



**AZ91 MATRİSLİ, BaSO₄ VE SiC PARÇACIK TAKVİYELİ HİBRİT
KOMPOZİT MALZEMELERİN RADYASYON ZIRHLAMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Gizem YALÇIN

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2024

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.

Gizem YALÇIN

17/01/2024

AZ91 MATRİSLİ BaSO₄ VE SiC PARÇACIK TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİT
MALZEMELERİN RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Gizem YALÇIN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2024

ÖZET

Bu tez çalışmasında AZ91 matrisli SiC ve BaSO₄ seramik parçacık takviyeli metal matrisli kompozit/hibrit numuneler ve takviye elemanı içermeyen AZ91 numunesi sıcak presleme ve toz metalurjisi yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Matris malzeme olarak seçilen AZ91 tozunun içerisine, ağırlıkça sırasıyla %5,10,15 oranında SiC, BaSO₄ ve SiC+BaSO₄ seramik parçacıklar takviye edilmiştir. Tozlar 30 dakika boyunca 3 boyutlu karıştırıcı kullanılarak karıştırılmıştır. Hazırlanan toz karışımlar kalıba yerleştirilerek 550°C sıcaklıkta 1,5 saat bekletilerek sıcak pres yöntemi ile preslenmiştir. Numunelerin radyoaktif geçirgenlik özellikleri teorik olarak Phy-x/PSD programında (X ışınları, gama ışınları ve hızlı nötron) ve deneysel (yavaş nötron ve X ışınları) incelenmiştir. Elde edilen deneysel ve teorik sonuçların birbirini destekleyen nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Üretilen numuneler içerisinde en yüksek radyasyon zırhlama performansına sahip malzeme %15 BaSO₄ takviye elemanı içeren AZ91 numunesi olurken, en düşük radyasyon zırhlama performansını takviye elemanı içermeyen AZ91 numunesi sergilemiştir.

Bilim Kodu : 91512
Anahtar Kelimeler : AZ91, BaSO₄, SiC, sıcak presleme, kompozit, radyasyon zırhlama, toz metalurjisi
Sayfa Adedi: : 80
Danışman : Prof. Dr. Uğur GÖKMEN

THE RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF SiC AND BaSO₄ PARTICLES
REINFORCED AZ91 COMPOSITES

(M. Sc. Thesis)

Gizem YALÇIN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2024

ABSTRACT

In this thesis study, AZ91 matrix material, SiC and BaSO₄ ceramic particle reinforced as metal matrix composite/hybrid samples and AZ91 sample without reinforcement elements were produced using hot pressing and powder metallurgy method. SiC, BaSO₄ and SiC+BaSO₄ ceramic materials were reinforced into the AZ91 powder, which was selected as the matrix material, at rate of 5%, 10%, and 15% by weight, respectively. The powders were mixed using a 3D mixer for 30 minutes. The prepared powder mixture kept at 550°C for 1.5 hours and pressed by the hot press method. The radioactive shielding properties of the samples were analysed theoretically (X-rays, gamma rays and fast neutron) and experimentally (slow neutron and X-rays) in the Phy-x/PSD program. It has been determined that the experimental and theoretical results obtained support each other. Among the samples produced, the material with the highest radiation shielding performance was the AZ91 sample containing 15% BaSO₄, while the AZ91 sample without any reinforcement element exhibited the lowest radiation shielding performance.

Science Code : 91512
Key Words : AZ91, BaSO₄, SiC, hot pressing, composites, radiation shielding,
powder metallurgy
Page Number: : 80
Supervisor : Prof. Dr. Uğur GÖKMEN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince kıymetli vakitlerini ayırıp, tüm bilgi birikimi ile desteklerini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Uğur GÖKMEN'e, radyasyon alanındaki bilgi ve deneyimlerini paylaşarak gelişimime katkı sağlayan kıymetli hocam Prof. Dr. Sema Bilge OCAK'a, tüm çalışmam boyunca her türlü yardımı ve paylaşımı sağlayan Öğr. Gör. Zübeyde ÖZKAN' a ve Öğr. Gör. Seda Gürgen AVŞAR' a sonsuz teşekkür eder, saygı ve şükranlarımı sunarım. Tez hazırlama sürecimde her zaman daha iyisini yapmam için beni yüreklendiren ve her zaman arkamda olduklarını hissettiğim aileme ve canım dostum Sedanur Sübeyve ŞEN' e teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1. Magnezyum ve Alaşımları	4
2.1.1. AZ91 alaşımı	6
2.1.2. Baryum sülfat ($BaSO_4$).....	8
2.1.3. Silisyum karbür (SiC).....	8
2.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	9
2.2.1. Toz metalurjisi.....	9
3. RADYASYON.....	13
3.1. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon	14
3.2. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	14
3.3. Radyasyondan Korunma Yolları.....	18
4. MALZEME VE METOT	23
4.1. Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması.....	23
4.2. Kompozit Numunelerin Üretimi	24
4.3. Yoğunluk Ölçümleri.....	26

	Sayfa
4.4. Çapraz Kırılma Deneyi	26
4.5. Metalografi ve Mikroyapı Analizleri	28
4.6. Sertlik Testi	29
4.7. Radyasyon Geçirgenlik Testleri.....	30
4.7.1. Phy-x / PSD Programı	30
4.7.2. Deneysel analizler.....	30
5. DENEYSEL SONUÇLAR	33
5.1. Yoğunluk Sonuçları	33
5.2. Sertlik Sonuçları.....	34
5.3. Çapraz Kırılma Deneyi Sonuçları	35
5.4. Kırık Yüzey Görüntüsü	36
5.5. SEM ve EDS Analizi	38
5.6. Radyasyon Geçirgenlik Sonuçları.....	46
5.6.1. Teorik sonuçlar	46
5.6.2. Deneysel sonuçlar.....	59
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR	71
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ	80

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İmplant malzemelerinin kemik doku ile ilişkisi	5
Çizelge 2.2. Magnezyumun fiziksel özellikleri	6
Çizelge 2.3. Magnezyum alaşımlarının sınıflandırılması	7
Çizelge 2.4. AZ91' in mekanik özellikleri	7
Çizelge 4.1. Üretilen kompozit malzemelerin kodları	23
Çizelge 4.2. AZ91 tozunun ağırlıkça kimyasal kompozisyonu	23
Çizelge 4.3. SiC, BaSO ₄ ve AZ91' in yoğunlukları.....	23
Çizelge 5.1. Numunelerin X ışınlarına karşı % zayıflama ve kurşun eşdeğer kalınlıkları	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon etkileri.....	13
Şekil 3.2. Radyasyon türlerinin sınıflandırılması	14
Şekil 3.3. Radyasyon tiplerine ve enerjilerine bağlı olarak kaynakların giricilik etkileri	15
Şekil 3.4. Fotonların farklı enerji aralıklarındaki etkileşimleri.....	16
Şekil 3.5. Fotoelektrik Olayın Oluşumu	16
Şekil 3.6. Compton saçılma olayı	17
Şekil 3.7. Elektron-pozitron çift oluşumu.....	17
Şekil 3.8. Radyasyon türlerinin malzeme üzerindeki giricilikleri	19
Şekil 4.1. Çapraz kırılma testi şematik gösterimi	27
Şekil 5.1. Numunelerin bağıl yoğunluklarının karşılaştırılması	34
Şekil 5.2. Numunelerin sertlik değerlerinin karşılaştırılması	35
Şekil 5.3. Numunelerin çapraz kırılma dayanımları	36
Şekil 5.4. X ışınlarına karşı LAC değerleri.....	47
Şekil 5.5. X ışınlarına karşı MAC değerleri	48
Şekil 5.6. X ışınlarına karşı HVL değerleri	49
Şekil 5.7. X ışınlarına karşı TVL değerleri.....	49
Şekil 5.8. X ışınlarına karşı MFP değerleri.....	50
Şekil 5.9. X ışınlarına karşı C_{eff} değerleri	51
Şekil 5.10. X ışınlarına karşı Z_{eff} değerleri	52
Şekil 5.11. FNRC değerleri.....	53
Şekil 5.12. Gama ışınlarına karşı MAC değerleri.....	54
Şekil 5.13. Gama ışınlarına karşı LAC değerleri.....	54
Şekil 5.14. Gama ışınlarına karşı HVL değerleri.....	55
Şekil 5.15. Gama ışınlarına karşı TVL değerleri	56

Şekil	Sayfa
Şekil 5.16. Gama ışınlarına karşı MFP değerleri	57
Şekil 5.17. Gama ışınlarına karşı C_{eff} değerleri	58
Şekil 5.18. Gama ışınlarına karşı Z_{eff} değerleri	59
Şekil 5.19. Numunelerin X ışınlarına karşı % zayıflamaları	61
Şekil 5.20. Numunelerin X ışınlarına karşı hesaplanan eş değer kurşun kalınlığı	62
Şekil 5.21. Numune kalınlıklarının eşdeğer kurşun kalınlığına ve % zayıflatma oranına karşı değişimi	63
Şekil 5.22. Numunelerin F_N ve % zayıflama değerlerinin karşılaştırılması	63
Şekil 5.23. Numune kalınlıkları ve % zayıflama karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.24. Numunelerin nötron radyasyon kaynağına karşı hesaplanan tesir kesitleri..	65
Şekil 5.25. Numunelerin yoğunluklarına bağlı hesaplanan nötron tesir kesitleri Σ_T (cm^{-1}).....	65
Şekil 5.26. Numunelerin yavaş nötron enerjilerinde hesaplanan nötron tesir kesitleri ..	66
Şekil 5.27. Yavaş nötronlara karşı numunelerin HVL değerleri	67
Şekil 5.28. Yavaş nötronlara karşı numunelerin TVL değerleri.....	67
Şekil 5.29. Yavaş nötronlara karşı numunelerin MFP değerleri.....	68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Turbola marka üç boyutlu karıştırıcı	24
Resim 4.2. 160 ton kapasiteli hidrolik pres cihazı	25
Resim 4.3. Sıcak pres yöntemi ile üretilen kompozit numuneler	25
Resim 4.4. Yoğunluk ölçme cihazı	26
Resim 4.5. Instron 3369 model üç nokta eğme testi cihazı	27
Resim 4.6. Zımparalama ve parlatma cihazı.....	28
Resim 4.7. Thermo Scientific SEM cihazı.....	29
Resim 4.8. Duravision 2000 Emco sertlik ölçüm cihazı.....	29
Resim 5.1. SiC takviyeli x500 büyütmede kırık yüzey analizleri a)%5 b)%10 c)%15 ..	37
Resim 5.2. BaSO ₄ takviyeli x500 büyütmede kırık yüzey analizleri a)%5 b)%10 c)%15	37
Resim 5.3. Hibrit kompozitlerin x500 büyütmede kırık yüzey analizleri a)%5 b)%10 c)%15	38
Resim 5.4. %100 AZ91 numunesinin x500 büyütmede kırık yüzey analizi	38
Resim 5.5. SiC takviyeli x1000 büyütmede SEM analizi a)%5 b)%10 c)%15	39
Resim 5.6. BaSO ₄ takviyeli x1000 büyütmede SEM analizi a)%5 b)%10 c)%15	39
Resim 5.7. Hibrit x1000 büyütmede SEM analizi a)%5 b)%10 c)%15	40
Resim 5.8. AZ91 numunesinin SEM analizi	40
Resim 5.9. %5 SiC içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge.....	41
Resim 5.10. %10 SiC içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge.....	41
Resim 5.11. %15 SiC içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge.....	42
Resim 5.12. %5 BaSO ₄ içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge.....	43
Resim 5.13. %10 BaSO ₄ içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge.....	43
Resim 5.14. %15 BaSO ₄ içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge.....	44
Resim 5.15. %5 SiC+BaSO ₄ EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge c)3.bölge.....	44

Resim	Sayfa
Resim 5.16. %10 SiC+BaSO ₄ EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge c)3.bölge.....	45
Resim 5.17. %15 SiC+BaSO ₄ EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge c)3.bölge.....	45
Resim 5.18. AZ91 numunesinin EDS analizi	46



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

μ	Lineer Soğurma Katsayısı(cm^{-1})
g	Gram
I	Malzemeden geçen fotonun yoğunluğu
I_0	Malzemeye giren fotonun yoğunluğu
k	Çift Oluşum Olma İhtimali
m	Kuru Ağırlık (g)
m_s	Yaş Ağırlık (g)
sn	Saniye
t	Zaman (s)
θ	Açı ($^\circ$)
λ	Dalga Boyu (m)
ρ	Yoğunluk (g/cm^3)
σ	Compton Saçılma Faktörü
τ	Fotoelektrik Oluşma Faktörü

Kısaltmalar

Açıklamalar

Σ_T	Termal Nötron Soğurma Katsayısı (cm^{-1})
BT	Bilgisayarlı Tomografi
C_{eff}	Etkin İletkenlik (S/m)
EDS	Enerji Dağılımlı X ışınları Spektrometresi
HVL	Yarı Değer Kalınlığı (cm)
LAC	Lineer Zayıflatma Katsayısı (cm^{-1})
MAC	Kütle Zayıflatma Katsayısı (cm^2/g)
MFP	Ortalama Serbest Mesafe (cm)
MMK	Metal Matrisli Kompozit
N_{eff}	Etkin Elektron Yoğunluğu (elektron/g)

Kısaltmalar**Açıklamalar****PET**

Pozitron Emisyon Tomografisi

SEM

Taramalı Elektron Mikroskopi

SPECT

Tek Foton Emisyon Bilgisayarlı Tomografisi

TAEK

Türkiye Atom Enerji Kurumu

TRS

Transverse Rupture Strength

TVL

Onda Bir Değer Kalınlığı (cm)

 Z_{eff}

Etkin Atom Numarası



1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte endüstride birçok alanda yeni uygulamalar kullanılmakta olup; daha düşük yoğunlukta fakat daha verimli ve daha az maliyetli malzeme kullanımına olan ihtiyaç da aynı oranda artmıştır. Özellikle teknoloji ve endüstrileşme ile birlikte doğan ihtiyaçların karşılanabilmesi için; havacılık, elektronik, nükleer, otomotiv ve savunma sanayi alanlarında araştırma geliştirme faaliyetleri de hız kazanmıştır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için yeni malzeme keşfedilmesi ve mevcut malzemelerin de geliştirilmesi konusu büyük önem kazanmıştır. Geliştirilen malzemelerin bu alanlara ışık tutmasına rağmen yeni malzemelerin dezavantaj olarak sayılabilecek özellikleri de bulunmaktadır. Örneğin dezavantaj sayılabilecek çevre kirliliğine olan etkileri, küresel ısınmaya sebep olmaları göz önünde bulundurularak hafif ve daha az atığa sebep olacak üretim prosesine sahip malzeme gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda farklı prosesler kullanılarak yeni malzemeler elde edilmiş ve bu malzemelerin özellikleri incelenmiştir [1].

Malzeme seçiminin önemi kadar, elde edilen malzemenin oluşturulduğu malzemeler ve üretim yöntemi seçimi de çok önemlidir. Son teknoloji ile birlikte hayatımıza giren kompozit malzeme kavramı sıkça kullanılmakla beraber, malzeme seçimi ve geliştirilmesi üzerinde üzerinde çalışılan malzeme tipi olarak yerini almıştır. Kompozit malzemeleri, diğer malzeme türlerinden ayıran en üstün özellik, bir araya geldiği malzemelerin en iyi ve tercih edilen özelliklerini birlikte taşıması olmuştur. Matris ve seramik malzeme kavramlarından oluşan kompozit malzemeler matris malzemesine göre kendi içinde seramik, metal ve polimer matris kompozit malzemeler olarak üçe ayrılır. Metal matrisli kompozit malzemelerde metal malzeme olarak alüminyum, magnezyum, titanyum vb. metal malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır.

Malzeme alt sınıflarından olan metal malzemeler içerisinde yer alan magnezyum, düşük yoğunluklu oluşu ve son yıllarda tıp, medikal, zırhlama gibi birçok alanda tercih edilmesi sebebiyle dikkat çekmiştir [2]. Magnezyumun avantajlarının yanı sıra, kullanılacağı prosese bağlı mekanik özelliklerinin zayıf kalışı ile saf halde kullanılması mümkün değildir. Magnezyum malzemesi içeresine eklenen farklı alaşım elementleri ile mekanik, fiziksel, kimyasal olarak daha üstün özelliklere sahip alaşım grupları üretilmektedir. Bu magnezyum alaşım sınıflarından en çok tercih edilenler birisi de AZ91'dir. AZ91 magnezyum alaşımı, kendi sınıfında yüksek mukavemet göstermesi özelliği ile öne çıkmaktadır. Magnezyum,

alaşımli olarak kullanıldığında da birçok mukavemet üstünlüğü sağlasa da magnezyum matrisli kompozit malzeme olarak kullanımlarında magnezyum alaşım malzemelerine göre daha iyi bir dayanım, yüksek sertlik ve yüksek mekanik özellikleri gösterirler. Magnezyum matrisli kompozitler de en yaygın kullanılan takviye malzemeler SiC, Al₂O₃, B₄C gibi seramik malzemelerdir [3].

