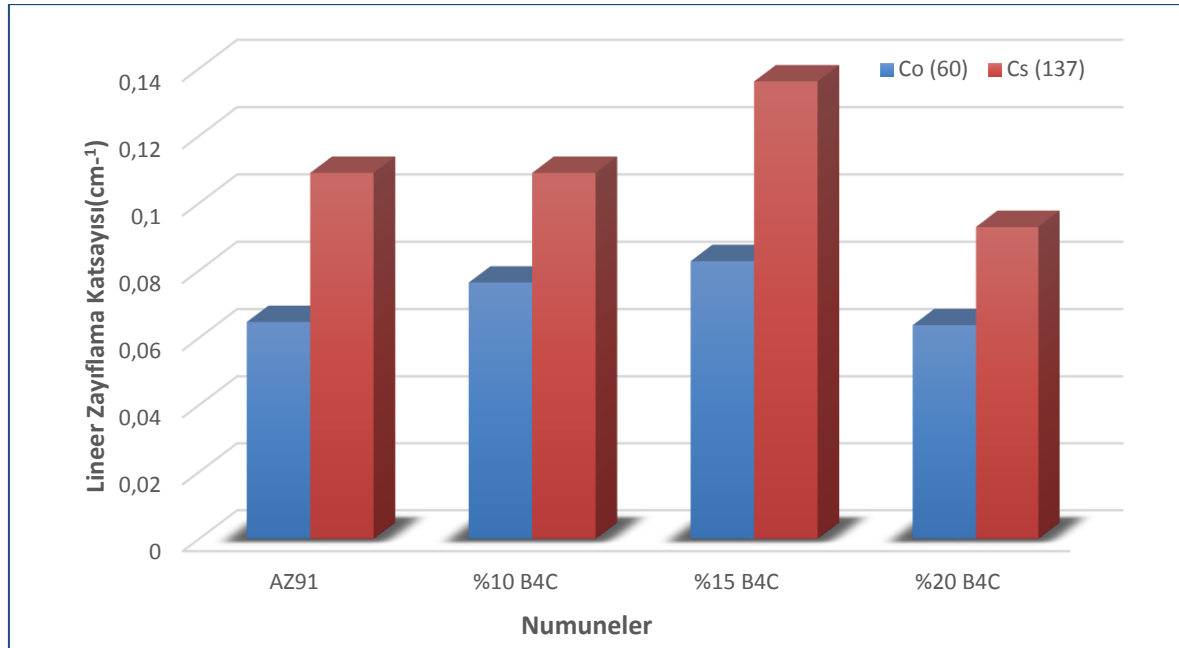
Şekil 4.27. C_{eff} enerji grafiği

Şekil 4.27’de farklı oranlarda takviye malzemesi eklenen AZ91’in farklı enerjilerdeki etkin iletkenlik davranışı gösterilmektedir. Etkin iletkenlik değeri foton ile etkileşimde bulunan malzemenin birim hacminde ne kadar serbest elektron oluşturduğu ile ilgilidir. Malzemenin yoğunluğu, etkin elektron yoğunluğu ve etkileşimin gerçekleştiği ortamın sıcaklığıyla ilgilidir. Enerji seviyesi arttıkça etkin iletkenlik takviye malzemesi içermeyen AZ91, %10 B₄C içeren AZ91 ve %15 B₄C içeren AZ91 için artarken % 20 B₄C içeren numune için çok ufak da olsa düşüşler görülmektedir. Enerji arttıkça uyarılmış elektronlar artmasına rağmen, elektronlar fırlatılamaz bu da elde ettiğimiz artışı açıklamaktadır.