Son yüzyılda artan nükleer enerji kullanımı ve tıp, medikal alanlardaki görüntüleme çalışmaları ile birlikte canlıların yapay radyasyona maruz kalma süreleri ile birlikte maruz kalınan radyasyon doz miktarları daha da artmaktadır. Nükleer enerji kullanımının avantajları her ne kadar önemli olsa da yüksek dozdaki maruziyet ölümlere bile yol açabilmektedir. Radyasyonun olumsuz etkilerinden korunabilmek için uzaklık, zaman ve zırhlama gibi temel faktörlerin optimum koşullarda sağlanması gerekmektedir. Radyasyon, günlük hayatta sıkça maruz kaldığımız bir enerji olduğundan dolayı, hesaplanacak zırh malzeme kalınlığı, zaman ve uzaklık parametreleri önemli bir konu haline gelmiştir. Literatür çalışmaları incelendiğinde, kurşun başta olmak üzere cam, beton gibi zırhlama özelliği yüksek olan malzemeler ve bunların alaşımlarının yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmüştür. Bir malzemenin zırh malzemesi olarak kullanılabilmesi için, kullanılan radyasyon kaynağının zırh malzemesi ile yapacağı etkileşimleri ve bu etkileşim sonucunda elde edilecek zırhlama parametrelerinin yorumlanabilmesinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Gama ve X-ışınlarından korunmada seçilecek zırh malzemesinin yüksek atom numarasına sahip malzeme olması gerekirken, nötron soğurmada da daha çok grafit ve bor gibi daha düşük atom numarasına sahip malzemeler tercih edilmelidir. Gelişen malzeme teknolojisi ile birlikte radyasyon zırhlamada kullanılacak bu malzemelerin de çeşitliliği üretim yöntemlerine bağlı olarak artacak ve birçok alanda üstün zırhlama özellikleri ile canlı sağlığını radyasyonun zararlı etkilerinden korumak adına büyük bir rol oynayacaktır [4].

Bu tez çalışmasında AZ91 metal matris içerisine sırasıyla ağırlıkça %5 - %10 - %15 oranında SiC, BaSO₄ ve SiC+ BaSO₄ seramik parçacıklar eklenerek kompozit/hibrit numuneler toz metalurjisi yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik (sertlik, çapraz kırılma), radyasyon zırhlama (teorik, deneysel) özellikleri incelenmiş, SEM ve EDS analizleri ile yapısal özellikleri karakterize edilmiştir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Malzeme kavramı geçmişten günümüze birçok araştırma geliştirme faaliyetlerinde en önemli konulardan biri olmuştur. Bununla birlikte, birçok üretim prosesinde tercih edilen çeşitli malzemeler canlı yaşamının devamlılığı ve ekosistemin düzgün bir şekilde sürdürülebilmesine etki eden birçok faaliyet kapsamında da önemli bir rol oynamıştır. Özellikle tıp, havacılık, endüstri, tarım, makine ve aletlerin üretimi gibi birçok alanda sürekli geliştirilmesi gereken bir kavram haline gelmiştir [5].

Tek bir malzeme türünden (metal, seramik, polimer gibi) oluşan materyallerin günümüzde var olan ihtiyaçları karşılayamamasından dolayı yeni nesil ve ileri teknolojik malzeme türlerine ihtiyaç duyulmuştur. Yeni nesil malzemelere duyulan bu ihtiyaç, malzeme seçiminin önemini de artırmıştır. Araştırmalar sonrasında da bilim insanları tarafından ihtiyaç duyulan mekanik, kimyasal vb. üstün özelliklere sahip yeni nesil malzeme olarak kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Kompozit malzemeleri bir araya getiren malzemelerin seçimi de ayrı bir mühendislik gerektirmiştir.

Kompozit malzeme, aynı veya farklı grupta bulunan iki ya da daha fazla malzemenin en üstün özelliklerinin bir araya getirilmesi ile oluşturulan malzemelerdir. Elde edilen kompozit malzeme kendi mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliğini gösterdiği gibi, olduğu takviye elemanlarının da özelliğini de taşır. Kompozit malzemeler, matris ve takviye elemanları olarak alt bileşenlerden oluşurlar. Matris malzeme ana malzeme olarak bilinir. Takviye elemanları ise üretilecek malzemenin amacına göre tercih edilir. Uygun üretim yöntemleri tercih edilerek oluşturulan kompozit malzemeler, aynı hacimdeki diğer malzeme türlerine kıyasla daha yüksek dayanım, yüksek korozyon direnci ve daha düşük yoğunluk gösterirler [6].

Kompozit malzemeler matris malzemenin ve takviye elemanının yapısına göre ikiye ayrılırlar. Matris malzemelerde kullanılan ana malzemenin yapısına göre polimer matrisli, seramik matrisli ve metal matrisli olmak üzere üç grupta incelenirler. Kullanılan takviye elemanına göre ise kısa fiber takviyeli, parçacık takviyeli, whiskers takviyeli ve sürekli fiber takviyeli olmak üzere dört gruba ayrılırlar [7-9].

Matris malzeme türüne göre üç gruba ayrılan kompozit malzemeler içerisinde; polimer matrisli kompozitlerin dayanım değerlerini artırabilmek için takviye elemanı olarak cam, karbon gibi elyaflar tercih edilerek proses edilir. Bu grubun diğer iki gruba göre rijitlik, aşınma dayanımı ve diğer mekanik özellikleri daha düşüktür [10].

Nitritler, karbitler, silikatlar, sülfidler seramik malzemelere örnek olarak sıralanabilir. Bu grup kompozit malzemeler iyi bir yalıtım malzemesi olarak sanayide kullanılabileceği gibi, sertlik ve basma kuvveti performanslarının yüksek oluşları ile de ön plana çıkmaktadır [11].

Tercih edilen ana malzeme, matris malzeme olup; elde edilecek kompozit malzemenin hacimsel olarak büyük bir yüzdesini oluşturur. Tercih edilecek matris malzemenin yüksek mekanik özelliklerde olması istenir. Magnezyum, titanyum, alüminyum, çinko, demir, nikel ve gümüş örnek olarak gösterilebilir [12].

Kompozit malzeme gruplarında, metal matrisli kompozit malzemelerin bu derece önemli olmaları; yüksek tokluk, rijitlik, çekme kuvveti ve korozyon direncine karşılık düşük yoğunluğa sahip olmalarıdır. Havacılık, savunma otomotiv, zırhlama, tıp, tarım gibi birçok alanda metal matrisli kompozit malzeme seçimi büyük önem taşımaktadır. Yüksek mekanik özelliklerin ortaya çıktığı bu malzemelerde düşük yoğunluk sebebi ile maliyetten de verim elde edilmektedir [13]. Metal matrisli kompozit malzemelerde amaca uygun tercih edilecek takviye elemanını belirlemek de son derece önemlidir. Takviye elemanı, kompozit malzemeye sağlayacağı faydaya göre doğru oranlarda katkılandırma yapılmalıdır. Katkı maddesi ile matris malzemenin bir araya gelmesi için doğru üretim yönteminin belirlenmesi de son derece önemlidir. Metal matrisli kompozit malzeme gruplarından tercih edilen bazı takviye elemanları bor karbür (B_4C), silisyum karbür (SiC), baryum sülfat ($BaSO_4$), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve titanyum nitrür (TiN) olarak sayılabilir [14].

2.1. Magnezyum ve Alaşımları

Magnezyum ve alaşımları metal malzeme alt sınıfında yer almaktadır. Düşük yoğunluğu ve ile üretim ve tasarım alanlarında sıklıkla tercih edilerek, literatürde de birçok çalışma konusu olarak yerini almıştır. Periyodik cetvelin diğer elementleri ile kıyaslanacak olursa, kendi sınıfından en çok tercih edilen alüminyuma göre 1,5 kat daha hafiftir. Bu yönü ile üretim proseslerinde geliştirilmek üzere ham malzeme ve matris malzeme olarak tercih

edilmektedir. Bunun yanı sıra elektromanyetik dalgalara karşı iyi bir zırh malzemesi olarak da kullanılabileceği gibi titreşim sönümleme kabiliyeti de önemli özellikleri arasındadır. İşlenebilirliği ile ilk sıralarda tercih edilen çelik malzemeye göre de neredeyse 5,5 kat daha hafif olup; havacılık, savunma, tıp ve birçok Ar-Ge alanlarında sıklıkla karşımıza çıkan bir malzeme halini almıştır. Örneğin, otomotiv sektöründe tercih edilmesi sayesinde düşük maliyetli ve düşük yoğunluklu otomotivlerin üretilmesine ve sonucunda da daha az yakıt tüketiminin gerçekleşmesine sebep olmaktadır [15].

Metal malzemeler de doğada gerçekleşen kimyasal ve fizikler bozunmalardan etkilenirler. İnsan kemik yapısına yoğunluk değeri ile en yakın olan magnezyum elementi aynı zamanda biyo bozunur bir elementtir. Bu sebeple insan vücudu içerisinde bozunmaya uğrar. Bozunma sonrası ortaya çıkan bileşikler biyogüvenli kabul edilir ve vücuttan boşaltımı kolaylıkla gerçekleşir. Özellikle tıp alanında, kırık tespit edilen kemikler için implant malzemesi olarak tercih edilir. Bunun sebebi kemik dokuya çok benzer yapıda elastike yapıya sahip olmasıdır. Magnezyumun yoğunluğunun kemik dokuya çok yakın bir yoğunluğa sahip olmasından dolayı implant malzeme seçiminde çelik ve titanyum malzemelerin önüne geçmeyi başarmıştır [16]. Magnezyum malzemesinin diğer malzemelerle arasındaki ilişki Çizelge 1.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. İmplant malzemelerinin kemik doku ile ilişkisi [17]

Özellikler	Kemik	Magnezyum	TitanyumAlaşımları	Cr-CoAlaşımları	PaslanmazÇelik	SentetikHidroksiapatit
Yoğunluk/cm ³	1,8-2,1	1,74-2,0	4,4-4,5	8,3-9,2	7,9-8,1	3,1
ElastisiteModülü, GPa	3-20	41-45	110-117	230	189-205	73-117
Akma Dayanımı, MPa	130-180	65-100	758-1117	450-1000	170-310	600
Kırılma Tokluğu, MPam ^{1/2}	3-6	15-40	55-115	-	50-200	0,7

Literatür araştırması yapıldığında, magnezyum elementinin havadaki oksijen ile çok kolay bir şekilde bağ kurduğu görülmektedir. Bu da oksitlenme olarak bilinir ve istenen bir durum değildir. Bu özellik, magnezyum elementinin yüksek reaktif özellik göstermesi sebebiyle gerçekleşmektedir. Magnezyum elementi doğada karbonat, kalsiyum bileşikleri ve oksit olarak karşımıza çıkar. Magnezyumun atom numarası 12 olup, hegzagonal kristal yapıdadır. Görünüş olarak gümüşümsü gri renge sahiptir. Magnezyum elementinin ergime sıcaklığı 650 °C olup, malzeme seçiminde tercih edilen alüminyum ve çeliğe rakip özellik

göstermektedir. [18,19]. Çizelge 2.2’ de magnezyum malzemesinin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Magnezyumun fiziksel özellikleri [20]

Simgesi	Mg
Atom Numarası	12
Atom Ağırlığı	24,312 g/mol
Kaynama Noktası	1090 °C
Ergime Noktası	650 °C
Yoğunluğu	1,74 gr/cm ³
Elektron Düzeni	3s ²
Kristal Yapısı	Hegzagonal sıkı paket
Çekme Dayanımı	80-180 MPa
Young Modülü	45 MPa

Magnezyum, doğada saf formda bulunması sebebiyle üretim işlemlerinde tek başına kullanılamaz. Doğadaki her element kararlı yapıda olma eğilimindedir. Bu sebeple de magnezyum elementinin, başka metaller ile alaşımlandırılarak kullanılması tercih edilir. Böylece saf halde sahip olduğu yetersiz mekanik özellikleri iyileştirilmiş olur.

Saf halde bulunan Mg elementi birçok alaşım ile katkılandırılarak, mekanik özellikleri daha iyi bir duruma getirilmektedir. Mg metali ile alaşımlandırılan başlıca elementler Al, Zn, Mn, Ca, Si, Ag, Th, Zr ve Sr olarak sıralanabilir. Bu alaşımlardan biri olan AZ91 alaşımı diğer magnezyum alaşımlarına kıyasla daha yüksek mukavemete sahiptir.

2.1.1. AZ91 alaşımı

Alaşımlar, 1948 yılında hazırlanan ASTM A275 standardı içerisinde belirtilen isimlendirme metodu ile adlandırılırlar. Magnezyum alaşımlarının isimlendirilmesi de iki sayı ve iki harf ile kombinlenerek oluşturulur. Oluşturulan bu formülde sayılar alaşımın elementinin ağırlıkça yüzdesini verirken, harfler ise alaşımı içeren en yüksek paydanın alaşım elementlerini simgeler. Gösterimdeki AZ91 alaşımında da “AZ” harfleri alüminyum ve çinko elementlerini simgelerken “91” sayısı ise elementlerin sırasıyla ağırlıkça yüzdeleri (%9 alüminyum ve %1 çinko) verir [21]. AZ91 serisi alaşımlar magnezyum alaşımları içerisinde iyi dökülebilirlik, yüksek özgül dayanım, korozyon direnci ve yüksek mekanik özellikleri sebebiyle en fazla tercih edilen gruptadır [22]. Magnezyum alaşımları ilave

edildikleri alaşım elementinin yoğunluğuna göre kullanım sebepleri ve kullanım alanları ile farklılıkları [23-24]. Bu farklılıklar Çizelge 2.3’ de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Magnezyum alaşımlarının sınıflandırılması [23-24]

Alaşım Adı	Alaşım İlaveleri	Kullanımları	Kullanım Nedenleri
AZ91	%9,0 Al%0,7 Zn%0,13 Mn	Genel döküm alaşımı	Dökülebilirliğin iyi olması, $T < 150\text{ °C}$ de iyi mekanik özelliklere sahip olması
AM60	%6,0 Al%0,15 Mn	Yüksek basınçlı metal kalıp alaşımı	AZ91’ den daha fazla tokluk ve haddelenmeye sahip olması
AZ31	%3,0 Al%1,2 Re%0,2 Mn	Dövme magnezyum ürünleri	İyi bir ekstrüzyon alaşımı olması
AS41	%4,2 Al%1,0 Si	Genel döküm alaşımı	Yüksek sıcaklıklarda AZ91 ‘den daha iyi sürünme direncine sahip olması ancak düşük dayanıma sahip olması

AZ91 in Çizelge 2.3 de de görüleceği gibi diğer alaşımlardan belli özellikleri ile öne çıktığı açıkça görülmektedir. Üretilbilirlik ve verimlilik dikkate alındığında üstün mekanik dayanım ve yüksek korozyon direncine karşın daha hafif bir malzeme olan AZ91’i sınıfında ön plana çıkarmaktadır. AZ91 malzemenin mekanik özellikleri de Çizelge 2.4’ de verilmiştir.

Çizelge 2.4. AZ91’ in mekanik özellikleri [25]

Yoğunluk	1,81 gr/cm ³
Döküm Sıcaklığı	650-695 °C
Çekme Dayanımı	220 MPa
İletkenlik	61 W/m °K
Brinell	60
Termal Genleşme	25,6 um/m °K
Elastiklik	45 GPa

AZ91 içerisine literatürde farklı takviye elementler eklenerek AZ91 malzemesinin mekanik, fiziksel vb. özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında kullanılan baryum sülfat ve silisyum karbür seramik tozların üstün mukavemet ve korozyon direnci gibi mekanik özelliklerinden faydalanarak AZ91 malzemesinin mekanik ve radyasyon geçirgenlik özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır.

2.1.2. Baryum sülfat (BaSO_4)

Baryum elementinin yeryüzünde bulunma oranı %0,05 olup, atom ağırlığı 56 g/mol olarak ifade edilir. Periyodik cetvelde toprak alkali metal sınıfı olarak adlandırılan grupta yer almaktadır ve katı formda bulunmaktadır. Dış görünüşü ve doğada bulunuşu gümüş-gri-beyaz renklindedir. Baryum bileşikleri baryum nitrür, baryum hidroksit ve baryum klorür literatürde yerini almıştır. Baryum sülfat, yüksek yoğunluğa sahip olmasına karşın, takviye elemanı olarak tercih edilmesinin en büyük sebeplerinden birisi, yüksek sıcaklık ve basınçlarda üretilebilir olmasıdır. Aynı zamanda yapılan mühendislik çalışmalarında düşük maliyetlerde elde edilebiliyor olması da takviye elemanı olarak araştırma geliştirme faaliyetlerinde sıklıkla kullanılıyor olmasını kanıtlamaktadır. Barit olarak da bilindiği gibi, gösterimi BaSO_4 şeklindedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde matris malzeme ile bağlayıcılığı yüksek, nötronları engelleme özelliğinden dolayı da atom reaktörlerinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda radyoaktif ışınları absorbe etme özelliği sebebi ile nükleer enerji santrallerinde dolgu malzemesi olarak tercih edilir [26, 27].

2.1.3. Silisyum karbür (SiC)

Metal matrisli kompozit malzeme üretiminde takviye elemanı olarak sıklıkla tercih edilen SiC seramik bileşiği, bir Si atomunun dört komşu C atomu ile bağlanması veya bunun tersi ile oluşmuştur. Yarı iletken bir malzeme olup; yüksek aşınma direncine, yüksek sertliğe ve yüksek termal stabiliteye sahiptir. Takviye malzemesi olarak tercih edilme sebeplerinden en önemlisi de düşük yoğunluğa sahip olmasıdır. Oluşturduğu kompozit malzemenin aşınma dayanımını ve radyasyon zırlama parametrelerini önemli ölçüde etkileyecek üstün mekanik özelliklere sahiptir [28].

Metal matrisli kompozit malzemelerin birçok üretim yöntemi bulunmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olarak tercih edilen metot, katı hal üretim yöntemi başlığı altında bulunan toz metalürjisi yöntemidir [29]. Diğer üretim yöntemleri de matris malzemenin ve takviye elemanının etkinliğine göre tercih edilebilir.

2.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzeme üretim yöntemi belirlenirken; elde edilecek malzemenin kullanım alanı ile birlikte istenen mekanik, kimyasal ve biyolojik özellikler göz önüne alınarak belirlenir. Öncelikle üretimden beklenen verimlilik ve analiz edilecek parametreler göz önüne alınarak uygun matris malzeme ve takviye elemanına karar verilmelidir. Elde edilen malzemenin alt bileşenleri kendi içlerinde en üstün özelliklerini taşıyacak şekilde bir araya gelirler ve elde edilen kompozit malzeme her birinin tercih edilen özelliklerini bir arada gösterir. Oluşan kompozit malzeme mikro yapısı ve mekanik analizi incelendiğinde, matris malzemesinin ve takviye elemanlarının her birinin özelliklerini de taşıyor olması ve mekanik olarak daha dayanımlı, korozyon direnci yüksek ve düşük yoğunluklu malzeme elde edilmiş olunur. İstenen analizin özelliğine göre hesaplanan verimlilikler, teorik hesaplamalar ile deneysel çalışmalar arasında yapılan karşılaştırmalar birçok faaliyet alanında araştırma ve geliştirme faaliyetlerine ışık tutulabilir. Gelişen teknoloji ile birlikte üretim yöntemleri de farklılaşarak, üretimin uygulanabilirliği daha da artmaktadır. Bu da birçok araştırma konusunu beraberinde getirmiştir [30, 31].

Metal matrisli kompozit malzemelerin proses yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sıvı Faz Üretim Yöntemleri
- Katı Faz Üretim Yöntemleri
- İki faz (sıvı-katı) Üretim Yöntemleri
- Biriktirme Yöntemleri
- In-situ Üretim Yöntemleri [32]

2.2.1. Toz metalurjisi

Toz, kelime anlamıyla nano boyutlardan milimetrik boyutlara kadar çeşitli saflıktaki malzemeye verilen addır [33]. Toz metalurjisi ise, farklı boyuttaki bu tozların uygun sıcaklık ve basınçta bir araya getirilmesini kapsamaktadır. Elde edilen malzemenin homojen mikro yapıda olması, bir araya geldiği matris malzeme ve takviye malzemesinin üstün özelliklerini taşıması ve düşük yoğunlukta olması beklenir. Talaşlı imalat, dökme yöntemleri gibi en çok bilinen üretim yöntemleri ile elde edilemeyecek malzemeler bu üretim yöntemi ile kolaylıkla

üretildiği gibi, metalurji ve malzeme gibi birçok ileri teknolojik alanda da araştırma konusu olmuştur [34].

Toz metalürjisi üretim yöntemi ile daha hassas ve homojen malzemeler elde etmek mümkündür. Bunların paralelinde üretilen malzemenin düşük yoğunluklu ve yüksek mukavemetli olduğu da göz önünde bulundurulur ise bu üretim yönteminin özellikle savunma, havacılık ve otomotiv endüstrisinde çok önemli bir noktada olduğu söylenebilir. Düşük yoğunluk, daha az maliyet ve daha az yakıt tüketimi, daha az çevre kirliliği anlamına da gelir [35]. Tercih edilen sektöre bağlı olarak, toz metalürjisi ile malzeme üretilmesinin birçok avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır.

Avantajlardan bazıları şunlardır:

- Homojen yüzey görünümü ve hassasiyeti yüksek yüzey kalitesi
- Daha hızlı ve daha hassas üretim
- Yüksek sıcaklıklarda çalışılabilir olması
- Daha düşük yoğunluktaki malzeme üretimi ile birlikte yakıttan tasarruf ve daha az çevre kirliliği
- Bilinen üretim yöntemlerinin aksine bir arada bağlanamayacak malzemelerin uygun bağlayıcılar kullanarak bir araya getirilmesi ve yeni malzemenin olduğu diğer malzemelerin üstün özelliklerini taşıyabiliyor olması

Dezavantajlarından bazıları şunlardır:

- Araştırma ve geliştirme faaliyetleri kapsamında üretilecek ilk numune için, üretim yönteminin yeni oluşu ile yüksek maliyetler gerektirebilir.
- Sık bilinen talaşlı imalat yönteminde kullanılan hassas toleranslar, toz metalürjik yöntemde daha geniş tolerans aralıklarına sahiptir, böylece malzeme daha kaba toleranslarda üretilir.
- Üretim adımlarından birisi olan presleme işlemi için yüksek basınç değerlerini kullanmak maliyet gerektirebilir.
- Yüksek sıcaklıklarda çalışıldığı için iş güvenliği açısından daha risklidir [36-38].

Toz metalurjisi üretim basamakları

Toz metalurjisi ile üretim denildiğinde temelde 3 aşama birbirini takip eder. Bunlar, tozların homojen bir şekilde karıştırılması, malzemenin uygun sıcaklık ve basınç koşullarında preslenmesi ve malzemenin preslenmesidir. Öncelikle kullanılacak matris malzeme ve takviye elemanları belirlenerek, tozların birbiri içerisinde homojen bir şekilde karışması için belirli sürelerde uygun karıştırıcılar kullanılır. Elde edilen homojen toz karışımının, uygun kalıplara dökülerek istenen basınç ve sıcaklıkta (sıcak ya da soğuk pres yöntemi) pres yapılır. Presleme işlemi de yüksek hassasiyetlerde ve hızlarda yapılmalıdır. Kullanılan kalıbın yağlanması ve temizlenmesi doğru bir presleme işlemi için vazgeçilmezdir. Elde edilecek malzemenin mekanik özelliklerini ve yoğunluğunu doğrudan etkileyeceği göz önünde tutulduğunda, presleme işleminde uygulanan basınç kuvveti doğru hızda ve doğru zamanda yapılmalıdır. Basınç uygulanacak kuvvetin malzemeyi ağırlık merkezinden kavradığına ve yere dik bir konumda bastığına emin olunmalıdır. Pres sonucu elde edilen malzeme, daha üstün özellikler göstermesi ve matris malzeme ile takviye elemanları arasındaki bağ kuvvetlerinin daha da kuvvetlendirilmesi için sinterleme işlemine tabi tutulur. Bu üretim yöntemi, bir araya geldiği toz malzemelerin her birinin ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta yapılmalıdır, aksi taktirde numune mikroyapısı bozulabilir, malzeme formu değişebilir. Bu üretim için uygun atmosferik sinterleme fırınları kullanılır. Bu prosesler takip edildiğinde, uygun sıcaklık ve basınç koşulları sağlandığı durumda istenen ürüne başarı ile ulaşılmış olunur [38, 39].

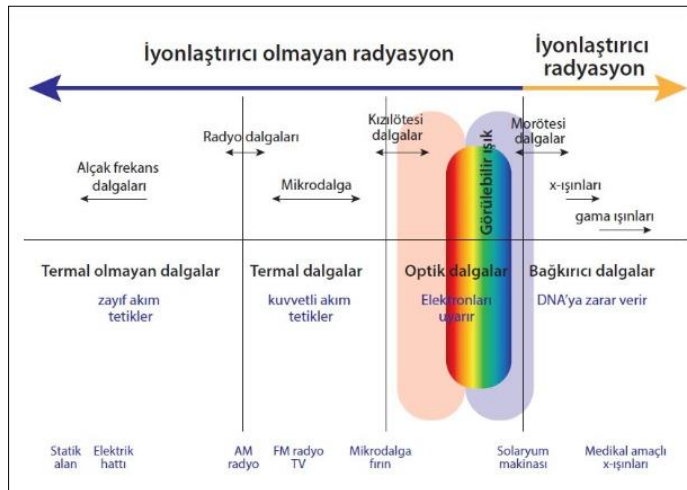


3. RADYASYON

Radyasyon kavramı ilk olarak 1896 yılında Pierre Curie ve Marie Curie adında iki bilim insanının uranyum mineralinin aktifliğine bağlı olarak radyoaktif bozunmayı keşfetmesi üzerine ortaya çıkmıştır. Daha sonrasında yapılan araştırmalar ve geliştirmelere bağlı olarak tarım, tıp ve sanayinin birçok kolunda radyasyon uygulamaları sayesinde farklı disiplinler oluşmaya başlamıştır. Atomların birbirinden farklı dalga boylarında ışınlamalar yayarak farklı atomlara dönüşme isteği göstermeleri radyoaktivite olarak tanımlanmaktadır. Bu radyoaktif duruma bağlı olarak yayılan ışınlar ise radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Doğada her madde kararlı hale geçme eğiliminde bulunduğundan dolayı kararsız haldeki atomlar sahip oldukları enerjiyi yayarak kararlı hale geçerler [40].

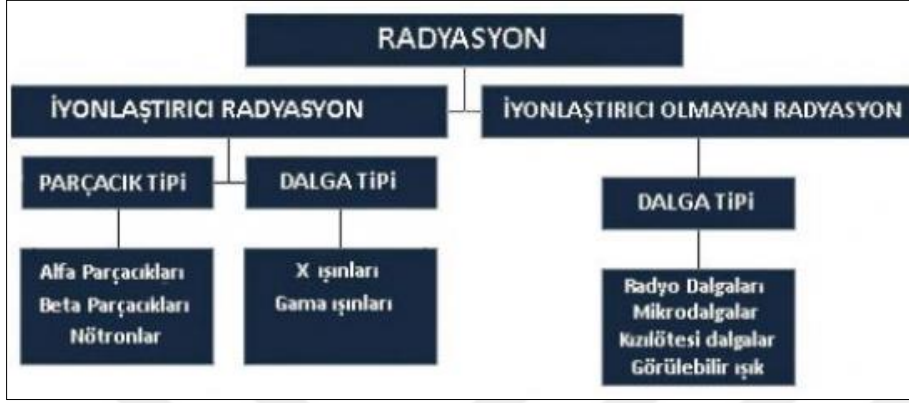
Günümüz teknolojisinin geçmişten bugüne evrimi incelendiğinde gerek tıpta gerekse diğer görüntüleme uygulamalarında başta olmak üzere radyasyon kavramının daha sık kullanıldığı görülmektedir. Birçok araştırma konusu da radyasyonun önemini savunurken, çevreye ve canlı yaşamına verdiği zararı da göz ardı etmemiştir [41].

Radyasyon, Şekil 3.1’ de şematik olarak gösterildiği gibi iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak iki gruba ayrılır.



Şekil 3.1. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon etkileri [41]

Radyasyon türlerinin dalga boylarına bağlı alt kırımları da Şekil 3.2’ de gösterilmiştir. Bu dalga boylarına örnek olarak alfa parçacıkları, beta parçacıkları, nötronlar, X ışınları, gama ışınları, radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi dalgalar ve görülebilir ışık verilmiştir [41].



Şekil 3.2. Radyasyon türlerinin sınıflandırılması [41]

3.1. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynakları, iyonlaştırıcı olan radyasyon kaynakları ile kıyaslandığında daha düşük enerjiye sahiptirler. Bu düşük enerji de bu kaynakların giricilik ettikleri maddeyle olan etkileşimlerinin zayıf olduğunu gösterir. Örnek olarak radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar ve görülebilir ışık kaynakları verilebilir. Günlük hayatta karşımıza sıklıkla çıkan bu örneklerden de anlaşılacağı gibi, daha az zararlı ve daha az enerjili kaynaklardır. Sağlık ve tıp alanlarında ismini duyduğumuz MR görüntüleme ve evlerimizde kullandığımız mikrodalga fırınların yaydığı enerjiler bu tip radyasyona en iyi örneklerdir [42].

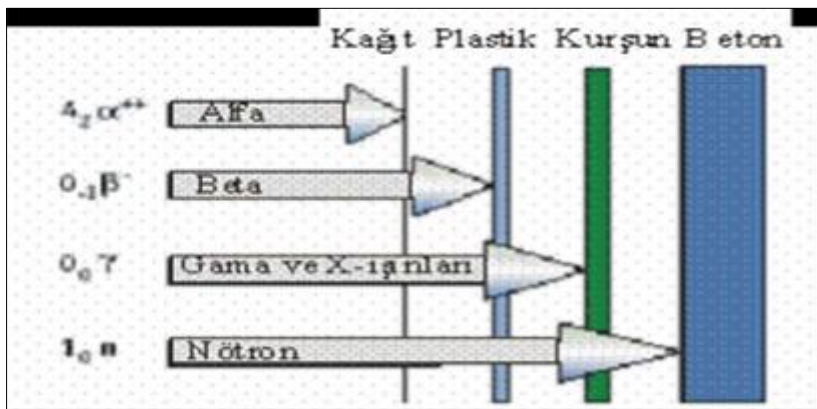
3.2. İyonlaştırıcı Radyasyon

Radyasyon bir enerji türü olmakla beraber, atomlarda iyonlaşmaya sebep oluyorsa, bu tip radyasyona iyonlaştırıcı radyasyon adı verilir. Parçacık tipi ve dalga tipi olması iki ayrı grupta incelenmesine sebep olmaktadır. Yayılan radyasyon herhangi bir kütleyle sahip değil ve dalga şeklinde yayılıyor ise dalga tipi radyasyon, belirli bir kütleyle sahip ise parçacık tipi radyasyon olarak isimlendirilir. En çok bilinen alfa, beta, nötron parçacıkları, X ve gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyona örnek olarak verilmektedir. Günümüzdeki uygulamalarda da sıklıkla karşımıza bilgisayarlı tomografi (BT), mamografi, pozitron emisyon tomografisi

(PET) ve tek foton emisyon bilgisayarlı tomografisi (SPECT) olarak çıktığı gibi, bu uygulamalar iyonize radyasyon kullanılarak yapılan görüntüleme örnekleridir [43].

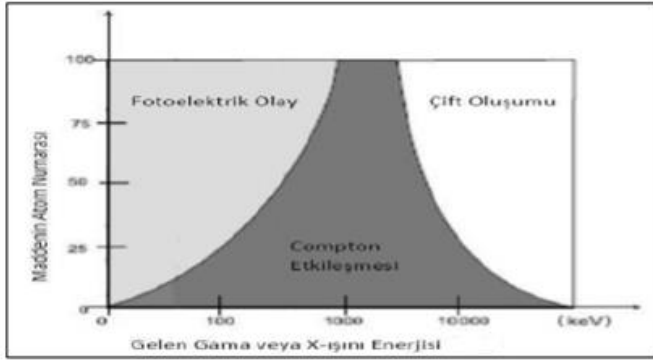
Parçacık tipi radyasyon incelendiğinde alfa, beta ve nötron parçacıkları örnek olacaktır. Alfa parçacığı bilinen Coloumb kuvveti etkisinde hareket eder ve dalga boyları büyük olduğu için etki kuvvetleri düşüktür. Ağırlıkça büyük olması ve dalga boylarının diğer radyasyon tiplerine göre yüksek olması sebebi ile durdurucu kuvvetin etkisi daha düşük olacaktır. Beta parçacığı ise, tek yüklü pozitron ve elektrondan oluşmakla birlikte, pozitron yayını yapılarak radyasyon kaynağı halini almıştır. Beta parçacıklarının alfa parçacıklarına kıyasla yayını ve çaptığı yüzeyde oluşturduğu yayını daha fazladır. Bunun sebebi olarak da daha hızlı hareket etmeleri ve yayını enerjileri sayılabilir. Nötron parçacığı ise, nükleer bir reaktörden yayını sonrası salınırlar. Daha yüksek enerjili oldukları için, yayınımlarını durdurmak için daha yüksek enerjiler gerekir [44].

X ışınları ve gama ışınları dalga tipi radyasyon grubuna girer. Bunlar elektromanyetik radyasyon örnekleridir. Daha öncesinde değinilen parçacık radyasyon kaynaklarına kıyasla dalga tipi radyasyonlar daha uzun mesafede etkilidirler. Bu da enerjilerinin yüksek olmasına ve daha kuvvetli giricilik özelliklerine sahip olmalarına bağlı olarak gelişir. Diğer radyasyon tiplerine kıyasla daha girici olmaları sebebiyle canlı sağlığına daha fazla zararlıdır. Ancak, tıp alanındaki uygulamalarına bakılacak olursa, insan vücuduna giriciliği daha yüksek ve doğru sonuçlar vermektedir [44]. Alfa, beta ve X-ışınlarının tiplerine ve enerjilerine bağlı olarak malzeme üzerinde giricilikleri Şekil 3.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Radyasyon tiplerine ve enerjilerine bağlı olarak kaynakların giricilik etkileri [40]

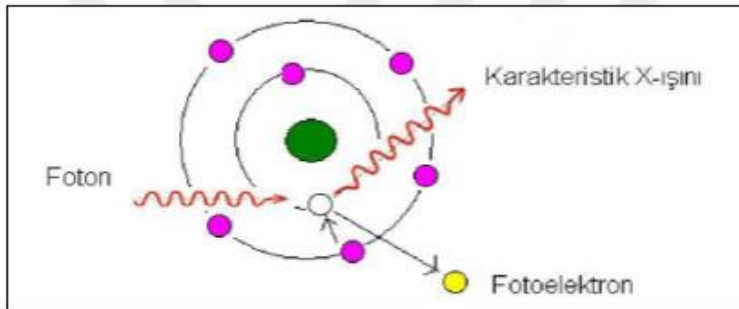
X ve gama ışınları gibi fotonlar farklı enerji bölgelerinde farklı hareket ederler. Bu hareketleri sonucunda enerji kaybederek yollarına devam ederler. Şekil 3.4’ de görüleceği gibi foton 0,001 MeV-0,5 MeV aralığında fotoelektrik olay, 0,5 MeV-1,02 MeV aralığında compton saçılması ve $E > 1,02$ MeV’de ise malzeme ile foton arasın da çift oluşum meydana gelir.