4.8. Deneysel Radyasyon Sonuçları

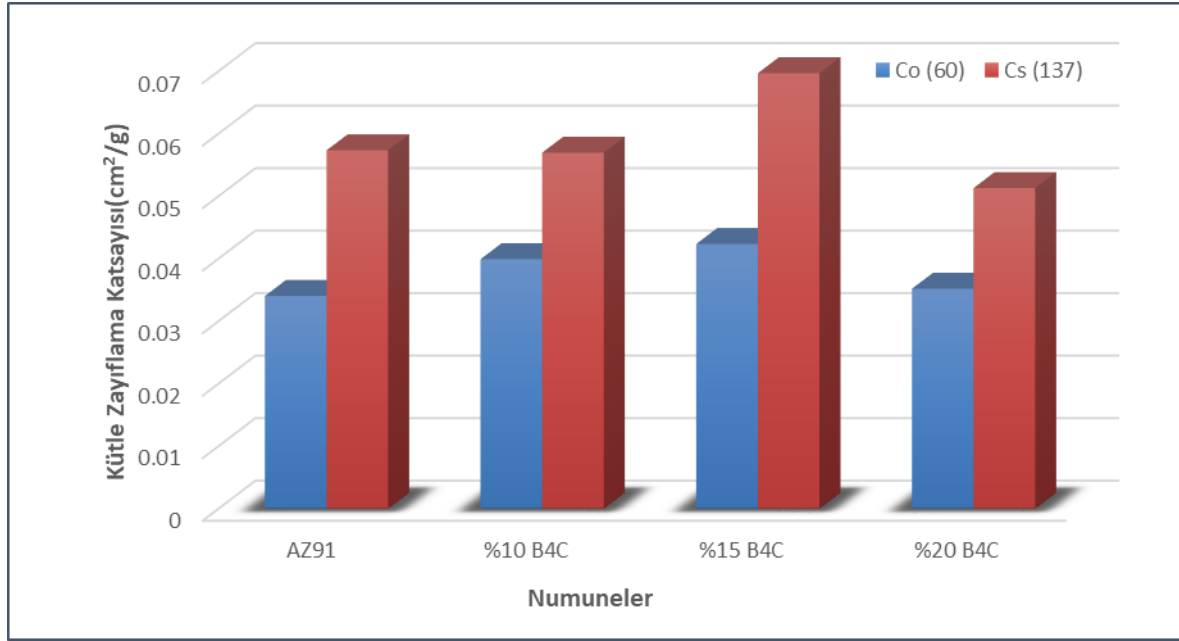
Aşağıda verilen grafiklerde Co-60 ve Cs-137 gama radyasyon kaynaklarında yapılan radyasyon geçirgenlik testleri sonucunda elde edilen veriler daha önceki bölümlerde gösterilen eşitlikler kullanılarak MAC, LAC, HVL, TVL ve MFP grafikleri aşağıdaki şekillerde çizilmiştir.

Şekiller incelendiğinde numunelerin Cs-137 karşısında daha iyi bir zırhlama performansı gösterdiği görülmektedir. Bunu sebebi ise Cs-137 gama radyasyonun Co-60'da daha düşük bir enerjiye sahip olmasıdır. Co-60 ve Cs-137 kaynaklarında en yüksek LAC değerine AZ91+%20B₄C malzemesi sahip iken en düşük LAC değerine ise takviye malzemesi eklenmemiş AZ91 sahiptir.



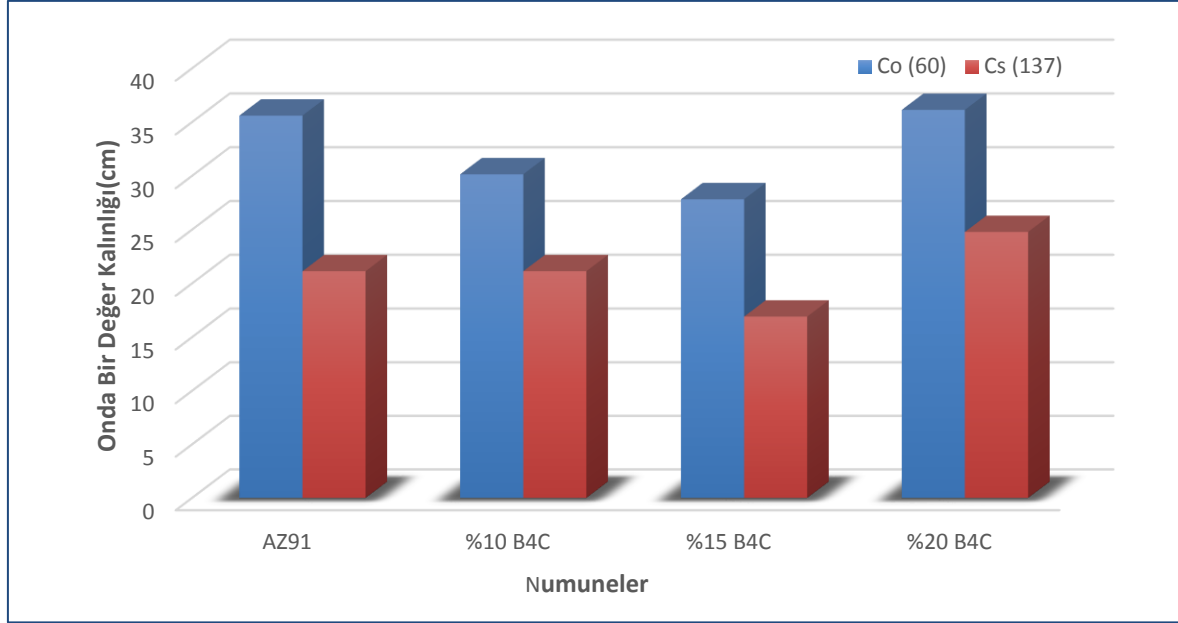
Şekil 4.28. Co-60 ve Cs-137 için LAC grafiği