Şekil 3.4. Fotonların farklı enerji aralıklarındaki etkileşimleri [46].

Fotoelektrik olay

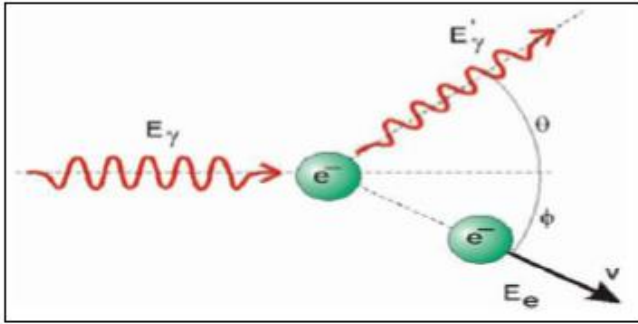
Bir elektronun yörüngesinden koparak enerjisini başka bir elektrona aktarmasının sebebi, sahip olduğu enerjinin başka bir elektronla bağ kurmak için gereken enerjiden fazla olmasıdır. Koparak yörüngeden çıkma durumuna fotoelektrik olay denir. Bu esnada ortama X ışınları yayılır. Bir fotonun yörüngeden elektron koparabilmesi için bir belli bir enerjiye sahip olması gerekir. Bu enerji miktarına eşik enerjisi denir. Eğer fotonun enerjisi elektron koparmaya yeterli gelmez ise, fotoelektrik olay da gerçekleşmemiş olur ve saçılma gerçekleşmez. Fotoelektrik olayın şematik gösterimi Şekil 3.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Fotoelektrik olayın oluşumu [49].

Compton saçılması

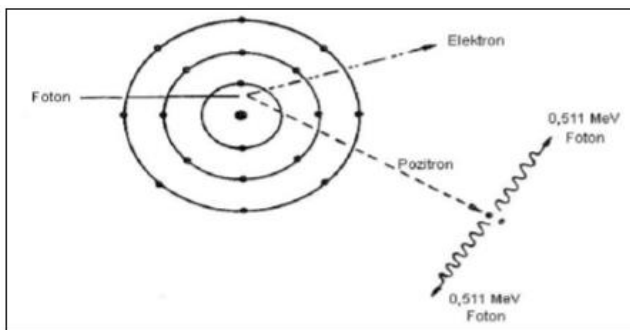
Doğada en çok bulunan karbon atomu serbest elektronları ile yüksek enerjiye sahip X ışınlarının fotonunun çarpışması sonucu, elektronun ve fotonunun saçılmasına compton saçılması adı verilir. Saçılma olayında, Bragg spektromektesi ile incelenir ve saçılan fotonların dalga boyları hakkında bilgi edinilir. Bragg spektrometresi analizinde Bragg eğrisi oluşturularak hesaplamalar yapılır. Yüklü bir parçacığın ilgili madde içerisindeki menziline göre enerji kaybını hesap eden eğri, Bragg eğrisi olarak tanımlanır [47]. Compton saçılması da şematik olarak Şekil 3.5’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Compton saçılma olayı [49].

Çift oluşumu

Ortamdaki foton yeterli miktarda enerjiye sahip olduğunda, bir başka madde tarafından soğurulur. Soğurulma esnasında birbirine zıt yüklü parçacıkların oluşumu gözlenir. Bu durum elektron-pozitron çift oluşumu olarak bilinir [48]. Çift oluşumu da şematik olarak Şekil 3.6’ da gösterilmiştir.



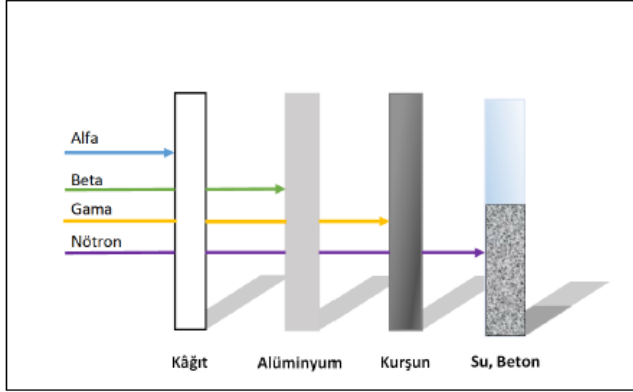
Şekil 3.7. Elektron-pozitron çift oluşumu [47].

3.3. Radyasyondan Korunma Yolları

Gelişen teknoloji ile birlikte radyasyon kaynaklarına duyulan ihtiyaçta aynı oranda artmıştır. Birçok sektör iyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan bu radyasyon kaynaklarının kullanımı sayesinde daha kısa sürede ve daha net sonuç elde edilebilen cihazlar elde etmiştir. Bu da radyasyon kaynaklarına olan bağlılığın vazgeçilmez bir unsur olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Ancak radyasyonun canlı hücre ile etkileşimi sonucunda kısa vadede ya da uzun vadede biyolojik olarak hasara yol açabileceği de kaçınılmazdır. Radyasyonun dozuna bağlı olarak değişecek bu hasarın etkisi, bir sonraki nesle hücre DNA sı ile aktarılmasıyla ortaya çıkacaktır. Bu da radyasyon kavramının avantaj ve önemi kadar, dezavantajlarının da göz ardı edilemeyeceğini göstermektedir. Bu dezavantajların şiddetini en aza düşürecek radyasyon zırhlamanın da araştırılması ve geliştirilmesi için hesaplanan parametreler bulunmaktadır. Başlıcaları, radyasyona maruz kalınan süre, radyasyon kaynağına olan mesafe ve radyasyon kaynağı ile canlı hücre arasında bulunan zırhlama malzemesi türüdür. Sayılan bu üç parametre, radyasyon kaynağının tipine ve büyüklüğüne bağlı olarak hesaplanır. Radyasyon etkilerinden en iyi korunma için, kaynaktan daha uzakta kalmak, daha az maruz kalmak ve daha iyi bir zırh malzemesi kullanmak hedef olarak sayılabilir [49].

Radyasyon zırhlaması için gerekli malzeme etkinliği ve verimliliği için bazı parametrelerden faydalanılır. Zırhlama malzemesinin etkinliği ilk olarak, kullanılan malzemenin atom numarası ve yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Lineer zayıflama ve kütle zayıflama katsayıları (LAC-MAC), etkin atom numarası (Z_{eff}), etkin elektron yoğunluğu (N_{eff}), yarı değer ve onda bir değer kalınlığı (HVL-TVL), etkin iletkenlik (C_{eff}) hızlı nötron tesir kesiti (FNRC) ve yavaş nötron tesir kesiti hesap edilerek zırh malzemesinin özellikleri ve etkinliği hakkında bilgi edinilir. Bu faktörlerin manuel olarak hesaplanması her zaman mümkün değildir. Özellikler hibrit kompozit malzeme gibi karmaşık yapı ve birçok malzemeyi içinde barındıran eklemeli imalat yöntemi ile üretilen malzemelerin kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak birçok parametrenin hesap edilmesi gerekir. Bu hesaplamaların çevrimiçi olarak hesaplandığı bir program olan Phy-X/PSD programı kullanılarak teorik olarak malzemenin karakteristik X ışınları, gama ışınları ve hızlı nötronların parametrelerini hesap eder. Program içerisinde istenen radyoaktif kaynak seçilerek, 1 keV ile 100 GeV enerji aralığında çalışılmaktadır.

Farklı radyasyon dalgalarının malzeme üzerindeki soğrulma ve giricilik etkinlikleri Şekil 3.7’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Radyasyon türlerinin malzeme üzerindeki giricilikleri [49]

Lineer zayıflatma katsayısı (LAC)

Lineer zayıflatma katsayısı olarak bilinen LAC faktörü cm^{-1} birimi ile ifade edilir. Radyasyon ışınlarının bir malzeme içerisinden geçerken saçılması sonucunda radyasyon şiddetinde azalmalar meydana gelir. Radyasyon etkisini azaltmak için kullanılacak zırh malzemesinin absorbe ettiği miktarı incelememize yarayan LAC değeri, kullanılacak malzemenin etkinliğini göstermektedir. μ , bir malzemenin lineer zayıflatma katsayısıdır. Eş. 2.1’ de, lineer bir foton şiddetinin x kalınlığındaki bir malzemeden geçerken oluşan enerji değişimini göstermektedir. I , kaynaktan çıkan radyasyon miktarını, I_0 ise kaynaktan çıkan radyasyon miktarını göstermektedir.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

Kütle zayıflatma katsayısı (MAC)

Zırhlama malzemesi seçiminde kullanılan önemli parametrelerden biridir. Kütle zayıflatma katsayısı, lineer zayıflatma katsayısının, malzemeye oranı ile ifade edilir. μ_m , kütle zayıflatma katsayısını ifade eder.

$$\mu_m = \mu / \rho \quad (2.2)$$

Bir karışım içerisinde bulunan malzemelerin kütle zayıflatma katsayıları da Eş. 2.3 ile ifade edilir. w , malzemelerin ağırlıkça yüzdesini ifade etmektedir.

$$(\mu/\rho) = \sum w_i (\mu/\rho)_i \quad (2.3)$$

Ortalama serbest yol (MFP)

Fotonun maruz kaldığı malzeme içerisine katettiği yol ortalama serbest yolu tanımlar ve λ olarak gösterilir. Eş. 2.4 de de ortalama serbest yol hesabı verilmektedir.

$$MFP = \lambda = \frac{1}{\mu} \quad (2.4)$$

Yarı değer kalınlığı (HVL) ve onda bir değer kalınlığı (TVL)

HVL, I_0 olarak tanımlanan fotonun sahip olduğu ilk radyasyon miktarını, yarıya indirmek için gerekli zırh malzemesinin kalınlığını ifade eder. Birimi uzunluk birimlerinden biri olabileceği gibi çoğunlukla cm cinsinden hesap edilir. Eş. 2.5 de gösterildiği gibi hesap edilir.

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2.5)$$

TVL ise, ilk radyasyon miktarını onda bir değerine düşürmek için kullanılacak zırh malzemesinin kalınlığını ifade eder ve birimi cm olarak ifade edilir. Eş. 2.6 daki hesaplamalar kullanılarak değeri bulunur.

$$TVL = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (2.6)$$

Etkin atom numarası (Z_{eff}) ve etkin elektron yoğunluğu (N_{eff})

Maruz kalınan radyasyonun saçılması veya zırh malzemesi tarafından absorbe edilmesi, kullanılan malzemenin yoğunluğuna ve atom numarasına bağlı olarak değişmektedir. Buna bağlı olarak hesaplanan radyasyon parametreleri, etkin atom numarası Z_{eff} ile, etkin elektron

yoğunluğu N_{eff} ile gösterilmektedir. Eş. 2.7 de Z_{eff} hesaplaması gösterilmiş olup, σ_a toplam elektronik tesir kesitini, σ_e ise toplam atomik tesir kesitini ifade eder. Birimleri cm^2/g dır.

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_a}{\sigma_e} \quad (2.7)$$

N_{eff} ile simgelenen etkin elektron yoğunluğu, birim kütle başına düşen elektron miktarını göstermektedir. Bu parametreler radyasyon şiddetini hesaplamak ve kullanılacak zırh malzemesinin doğru seçimini karar verebilmek için büyük önem taşımaktadırlar. N_{eff} hesaplama yöntemi ise Eş. 2.8 de gösterilmiştir. n ile gösterilen ifade her bir elementi ve N_A avagadro sayısını temsil etmektedir. Hesaplanan N_{eff} değeri arttıkça, fotonun etkileşim oranı da artar.

$$N_{eff} = \frac{N_A}{N} Z_{eff} \sum_i n_i \quad (2.8)$$

Etkin iletkenlik (C_{eff})

Etkin iletkenlik, elektron yükü ve elektron kütlesiyle ilişkili hesaplanan bir faktördür. Eş. 2.9 da gösterilen Etkin iletkenlik hesaplama yönteminde e , elektron yükünü temsil eder ve birimi C dir. m_e ise elektron kütlesini, τ ise gevşeme süresini temsil etmektedir.

$$C_{eff} = \frac{N_{eff} \tau e^2 \rho}{m_e} \quad (2.9)$$

Hızlı nötron giderme kesiti (FNRC)

İyonlaştırıcı radyasyon davranışının incelenmesi için nötron giderme kesiti hesaplanmaktadır. Birimi $1/cm$ olarak ifade edilir. Eşitlik 2.10 daki gibi hesap edilir.

$$\Sigma_R = \sum_i \rho_i (\Sigma_R/\rho)_i \quad (2.10)$$



4. MALZEME VE METOT

4.1. Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması

Bu tez çalışmasında sıcak presleme ve toz metalurjisi yöntemi kullanılarak kompozit/hibrit malzemeler üretilmiştir. Toplamda on farklı numune üretilmiş olup, bunlardan üçü hibrit kompozit malzemedir. Matris malzeme olarak AZ91 tozu seçilmiştir. Takviye elemanları olarak da SiC ve BaSO₄ seramik malzemeleri kullanılmıştır. Bu çalışmada üretilen malzemeler Çizelge 4.1’ de gösterildiği gibi S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9 ve S10 olarak kodlanmıştır.

Çizelge 4.1. Üretilen kompozit malzemelerin kodları

Numune No	İçerik
S1	%5 SiC + %95 AZ91
S2	%10 SiC + %90 AZ91
S3	%15 SiC + %85 AZ91
S4	%5 BaSO ₄ + % 95 AZ91
S5	%10 BaSO ₄ + %90 AZ91
S6	%15 BaSO ₄ + %85 AZ91
S7	%2,5 SiC + %2,5 BaSO ₄ + %90 AZ91
S8	%5 SiC + %5 BaSO ₄ + %90 AZ91
S9	%7,5 SiC + %7,5 BaSO ₄ + %85 AZ91
S10	%100 AZ91

Matris malzeme olarak tercih edilen AZ91’ in kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. AZ91 tozunun ağırlıkça kimyasal kompozisyonu

Element	Al	Mn	Zn	Si	Cu	Fe	Ni	Diğer	Mg
(%)	8.3-9.7	0.15-0.5	0.35-1	0.1	0.03	0.005	0.002	0.02	Kalan

Takviye elemanı olarak kullanılan SiC ve BaSO₄ e ait yoğunluklar Çizelge 4.3’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3. SiC, BaSO₄ ve AZ91’ in yoğunlukları

AZ91 yoğunluk (g/cm ³)	1,81
SiC yoğunluk (g/cm ³)	3,21
BaSO ₄ yoğunluk (g/cm ³)	4,49

4.2. Kompozit Numunelerin Üretimi

Numune üretimine ait tüm prosesler Gazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleşmiştir. Tercih edilen toz malzemelerin, sıcak presleme öncesi hazırlık aşaması gerçekleşmiştir. Elde edilecek numune boyutları en, boy ve kalınlık olacak şekilde sırasıyla 40x40x6,35 mm dir.

0,1 mg hassasiyete sahip Precisa marka terazi kullanılarak tartılan tozlar, Resim 4.1 de gösterilen Turbola marka T2 F üç boyutlu karıştırıcıda karıştırılmıştır. Karıştırma süresi her numune için 30 dakika olarak belirlenmiştir.



Resim 4.1. Turbola marka üç boyutlu karıştırıcı

Karıştırılan toz numuneler, sırasıyla belirlenen sıcak takım iş çeliğinden yapılmış kalıp içerisine yerleştirilmiştir. Her bir numune için 550°C sıcaklıkta 1,5 saat süresince Şekil 4.2 de gösterilen Hidroliksan marka hidrolik pres cihazında 245 MPa yük altında sıcak presleme yapılmıştır.



Resim 4.2. 160 ton kapasiteli hidrolik pres cihazı

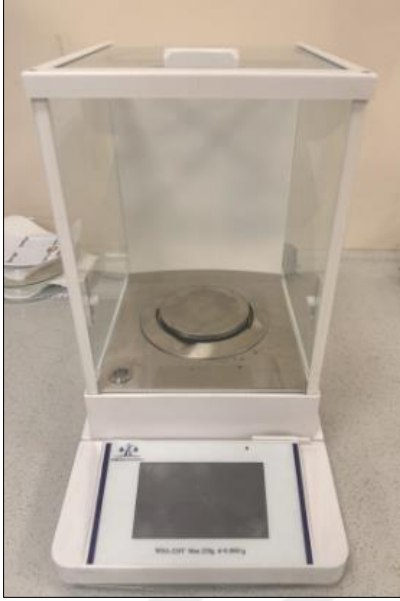
Üretilen 10 adet kompozit numune Resim 4.3’ de gösterilmiştir.



Resim 4.3. Sıcak pres yöntemi ile üretilen kompozit numuneler

4.3. Yoğunluk Ölçümleri

Üretilen kompozit malzemeler Arşimet prensibi kullanılarak WSA-224T model yoğunluk ölçer cihazı (Resim 4.4) ile ölçülmüştür. Numunelerin sırasıyla kuru ve sudaki ağırlıkları kaydedilmiş, hesaplanan yoğunluk değerleri de cihazdan okunmuştur.



Resim 4.4. Yoğunluk ölçme cihazı

Yoğunluklar Eş. 4.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d = \frac{m}{V_y V_s} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte V_y yaş ağırlığı (g), V_s ise sudaki ağırlığı (g), d ifadesi yoğunluğu (g/cm^3) ve m ifadesi ağırlığı (g) temsil etmektedir.

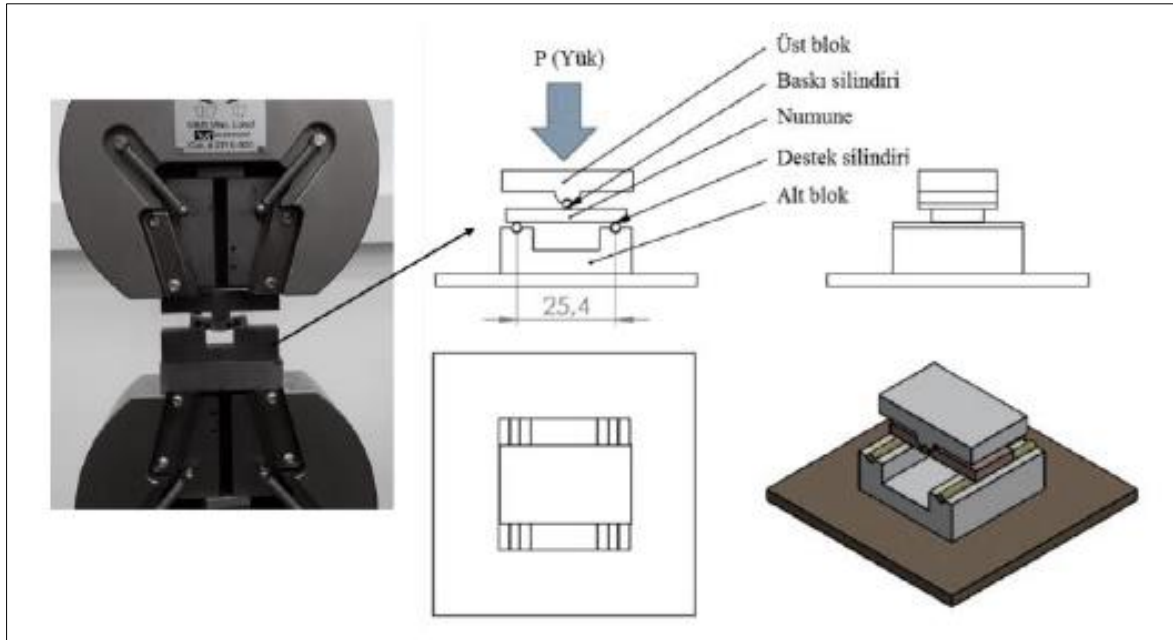
4.4. Çapraz Kırılma Deneyi

Tahribatlı test yöntemlerinden biri olan çapraz kırılma metodu, malzemelerin farklı yükleme karşısında mekanik dayanımı görmemize yardımcı olur. Üretilen test numuneleri mekanik test için MPFI-10, 1998 standartlarına uygun olarak 31,7 x 12,7 x 6,35 mm boyutlarında tel erezyon yöntemi ile kesilmiştir. Hazırlanan TRS (transverse rupture strength) numuneler Resim 4.5’ de gösterilen Instron marka 3369 model cihaz kullanılarak eğme deneyi

tamamlanmıştır. Deney koşulları, oda sıcaklığı ve 1mm/sn hızdır. Deney şematik olarak 4.1’ de gösterilmiştir.



Resim 4.5. Instron 3369 model üç nokta eğme testi cihazı



Şekil 4.1. Çapraz kırılma testi şematik gösterimi [30]

4.5. Metalografi ve Mikroyapı Analizleri

Hazırlanan numunelerin mikroyapı analizleri için yüzey hazırlama işlemleri Resim 4.6’da verilen cihazda yapılmıştır. Bu işlemin yapılmasının amacı yüzeyde oluşacak kirlilikleri en aza indirerek, yapılacak analizler için temiz ve uygun bir yüzey elde etmektir. Yüzey hazırlama işlemleri sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama olarak uygulanmıştır. Zımparalama işlemi için sırasıyla 120, 320, 800, 1200 meshlik zımpara kâğıtları kullanılmıştır. Parlatma işlemi için ise 9 μ , 3 μ ve 1 μ ’ luk keçeler kullanılmıştır. Daha sonra uygun dağlayıcı kullanılarak dağlama işlemi yapılmıştır.



Resim 4.6. Zımparalama ve parlatma cihazı

Yüzey hazırlıkları tamamlanan numuneler, Thermo Scientific marka SEM cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu cihazı kullanmaktaki amaç, üretilen numunelerin tanecik yapılarını, matris malzeme ve takviye malzemesi arasında tutunma durumunu, bağlanma yapısını ve gözenek yapılarını görüntüleyebilmektir. SEM analizi için Resim 4.7’ de gösterilen Thermo Fisher Scientific marka Phenom XL model cihaz kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı 25 °C ve nem %35 RH dır. Belirlenen bölgelerde EDS (enerji dağılımı X-ışını spektroskopisi) analizi yapılarak, numunelerin kimyasal kompozisyonu hakkında da bilgi sahibi olunmuştur.



Resim 4.7. Thermo Scientific SEM cihazı

4.6. Sertlik Testi

Üretilen numunelerin sertlik değerleri Duravision 2000 Emco Test cihazında (Resim 4.8) tespit edilmiştir. Metal matrisli kompozit numunelerin 3 farklı noktasından alınan sertlik ölçüm değerleri, aritmetik ortalamaları hesaplanarak Brinell cinsinden kaydedilmiştir.



Resim 4.8. Duravision 2000 Emco sertlik ölçüm cihazı

4.7. Radyasyon Geçirgenlik Testleri

4.7.1. Phy-x / PSD Programı

Phy-x / Psd programı çevrimiçi bir program olup, malzemelerin radyasyon zırlama parametreleri hakkında bilgi verir. İstenen enerji seviyeleri için radyasyon geçirgenlik parametrelerini tek tek hesaplamak karmaşıklığı ve uzun sürmesi sebebiyle verimliliği düşürdüğü için, bu programda hesaplatmak bu süreci daha doğru ve kısa hale getirmektedir. Analiz sonucunda hesaplanan FNRC, MAC, LAC, HVL, TVL, Z_{eff} , C_{eff} , N_{eff} ve MFP değerleri kaydedilir.

4.7.2. Deneysel analizler

Üretilen 10 adet numune, TENMAK bünyesinde X-ışınları ve nötron radyasyon kaynaklarına maruz bırakılarak zırlama özellikleri incelenmiştir. X ışınları için 300 kV enerjiye sahip Niyobyum300 elementi kullanılmıştır. Seçilen radyasyon kaynağı içerisinde 2,5 mm Alüminyum filtre ve 10 mA akıma sahip tüp bulunmaktadır. X ışınlarına karşı zırlama özelliği incelenen numunelerin F_N değerleri TS-EN61331 standardına uygun hesaplanmıştır. Her numunenin % zayıflatma miktarları ve kurşun eşdeğerlikleri de hesaplanmıştır.

F_N , koruyucu bir malzemenin dar demet geometrisindeki zayıflatma oranıdır. X ışını zayıflatmasındaki birincil fotonları ölçmek için tasarlanmıştır. EN 61311-1 standardına göre F_N Eş. 4.2’de tanımlanır.

$$F_N = \frac{K_0 - K_B}{K_1 - K_B} \quad (4.2)$$

F_B : Geniş demet koşulu için zayıflatma oranı

K_0 : Radyasyon demetinde test objesi olmadan alınan Hava Kerma ölçümleri

K_1 : Radyasyon demetinde test objesi varken alınan Hava Kerma ölçümleri

K_B : Radyasyon demetinde zayıflatma oranı 10^5 olan bir malzeme varken alınan Hava Kerma ölçümlerini ifade etmektedir.

Nötron ışınlarına karşı soğurma davranışları da TENMAK bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Nötron kaynağı olarak Am-241/Be İzotropik Nötron kaynağı kullanılmış olup yavaş (termal-epitermal) nötron enerjisi seçilmiştir. Nötron akısı en $3,13 \times 10^4 \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ dir. Ölçümler yavaş nötronlarla yapılmış olup, nötron aktivasyon monitörü kullanılmıştır. Yavaş nötron aktivasyon monitörü olarak $^{115}\text{In} (n, \gamma)^{116\text{m1}}\text{In}$ nükleer reaksiyonu kullanılmıştır. $^{116\text{m1}}\text{In}$ radyoaktif izotopunun gama spektrometresi ile gama spektrumu alınmış ve spektrumdaki ana gama enerjileri olan 1293,56 keV, 1097,33 keV, 416,86 keV gama ışını piklerinin pik alanları kaydedilmiştir. Orijinal nötron demetinden elde edilen gama ışını pik alanları I_0 ve hedef numuneyi geçen nötron demetinden elde edilen gama ışını pik alanları I_x ile gösterilerek termal nötron soğurma katsayıları hesaplanmıştır.



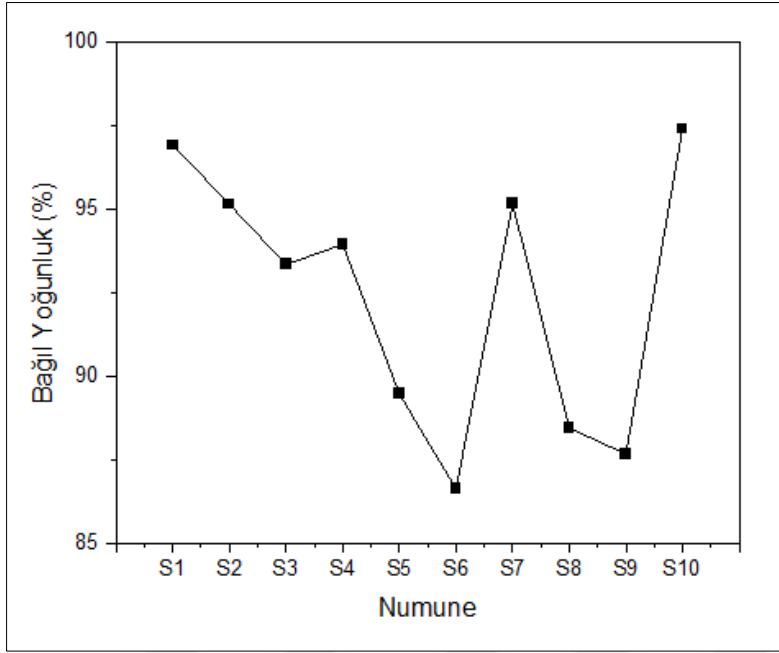
5. DENEYSEL SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalarda Mg esaslı AZ91 alaşımı içerisinde farklı oranlarda SiC, BaSO₄ ilave edilerek kompozit numuneler ve SiC+BaSO₄ birlikte ilave edilerek hibrit kompozit numuneler elde edilmiştir. Metal matrisli kompozit numunelerin üretimi toz metalurjisi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen hibrit/ kompozit numuneler makro ve mikro seviyede incelenmiştir.

5.1. Yoğunluk Sonuçları

Üretilen malzemeler içerisindeki gözenek miktarını anlayabilmek için hem suda hem de serbest halde ölçüm alınmış ve Arşimet prensibine göre yoğunluklar hesaplanmıştır. Bu yoğunlukların birbirleri ile ilişkileri Şekil 5.1 de verilmiştir. Üretilen numuneler içerisinde %2,58 ile gözenek miktarı en az olan numune AZ91 numunesidir. S10 olarak gösterilen AZ91, yaklaşık %97,42 ile en yüksek bağıl yoğunluğa sahip malzeme olmuştur. Bütün numune serilerinde (SiC, BaSO₄, SiC+BaSO₄) takviye artışına bağlı olarak bağıl yoğunluk değerleri azalmıştır. Bunun temel sebebi ise takviye artışına bağlı olarak AZ91 matrisinin seramik malzemeyi ıslatamamasından kaynaklanmaktadır. Üretilen S1-S10 kodlu numunelerin bağıl yoğunlukları sırası ile %96,94, %95,17, %93,36, %93,97, %89,49, %86,65, %95,18, %88,47, %87,69 ve %97,42' dir. Matris yapı içerisindeki takviye elemanı (seramik parçacık) miktarı arttıkça; sıkıştırılabilirlik azalmış, gözeneklilik artmıştır. Gözeneklilik artışına bağlı olarak hibrit/kompozit numunelerin yoğunluğunda azalma tespit edilmiştir.

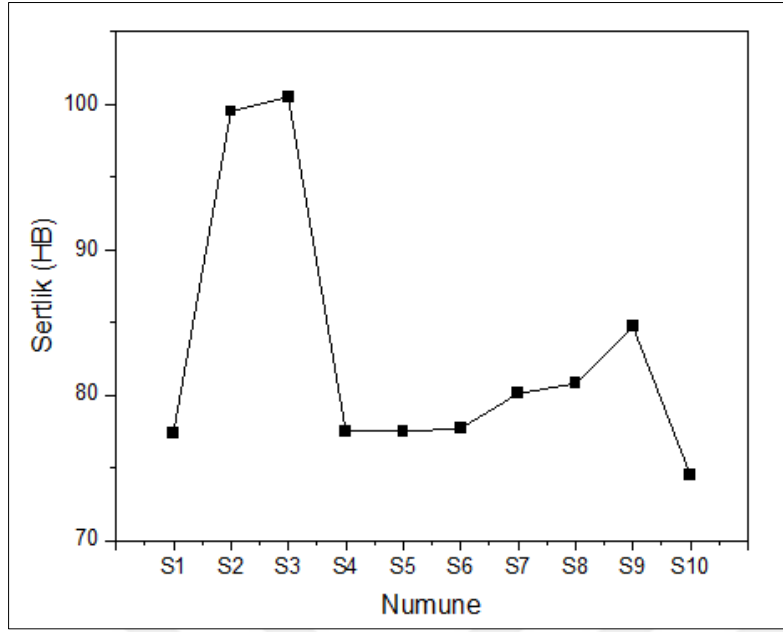
Metal matrisli parçacık takviyeli kompozit yapılarda takviye elemanı artışı ile yoğunluklarda azalma olduğu farklı çalışmalarda da görülmüştür [50].



Şekil 5.1. Numunelerin bağıl yoğunluklarının karşılaştırılması

5.2. Sertlik Sonuçları

Şekil 5.2’ de AZ91 matrisli SiC ve BaSO₄ katkılı sıcak pres yöntemi ile üretilmiş kompozit numunelerin sertlik değerleri gösterilmiştir. AZ91 içerisine SiC ve BaSO₄ eklenerek üretilen kompozit/hibrit malzemelerin sertlik değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Bütün numune grupları arasında en yüksek sertlik değerleri %15 takviye elemanı içeren numunelerde meydana gelmiştir. Sertlik değerlerinde en fazla artış SiC takviyeli malzemeler de meydana gelmiştir. BaSO₄ eklemesi ile malzemenin sertlik değerlerinde artışlar meydana gelmiştir ancak sertlik değerlerindeki artış miktarları SiC seramiğimin eklenmesiyle meydana gelen artışların yanında ihmal edilebilir seviyededir. Hibrit kompozit malzemelerin sertlik artışları BaSO₄ takviyeli malzemelere kıyasla yüksek iken SiC takviyeli malzemelere göre ise düşük değerlere sahiptir. Kompozit numuneler arasındaki farkın temel sebebi ise SiC sertlik değerinin BaSO₄’den yüksek olmasıdır. Üretilen numuneler içerisinde en yüksek sertlik değeri 100,5 HB ile AZ91+%15SiC kompozit iken en düşük sertlik değerini ise 74,5 HB ile takviye elemanı içermeyen AZ91 numunesi sergilemiştir. En yüksek dayanımı



Şekil 5.2. Numunelerin sertlik değerlerinin karşılaştırılması

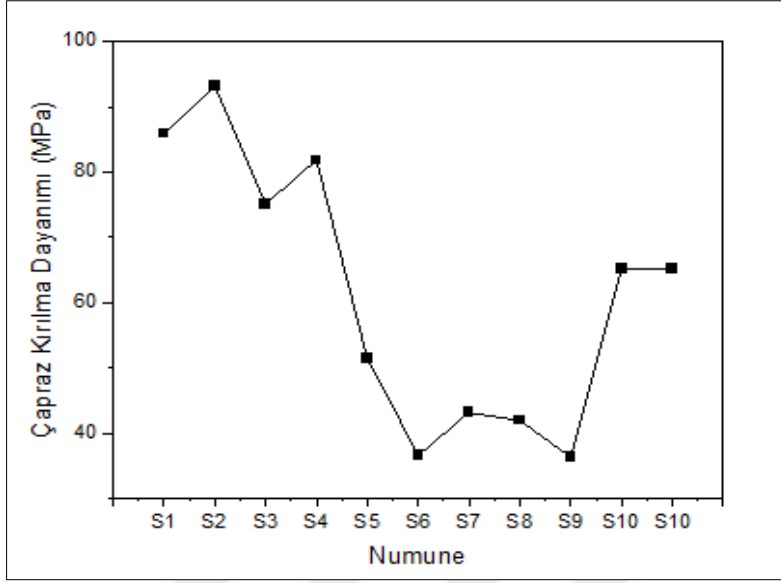
5.3. Çapraz Kırılma Deneyi Sonuçları

Toz metalurjisi ve sıcak presleme yöntemi ile üretilen parçacık takviyeli kompozit numuneler yapısal olarak farklılıklar sergileyebilmektedirler. Matris yapı içerisine ilave edilen takviye elemanı türü ve boyutları nihai ürünün mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir. Bu bağlamda artan takviye elemanı miktarına ve türüne bağlı olarak AZ91 matrisli parçacık takviyeli kompozit/hibrit numunelerde farklı çapraz kırılma dayanım değerleri gözlenmiştir.