Şekil 4.29'daki MAC grafiği, numunelerin LAC değerinin numunenin yoğunluk değerlerine bölünmesi ile elde edildiğinden dolayı malzemenin LAC değerlerine oranla MAC değerleri daha düşük çıkmıştır. Şekil 4.29'de verilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen MAC değerlerin, teorik hesaplamalar ile elde edilen değerlerden farklı çıkmasının sebebi ise üretimi sırasında kullanılan malzemelerin teorik yoğunlukları birbirine oldukça yakın iken üretimi esnasında üretim aşamalarında meydana gelen işlemlerden dolayı malzemelerin sahip olduğu yoğunluk değerleri değişmiştir. Bu da numunelerin teorik sonuçları ile deneysel sonuçlarında çok büyük farklar oluşturmada da sonuçların değişmesine neden olmuştur.

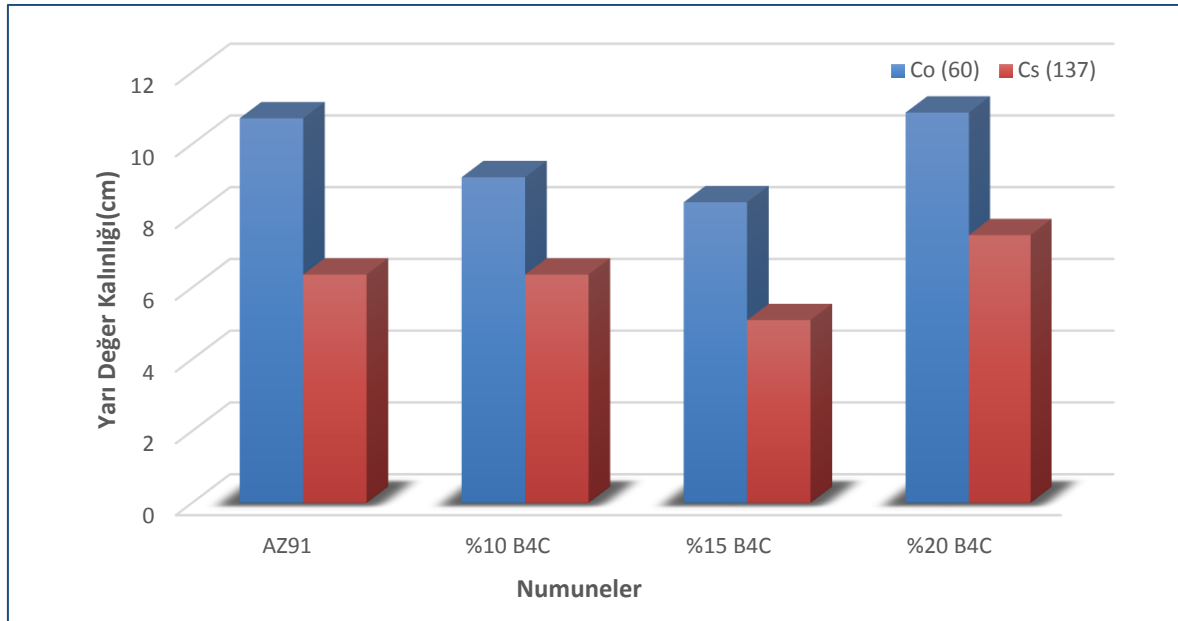


Şekil 4.29. Co-60 ve Cs-137 için MAC grafiği

Şekil 4.30 ve 4.31’de numulerin HVL ve TVL değerleri verilmiştir. Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için HVL ve TVL değerleri en düşük malzeme için AZ91+%15B₄C ve en yüksek değerlere ise AZ91+ %10 B₄C olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, incelenen malzemeler arasında Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için AZ91+%10B₄C malzemesi en küçük HVL ve TVL değerlerine sahip olduğu için en iyi zırhlama malzemesi olduğu sonucu çıkmaktadır. AZ91+%10B₄C malzemesi ise en yüksek HVL ve TVL değerlerine sahip olduğu için en düşük zırhlama özelliğine sahip malzeme olduğu gösterilmiştir.