Üretilen numunelerin çapraz kırılma dayanımları Şekil 5.3’ de gösterilmiştir. AZ91 içerisine SiC ve BaSO₄ elenerek üretilen kompozit/hibrit malzeme gruplarının en düşük çapraz kırılma dayanımları %15 takviye elemanı içeren malzemelerde meydana gelmiştir. En yüksek çapraz kırılma dayanımı SiC takviyeli kompozit malzemelerde meydana gelmiştir.

S6 ve S9 kodlu numunelerin çapraz kırılma dayanımlarının düşük çıkmasının sebebi, içerisindeki takviye malzemelerin çentik etkisinin maksimum seviyede olması ve takviye elemanların oluşan çatlak ilerlemesini durduramamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. En yüksek dayanımı 93,232 MPa değeri ile %10 SiC takviye elemanı içeren AZ91 matrisli kompozit numune sergilemiştir. Mekanik dayanımın takviye oranı miktarı ile aynı doğrultuda artması beklenirken, grafikte de görüleceği gibi farklı dalgalanmalar

görülmektedir. Bunun sebebinin, üretilen kompozit numunelerde homojen gözenek dağılımının olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Numuneler içerisinde gözeneklerin olması ve eğme deneyinde yükün temas ettiği yüzeyin gözeneğe denk gelerek düşük dayanım göstermesine sebep olmuştur. En düşük çapraz kırılma dayanımı 36,275 MPa ile S9 kodlu malzemede olmuştur.

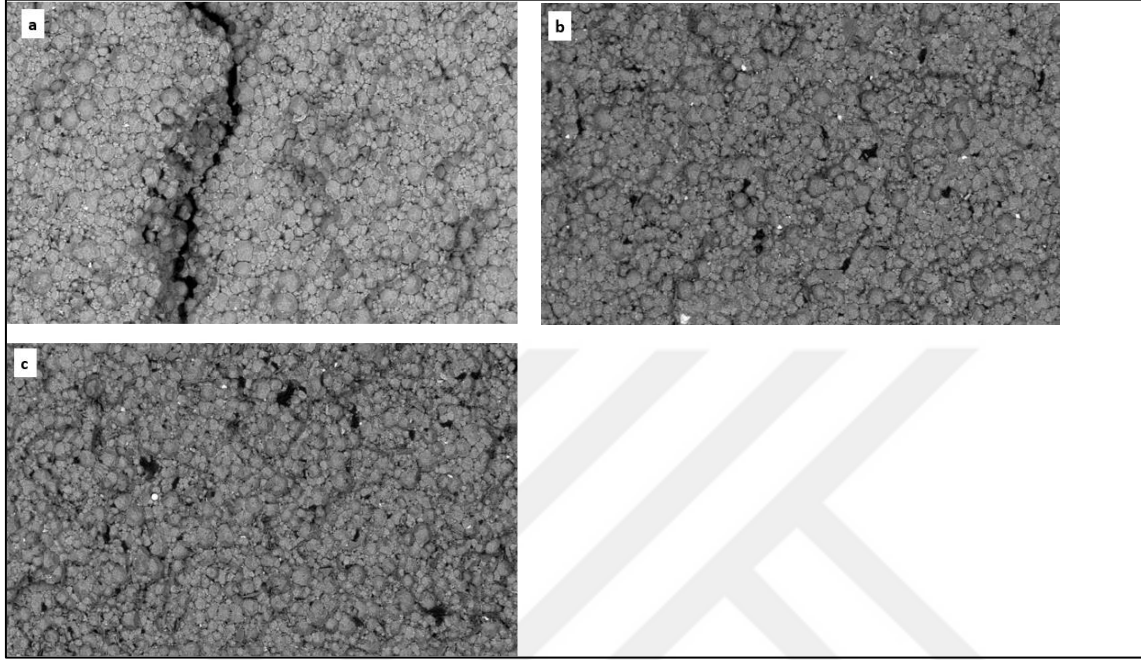


Şekil 5.3. Numunelerin çapraz kırılma dayanımları

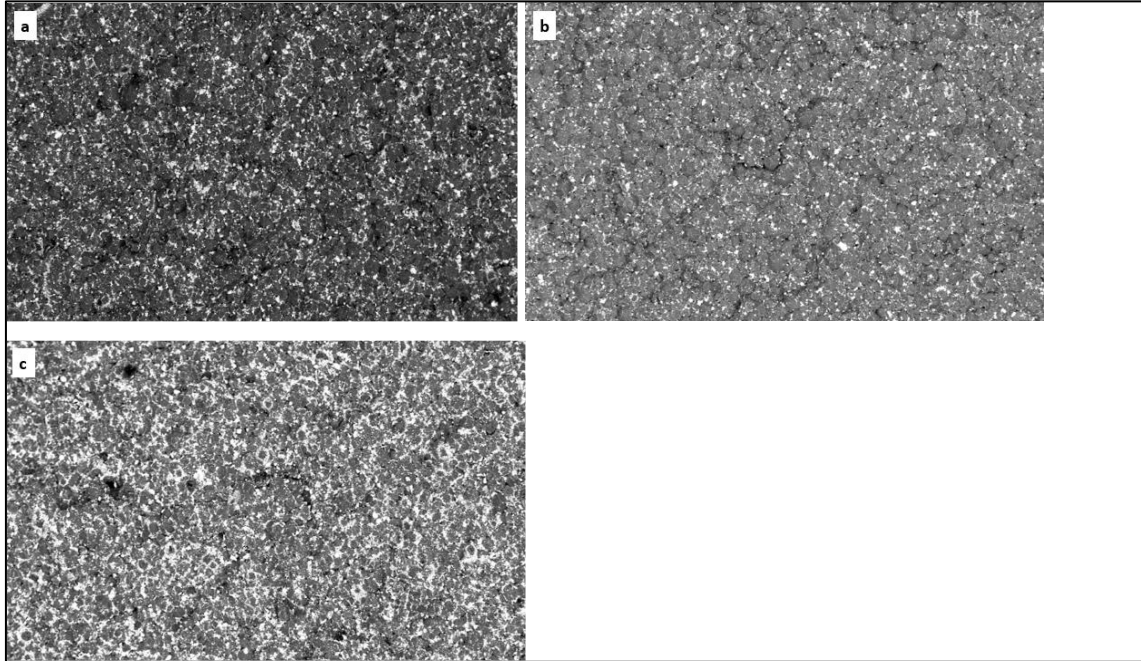
5.4. Kırık Yüzey Görüntüsü

Üretilen numunelerin çapraz kırılma testi sonrasında kırık yüzeyleri SEM cihazında incelenmiştir. Resim 5.1 a-b-c’de sırasıyla %, %10 ve %15’ lik x500 büyütmede SiC takviyeli kompozit malzemelerin kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. SiC takviyeli malzemelerde toz taneciklerindeki kopmalar ve oluşan boşlukların net olarak meydana geldiği görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde oluşan deformasyonun genellikle AZ91 matris malzemesinde meydana geldiği görülmektedir. Resim 5.2 a-b-c’de sırasıyla %5, %10 ve %15’lik x500 büyütmede BaSO₄ takviyeli kompozit malzemelerin kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. Resim 5.3 a-b-c’de sırasıyla %5, %10 ve %15’lik x500 büyütmede SiC+ BaSO₄ takviyeli hibrit kompozit malzemelerin kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. Takviye artışına bağlı olarak malzemelerde toz taneciklerindeki kopmaların ve boşluk miktarındaki artışın net olarak meydana geldiği görülmektedir. Resim 5.4’de takviye elemanı içermeyen AZ91 numunesinin x500 büyütmede kırık yüzey görüntüsü verilmiştir.

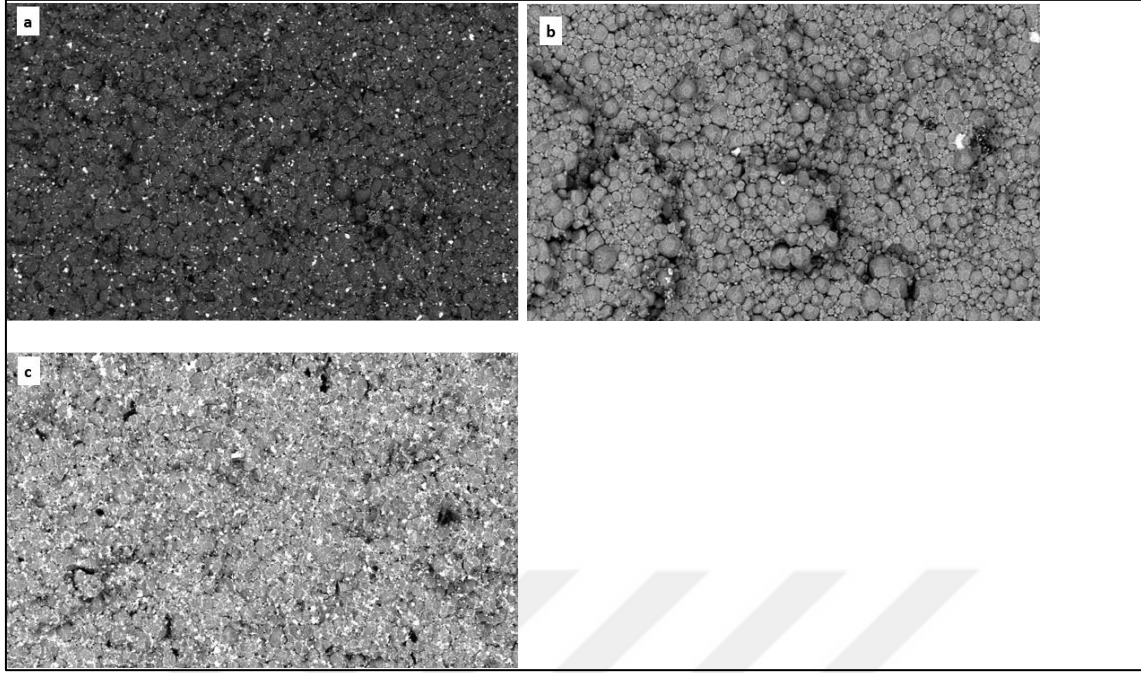
Kırık yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde, numunelerin AZ91 matris yapısına bağlı olarak çukurcuklu sünek kopma sergilediği gözlenmiştir. Takviye elemanı türüne ve miktarına bağlı olarak bölgesel farklılıklar tespit edilmiştir.



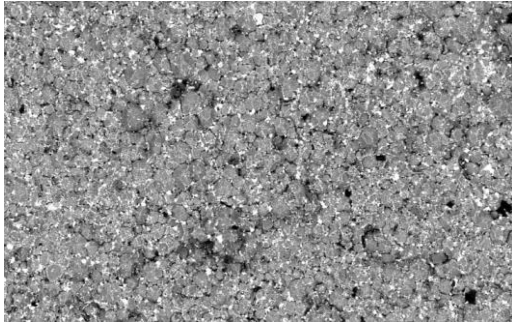
Resim 5.1. SiC takviyeli x500 büyütmede kırık yüzey analizleri a)%5 b)%10 c)%15



Resim 5.2. BaSO₄ takviyeli x500 büyütmede kırık yüzey analizleri a)%5 b)%10 c)%15



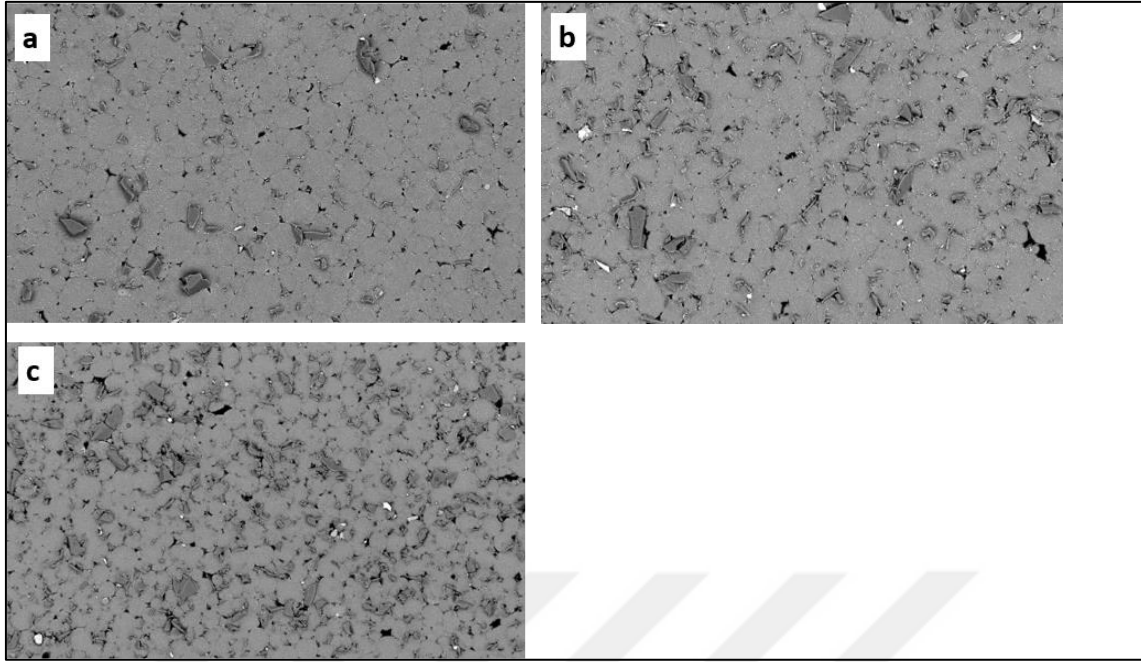
Resim 5.3. Hibrit kompozitlerin x500 büyütmede kırık yüzey analizleri a)%5 b)%10 c)%15



Resim 5.4. %100 AZ91 numunesinin x500 büyütmede kırık yüzey analizi

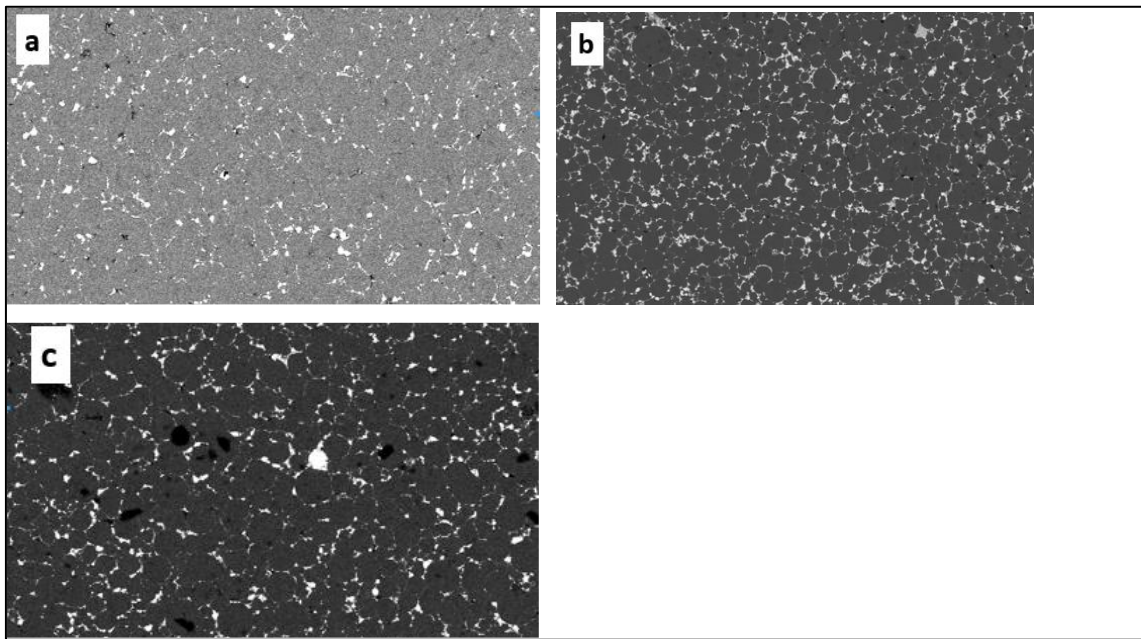
5.5. SEM ve EDS Analizi

Resim 5.5 a-b-c’de x1000 büyütmede SiC takviyeli kompozit malzemelerin mikro yapı görüntüleri verilmiştir. SiC miktarındaki artışa bağlı olarak kompozit malzemenin yüzeyinde SiC seramiğinin topaklanmaya başladığı ve gözenek miktarının da arttığı görülmüştür.



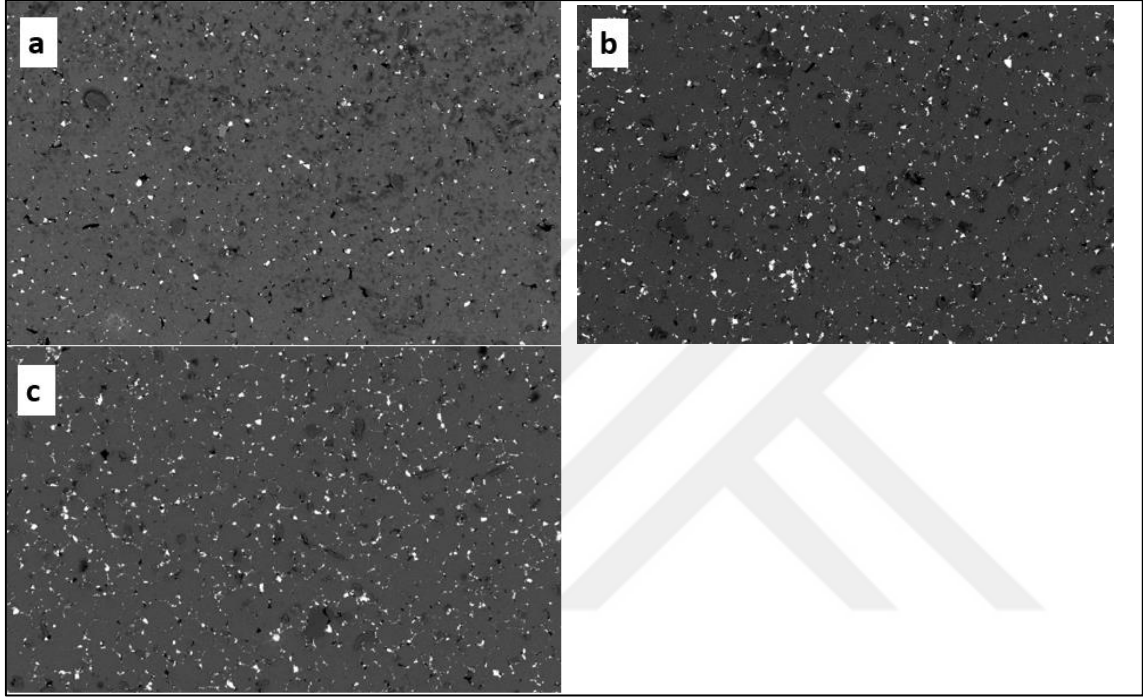
Resim 5.5. SiC takviyeli x1000 büyütmede SEM analizi a)%5 b)%10 c)%15

Resim 5.6 a-b-c’de x1000 büyütmede BaSO₄ takviyeli kompozit malzemelerin mikro yapı görüntüleri verilmiştir. BaSO₄ artışına bağlı olarak toz taneciklerin tane sınırlarının arasındaki mesafenin arttığı görülmektedir. Gözenek miktarı malzemenin mekanik dayanımı, korozyon dayanımını ve radyasyon geçirgenlik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir.

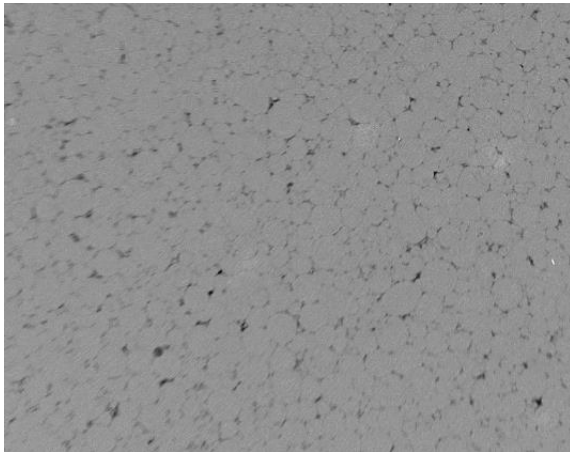


Resim 5.6. BaSO₄ takviyeli x1000 büyütmede SEM analizi a)%5 b)%10 c)%15

Resim 5.7 a-b-c’de x1000 büyütmede SiC+BaSO₄ takviyeli hibrit kompozit malzemelerin mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Seramik malzemelerin tane sınırında yer aldığı SEM görüntüsünde görülmektedir. Takviye malzemesinin oranı arttıkça birikmelerin de arttığı ve matris malzemesi içindeki seramik malzeme taneciklerinin daha fazla bir araya gelerek numunelerde daha az homojenlik olduğu görülmektedir.



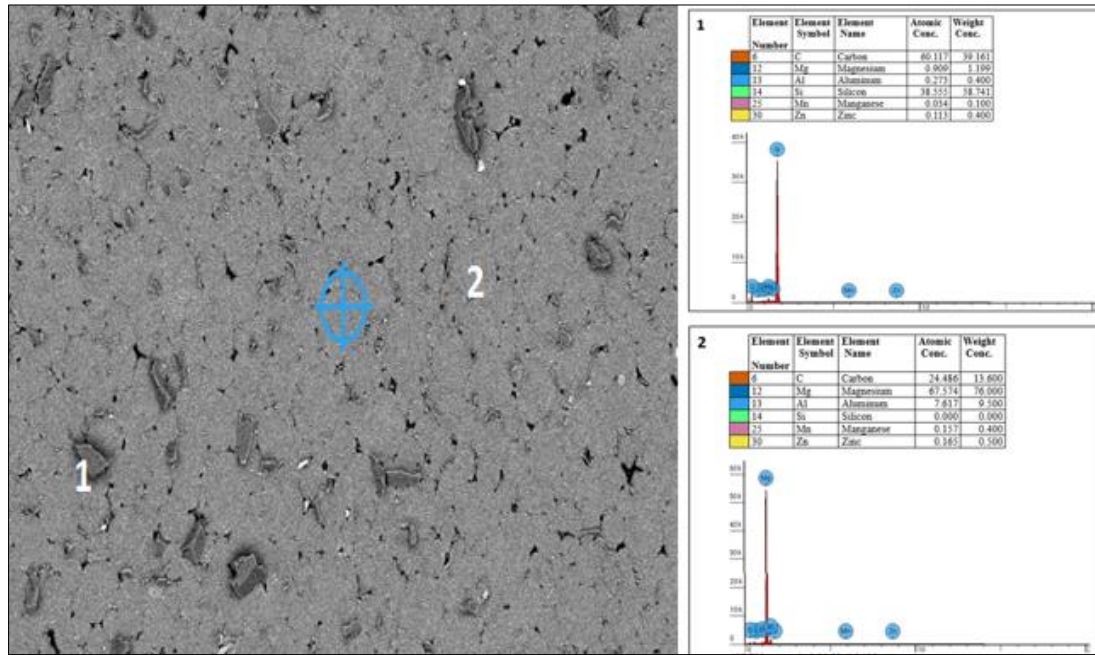
Resim 5.7. Hibrit x1000 büyütmede SEM analizi a)%5 b)%10 c)%15



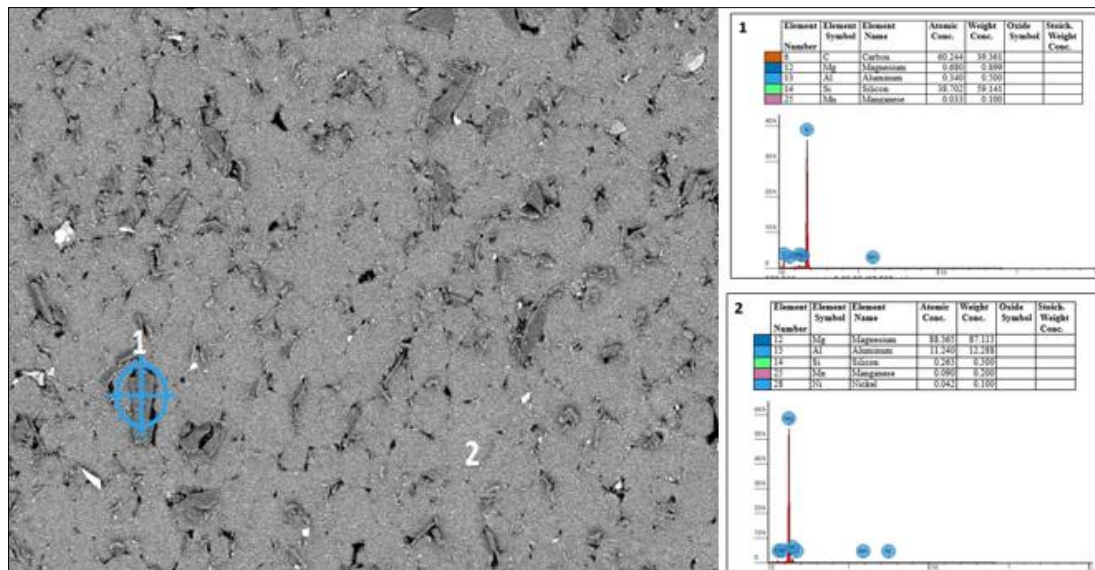
Resim 5.8. AZ91 numunesinin SEM analizi

Resim 5.9’ da %5 SiC takviyeli malzemenin SEM görüntüsünde işaretlenen 1 noktasında Si ve C elementi ağırlıkça yüksek orana sahipken, 2 noktasında Mg ve C elementinin yüzdece

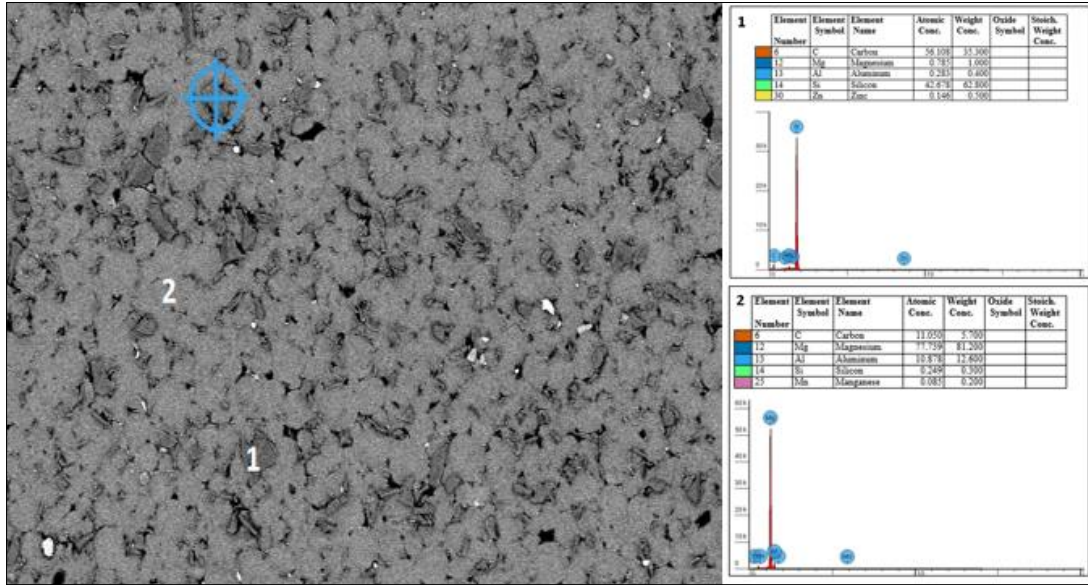
fazla olduğu görülmektedir. Resim 5.10' da %10 SiC takviyeli numuneden alınan EDS görüntüsü yer almaktadır. Elde edilen kimyasal kompozisyonlara bakıldığında, 1 noktasının SiC seramiği olduğu, 2 noktasının ise AZ91 magnezyum alaşımı olduğu anlaşılmaktadır. Resim 5.11' de ise gösterilen 1 ve 2 noktalarının sırasıyla SiC ve AZ91 magnezyum alaşımı olduğu görülmüştür. SiC seramiği takviyelendirilen numunelerde SiC seramik malzemesinin koyu renkli ve düzensiz yer aldığı görülmüştür.



Resim 5.9. %5 SiC içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge

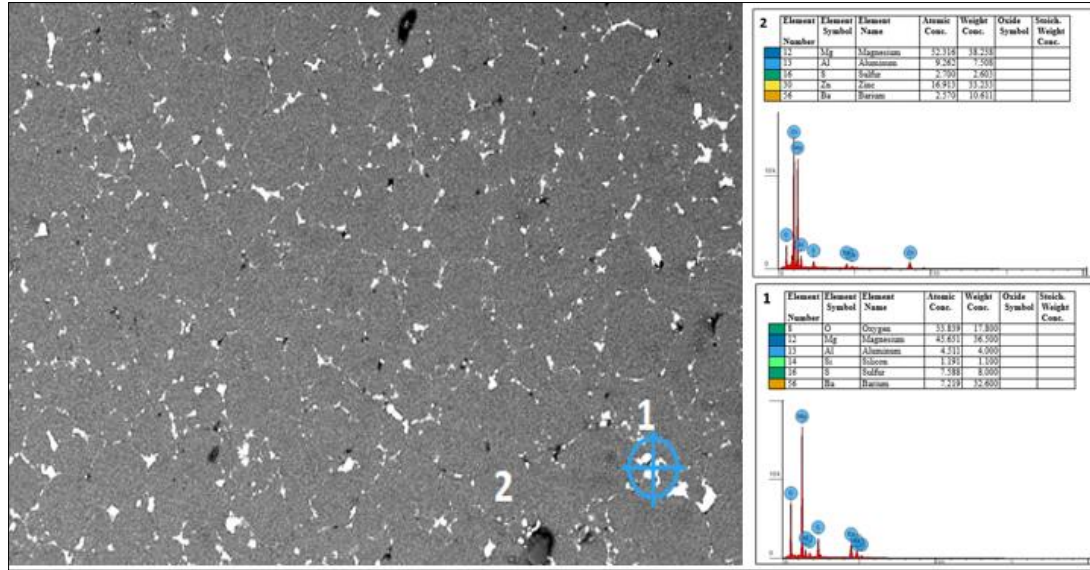


Resim 5.10. %10 SiC içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge

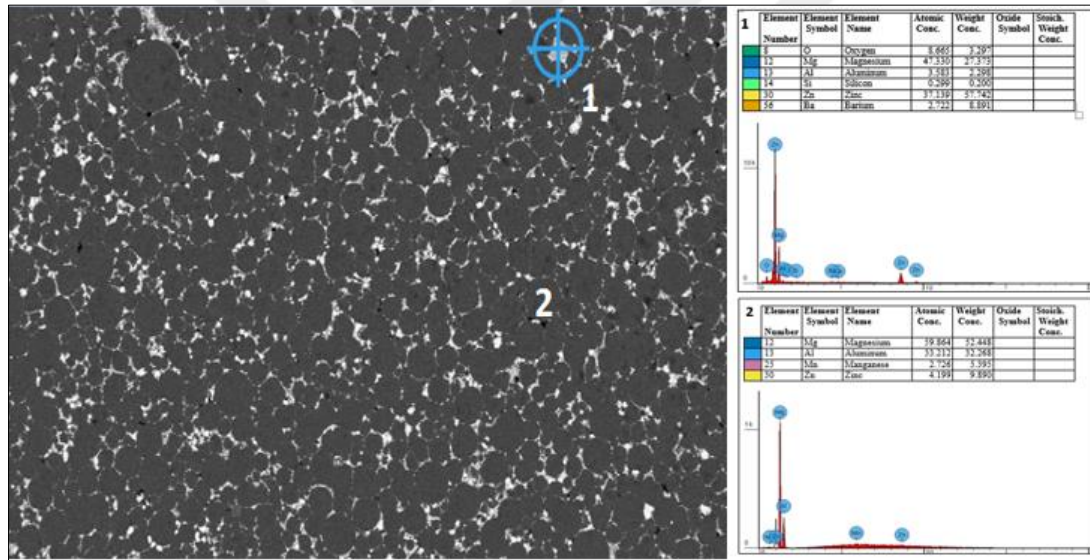


Resim 5.11. %15 SiC içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge

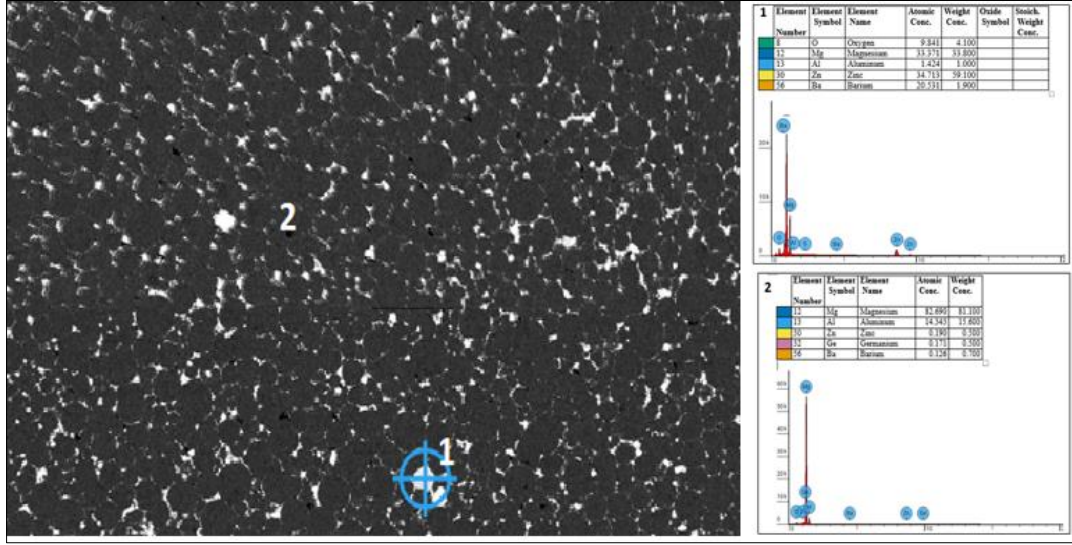
Resim 5.12’de %5 BaSO₄ takviyeli malzemenin SEM görüntüsünde işaretlenen 1 noktasında oksijen elementinin varlığı malzemede korozyon başladığını göstermektedir. 2 noktasındaki elementel yüzdelerine bakıldığında bu noktanın AZ91 matris malzemesi olduğu anlaşılmaktadır. Resim 5.13’de %10 BaSO₄ numuneden alınan EDS noktalarından 1 ve 2 noktalarından alınan EDS sonuçlarına göre parçacığın AZ91 Magnezyum malzemesi olduğu verilen yüzdelerden anlaşılmaktadır. %15 BaSO₄ katkılı kompozit numunenin (Resim 5.14) EDS analizinde ise 1 ile gösterilen bölgenin Ba ve O elementel yüzdelerine bakıldığında BaSO₄ seramik parçacığı olduğu, 2 numara ile gösterilen bölgenin de Mg ve Zn elementel yüzdelerinin yüksek olması sebebiyle AZ91 alaşımı olduğu düşünülmüştür. BaSO₄ takviyelendirilen numunelerde BaSO₄ bileşiğinin parlak beyaz renkte olduğu tespit edilmiştir.