Şekil 4.30 Co-60 ve Cs-137 için HVL grafiği

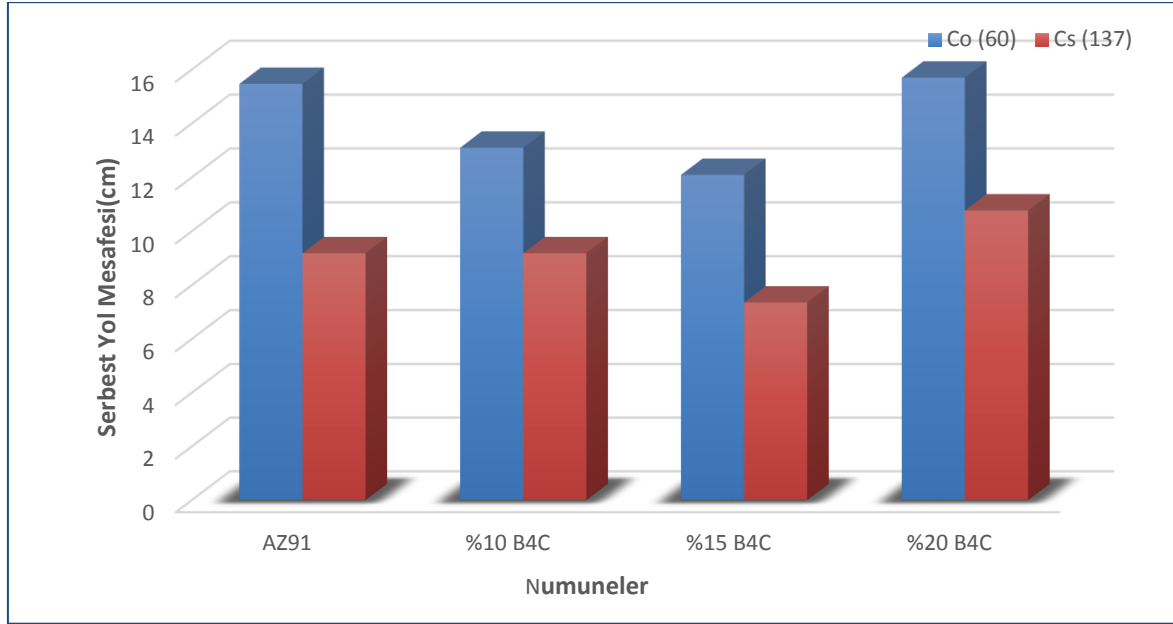


Şekil 4.31. Co-60 ve Cs-137 için TVL grafiği

Aynı şekilde numunelerin MFP değerleri incelendiğinde, AZ91+%20 B₄C numunesi en küçük değere, AZ91+ %10 B₄C numunesi en yüksek değere sahip olduğu Şekil 4.32’de görülmektedir.

Teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında sonuçların bir takım uyumsuzluklar olduğu, yine de genel olarak yakın olduğu görülmektedir. Bu farklılıkların oluşmasının

sebepleri arasında toz malzemelerin tane boyutları, malzeme blokların üretimi sırasında meydana gelen süreksizlikler, gözenekliliğin var olması ve deneysel işlemler yapılırken meydana gelen bir takım eksiklik olarak düşünülmektedir. Teorik ve deneysel çalışmalar incelendiğinde, AZ91+ %10 B₄C malzemesi gama zırhlamasında kullanılacak en iyi malzeme olduğu sonucu çıkarılmıştır.



Şekil 4.32. Co-60 ve Cs-137 için MFP grafiği

Çizelge 4.1. Co (60) için deneysel ve teorik radyasyon sonuçları

DENEYSEL SONUÇLAR						
Co (60)	LAC cm ⁻¹	Yoğunluk g/cm ³	MAC cm ² /g	HVL cm	TVL cm	MFP cm
AZ91	0.065	1.901	0.034	10.717	35.602	15.462
%10 B ₄ C	0.076	1.914	0.040	9.074	30.145	13.092
%15 B ₄ C	0.083	1.9548	0.042	8.376	27.824	12.084
%20 B ₄ C	0.064	1.812	0.035	10.877	36.133	15.692
TEORİK SONUÇLAR						
Co (60)	LAC cm ⁻¹	Yoğunluk g/cm ³	MAC cm ² /g	HVL cm	TVL cm	MFP cm
AZ91	0.071	1.810	0.039	9.723	32.301	14.028
%10 B ₄ C	0.074	1.881	0.039	9.415	31.275	13.538
%15 B ₄ C	0.075	1.9165	0.039	9.274	30.807	13.379
%20 B ₄ C	0.076	1.952	0.039	9.129	30.327	13.171

Çizelge 4.2. Cs (137) için deneysel ve teorik radyasyon sonuçları

DENEYSEL SONUÇLAR						
Cs (137)	LAC cm ⁻¹	Yoğunluk g/cm ³	MAC cm ² /g	HVL cm	TVL cm	MFP cm
AZ91	0.109	1.901	0.057	6.360	21.128	9.176
%10 B ₄ C	0.109	1.914	0.057	6.360	21.128	9.176
%15 B ₄ C	0.136	1.9548	0.070	5.090	16.910	7.344
%20 B ₄ C	0.093	1.812	0.051	7.460	24.783	10.763
TEORİK SONUÇLAR						
Cs (137)	LAC cm ⁻¹	Yoğunluk g/cm ³	MAC cm ² /g	HVL cm	TVL cm	MFP cm
AZ91	0.138	1.810	0.076	5.021	16.679	7.244
%10 B ₄ C	0.143	1.881	0.076	4.854	16.125	7.003
%15 B ₄ C	0.145	1.9165	0.076	4.778	15.872	6.893
%20 B ₄ C	0.147	1.952	0.076	4.700	15.612	6.780

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada toz metalurjisi yöntemi ile birlikte sıcak presleme uygulanarak ağırlıkça %10, %15, %20 oranlarında B₄C içeren ve takviye elemanı içermeyen metal matrisli AZ91 kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerin yapısal ve radyoaktif özellikleri incelenmiştir.

Üretilen numuneler arasında en yüksek yoğunluğu %15 B₄C içeren numuneler sergilemiştir. Takviye malzemesi arttıkça AZ91'in yoğunluğu artmış, %20 oranında B₄C içeren numunelerde azalmıştır.

AZ91 matrisinin içerisine eklenen B₄C ile beraber numunelerde sertlik artmıştır. Aynı durum çapraz kırılma deneylerinde de ortaya çıkmıştır. Takviye elemanın artmasıyla çapraz kırılma dayanımı artmıştır. En yüksek çapraz kırılma dayanımı %15 B₄C içeren numunede en düşük çapraz kırılma dayanımı takviyesiz AZ91 metal matrisinde ortaya çıkmaktadır.

Üretim metodu olarak toz metalurjisi yöntemi kullanıldığından SEM görüntülerinde gözenekli yapılar bulunmaktadır. EDS görüntülerine göre AZ91 metal matrisinde ana fazın Mg olduğu, ikinci elementin Al olduğu tespit edilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde B₄C ise köşeli şekil morfolojisinde bulunduğu tespit edilmiştir.

Üretilen numunelerin mikroyapısal analizleri dışında gama radyasyonu karşısında zırlama kapasitesi de teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Teorik analizler için Phy-X/ PSD programı kullanılmıştır. Kompozit numunelerin radyoaktif duyarlılığının deneysel ölçümünde ise kullanılan kaynaklar radyoizotop Cs-137 ile Co-60 gama kaynaklarıdır.

Phy-X/ PSD programı, malzemelerin pür olduğunu ve mükemmel şekilde üretildiği kabul edilmektedir. Çalışılan malzemelerin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayılarının birbirlerini destekler sonuçlar üretmesi, deneylerimizdeki sağlamlığın kanıtını göstermektedir.

Bu çalışmada üretim aşamaları ve yapısal özellikleri bilinen bir malzemenin ne kadar iyi radyoaktif koruyuculuk gösterdiğini belirlemek ve zırlama malzemesi olarak ne kadar

etkili olacağının analiz edilmesi hedeflenerek, çalışmanın özgünlüğü bu çerçevede şekillenmiştir. Bu sayede üretime yapılan özgün malzemenin halihazırda kullanılmakta olan endüstriyel uygulamalarda değil uzay, sağlık, nano teknoloji gibi ileri teknoloji uygulamalarında geleceğe ışıık tutması amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Kainer, K. U. (Ed.). (2003). *Magnesium alloys and technology*. New York: John Wiley & Sons, 397-308.
2. Gupta, M. and Ling, S. N. M. (2011). *Magnesium, magnesium alloys, and magnesium composites*. New Jersey: John Wiley & Sons, 302-308.
3. Ünal, M., Koç, E., Türen, Y., Gül, F. ve Candan, E. (2009). *AZ91 Magnezyum alaşımasının döküm ve mekanik özelliklerine silisyum ilavesinin etkisi*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 13-15.
4. Kulekci, M. K. (2008). Magnesium and its alloys applications in automotive industry”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(1), 851-865.
5. Colombié, M. (2000). *Chapitre 13-Magnésium et alliages de magnesium*. Paris: Matériaux Métalliques, Dunod.
6. StJohn, D. H., Qian, M. A., Easton, M. A., Cao, P. and Hildebrand, Z. (2005). Grain refinement of magnesium alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 36(7), 1669-1679.
7. Eliezer, D., Aghion, E. and Froes, F. H. (1998). Magnesium science, technology and applications. *Advanced Performance Materials*, 5(3), 201-212.
8. Mordike, B. L. and Ebert, T. (2001). Magnesium: properties—applications—potential. *Materials Science and Engineering: A*, 302(1), 37-45.
9. ASM International (1990). ASM Handbook. In *Properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials*. New York: Materials Park, 303-310.
10. Kulekci, M. K. (2008). Magnesium and its alloys applications in automotive industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(9), 851-865.
11. Czerwinski, F. (2008). *Magnesium injection molding*. New York: Springer, 137-143.
12. Schwam, D., Wallace, J.F., Zhu, Y., Viswanathan, S. and Iskander, S., (2000). Enhancements in magnesium die casting impact properties, Final Report, CASE, Ohio, 5-22.
13. Barber, L. P. (2004). *Characterization of the solidification behavior and resultant microstructures of magnesium-aluminum alloys*. Unpublished Master's Thesis. Worcester Polytechnic Institute, Worcester.
14. Zhang, Z. (2000). *Development of magnesium-based alloys for elevated temperature applications*. Unpublished Doctoral Thesis, Faculte Des Sciences Et De Genie Universite, Quebec-Canada, 2-75.

15. German, M. R. (2007). *Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri*. Ankara: Türkiye Toz metalurjisi Derneği, 574-576.
16. Kalemtaş, A. (2014). Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış. *Putech & Composites*, 22(1), 18-30.
17. Kaya, A. İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech & Composites*, 29, 38-45.
18. Şenel, M. C., Gürbüz, M., ve Koç, E. (2018). Toz metalürjisi metoduyla üretilen Al-Si₃N₄ metal matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(693), 33-46.
19. Sayuti, M., Sulaiman, S., Vijayaram, T. R., Baharudin, B. T. H. T. and Arifin, M. K. A. (2012). Manufacturing and properties of quartz (SiO₂) particulate reinforced Al_{11.8}%Si matrix composites. In N. Hu (Ed.), *Composites and their properties* (pp. 415-419). Croatia: In Tech Prepress.
20. German, M. R. (2007). *Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri*. Ankara: Türkiye Toz metalurjisi Derneği, 574-576.
21. Huda, M. D., Hashmi, M. S. J. and El-Baradie, M. A. (1995). MMCs: materials, manufacturing and mechanical properties. *Key Engineering Materials*, 104, 37-64.
22. Kalaiselvan, K., Dinaharan, I. and Murugan, N. (2014). Characterization of friction stir welded boron carbide particulate reinforced AA6061 aluminum alloy stir cast composite. *Materials and Design*, 55, 176-182.
23. Ibrahim, I. A., Mohamed, F. A. and Lavernia, E. J. (1991). Particulate reinforced metal matrix composites-a review. *Journal of Materials Science*, 26(5), 1137-1156.
24. German, R.M. (2013). History of sintering: empirical phase. *Powder Metallurgy*, 56(2), 117-123.
25. İnternet: Onat, A. (2015). *Kompozit malzemeler. Ders notu, makina ve metal teknolojileri bölümü, Sakarya meslek yüksek okulu, Sakarya Üniversitesi, Sakarya*. Web: http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/78375/31395/kompozit_malzemeler_ders_notu.pdf, Son Erişim tarihi: 06.06.2019.
26. Yavuz, N. ve Güner, R., (2002), Demir esaslı toz metal parçaların elektrik direnç kaynağından optimum kaynak şartlarının belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), 221-228.
27. Anık, S., Dikicioğlu, A. ve Vural, M. (1999). *İmal usulleri*. İstanbul: İ.T.Ü. Makina Fakültesi.
28. Aral, İ. (2019). *Alumina ve Zirkonya esaslı seramiklerin nükleer zırhlama kabiliyetlerinin MCNP-X kodu ile araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi.

29. Özkan, Z. (2019). *AA7075- Al₂O₃ ve SiC parçacık takviyeli hibrit/kompozit malzemelerinin aşınma davranışı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
30. Lamarch, J. R. (1977). *Introduction to nuclear engineering*. Boston: Addison-Wesley Publishing Company, 102-274.
31. Köklü, N. (2006). *Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkisi ve tıpta kullanım alanları*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
32. Özen, S. (2013). *Denge ağırlığı ve radyasyonlu ortamlarda zırh işlevi amacına yönelik ağır beton tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
33. Gedikoğlu, A. (1988). *Çekirdek fiziğine giriş*, Trabzon: KTÜ Basımevi.
34. Martin, J. E., (2013). *Radyasyon ve radyasyondan korunma fiziği*, Ankara: Palme Yayıncılık.
35. Knoll, G. F. (2002). *Radiation detection and measurement*. Ann Arbor: University of Michigan.
36. Kaplan, I. (1964). *Nuclear physics (Second Edition)*. London: Addison- Wesley Publishing Company, 416-417.
37. Oyar, O. (1998). *Radyolojide temel fizik kavramlar*. İzmir: Nobel Tıp Kitapevi.
38. Artıg, B. (2016). *Pandermit, kolemanit konsantratör atığı, hematit, manyetit ve limonit içeren beton numunelerin nötron parçacıkları, X ve γ - ışınları için radyasyon soğurganlıklarının belirlenmesi*. Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
39. Powsner, R. A. and Powsner, E. R. (2006). *Essential nuclear medicine physics*. Massachusetts: Blackwell Publishing.
40. Gümüş, E. (2011). *Cr, Fe, Cu ve Zn geçiş elementlerin oluşturduğu bazı bileşiklerin k kabuğu floresans parametreleri üzerine kimyasal etki*. Yüksek lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü.
41. Oto, B. (2012). *Barit, manyetit, bazı bor mineralleri ve atıklarını içeren beton numunelerinin gama radyasyon soğurganlıkları ve nötron tutma kapasitelerinin araştırılması*. Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
42. İnternet: TAEK (2010). Web: <http://www.taek.gov.tr/>. Son Erişim Tarihi: 16.04.2022.
43. Choppin, G., Liljenzin, J., Rydberg, J. and Ekbert C. (2013). *Radiochemistry and nuclear chemistry*. Amsterdam: Elsevier.
44. IAEA Safety Reports Series (1996). International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources, IAEA, Austria, 1-12.

45. NCRP Report (1993). Limitation of exposure to ionizing radiation, *NCRP*, Bethesda, 36-42.
46. Hubbell, J. H. (1982). Photon mass attenuation and energy-absorption coefficients from 1 keV to 20 MeV. *International Journal of Applied Radiations and Isotopes*, 33, 1269–1290
47. Şakar, E., Özpolat, Ö.F., Alım, B., Sayyed, M.I. and Kurudirek, M. (2020). Phy-X / PSD: Development of a user friendly online software for calculation of parameters relevant to radiation shielding and dosimetry, *Radiation Physics and Chemistry*, 2(3), 12-15.
48. Gökmen, U., Özkan, Z., Bilge Ocak, S. (2021). Impact of the gamma and neutron attenuation behaviors on the functionally graded composite materials. *Physica Scripta* , 96(12), 26-32.



Gazili olmak ayrıcalıktır...