Resim 5.12. %5 BaSO₄ içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge

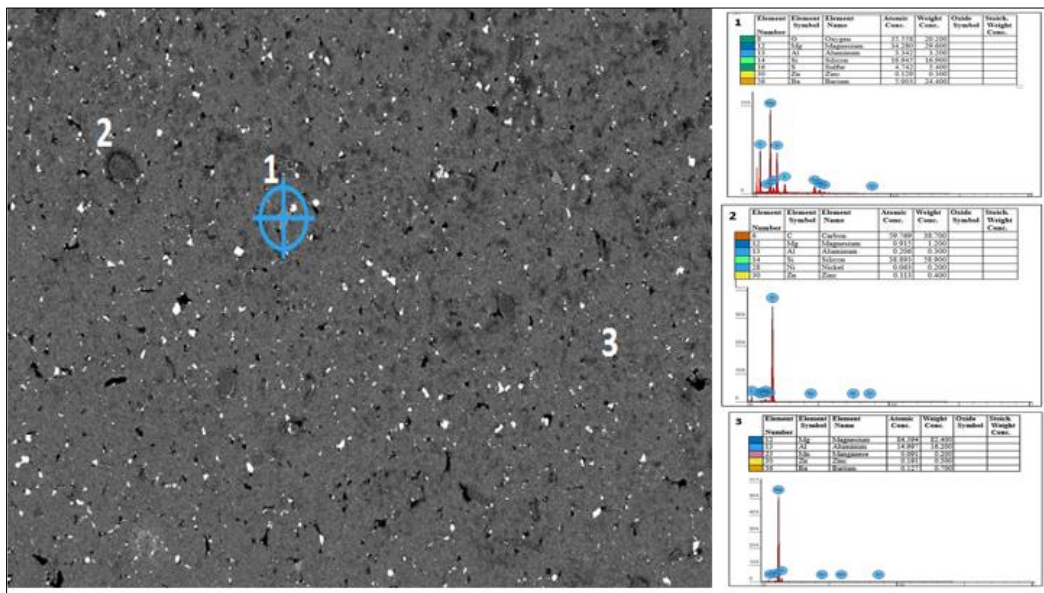


Resim 5.13. %10 BaSO₄ içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge

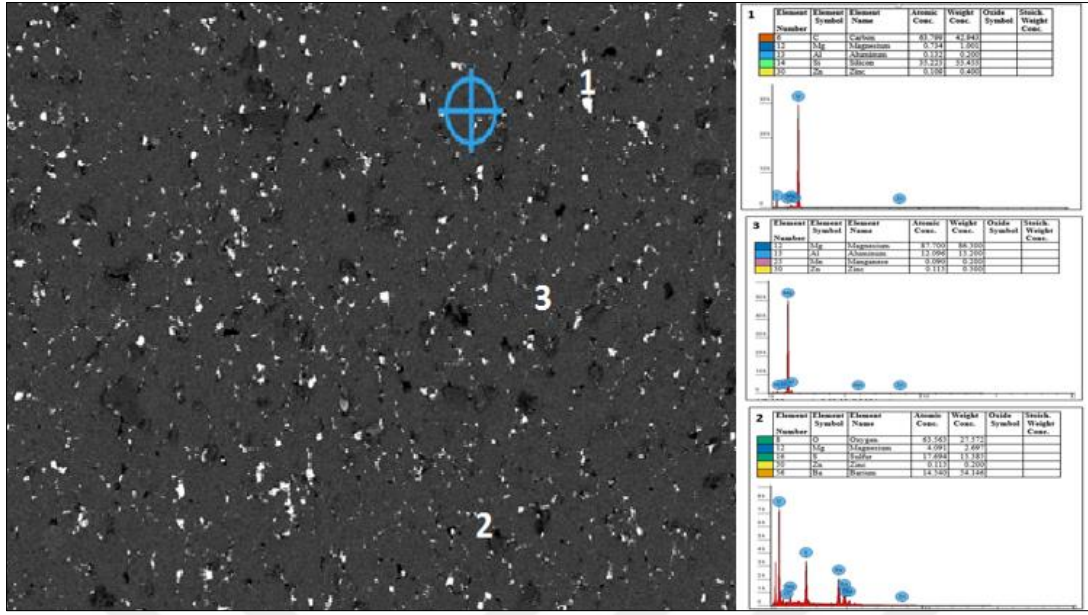


Resim 5.14. %15 BaSO₄ içeren numunenin EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge

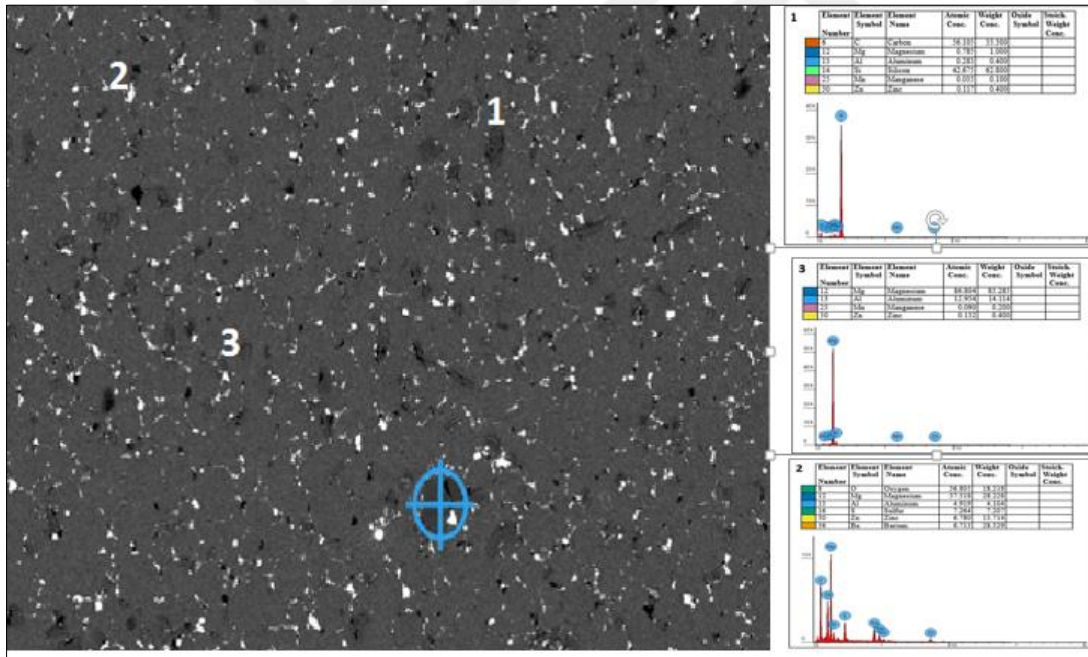
Resim 5.15’de %5 SiC+BaSO₄ takviyeli hibrit kompozit malzemesinden EDS analizi 3 noktada yapılmıştır. Yapılan analize göre alınan noktaları sırasıyla 1,2 ve 3 olarak BaSO₄, SiC ve AZ91 malzemeleri olduğu düşünülmektedir. %10 SiC+BaSO₄ takviyeli hibrit kompozit malzemesinden (Resim 5.16) EDS analizi 3 noktadan alınarak yapılmıştır. Yapılan analize göre 1. nokta SiC seramik malzemesi, 2. nokta BaSO₄ seramik malzemesi, ve 3.nokta da AZ91 matris malzemesini göstermektedir. Resim 5.17’de %15 SiC+BaSO₄ takviyeli hibrit kompozit malzemesinden EDS analizi 3 noktadan yapılmıştır. Yapılan analize göre 1,2 ve 3 ile gösterilen bölgeler sırasıyla; SiC, BaSO₄ ve AZ91 malzemeleridir.



Resim 5.15. %5 SiC+BaSO₄ EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge c)3.bölge

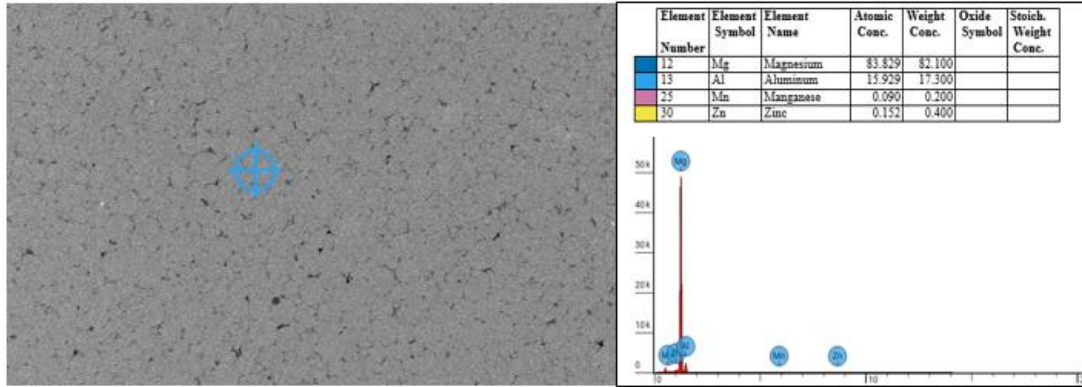


Resim 5.16. %10 SiC+BaSO₄ EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge c)3.bölge



Resim 5.17. %15 SiC+BaSO₄ EDS analizi a)1.bölge b)2.bölge c)3.bölge

Takviye malzemesi içermeyen S10 numunesi AZ91 magnezyum alaşımdır. AZ91 den alınan EDS analizi (Resim 5.18) incelendiğinde analiz yapılan bölgede, %82,1 ile ana elementin Mg olduğu %17,3 oran ile ana alaşım elementinin Al olduğu ve %0.4 ile Zn elementinin ikinci alaşım elementi olduğu anlaşılmaktadır.



Resim 5.18. AZ91 numunesinin EDS analizi

5.6. Radyasyon Geçirgenlik Sonuçları

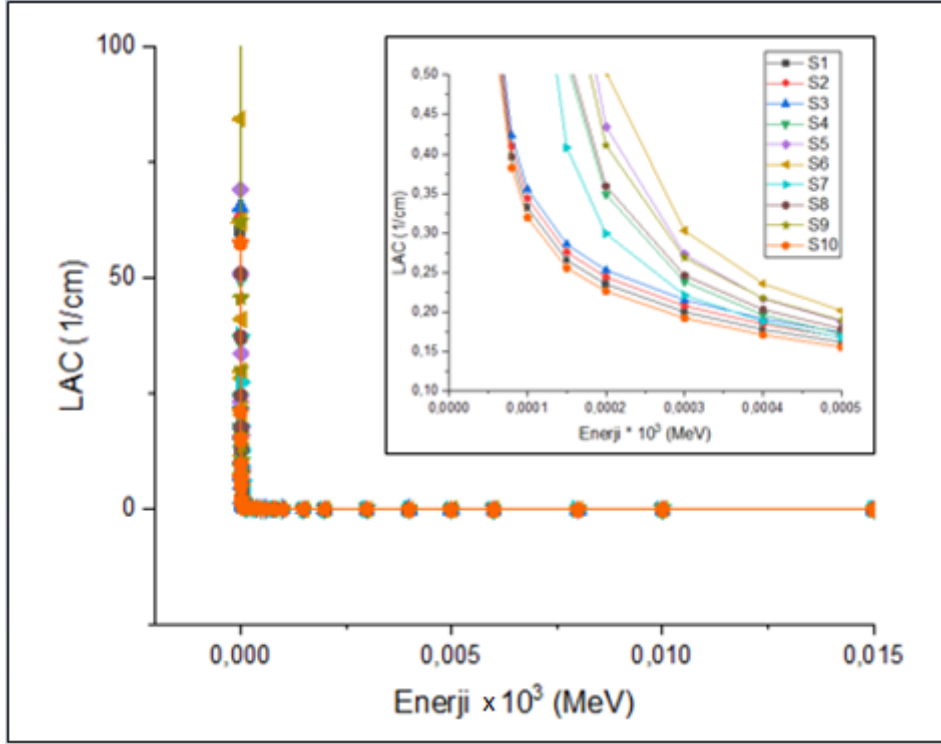
5.6.1. Teorik sonuçlar

Kompozit malzeme içerisine eklenen takviye seramik malzemelerin radyasyon zırlama parametrelerini nasıl etkilediğini anlamak için gama, karakteristik X ışınları ve hızlı nötron radyasyon kaynaklarına karşı olan zırlama performansları PSD programı kullanılarak analiz edilmiştir. Program tarafından hesaplanan parametre değerleri EK1 ve EK2’ de gösterilmiştir.

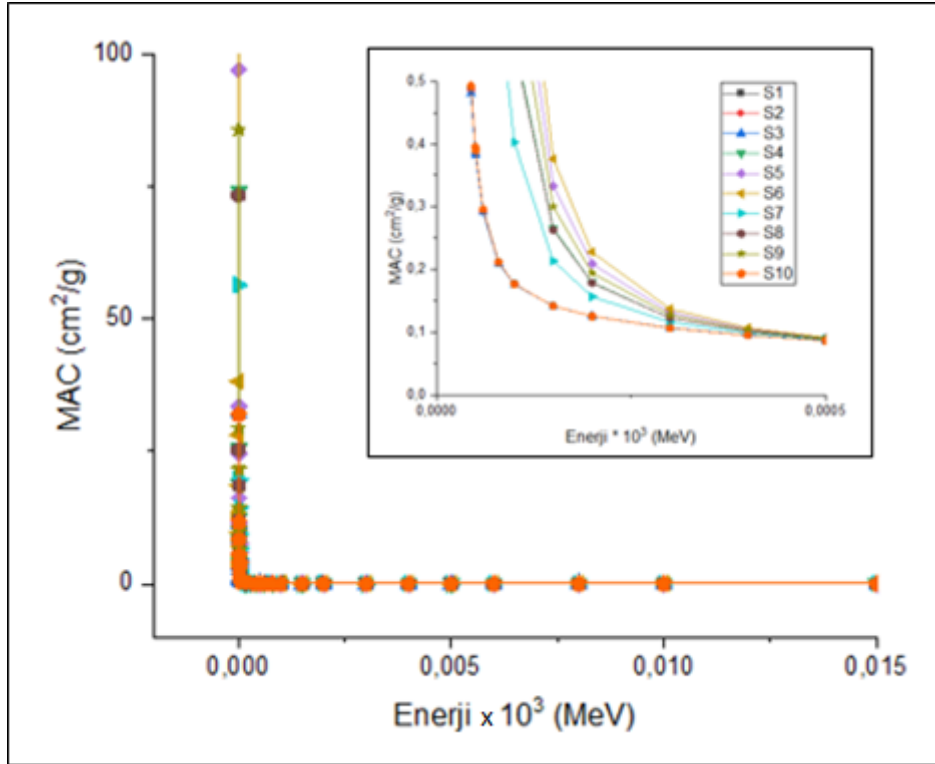
Karakteristik X ışınları

Şekil 5.4’ de üretimi tasarlanan numunelerin 0,00804 MeV-15 MeV enerji aralığındaki X ışınlarına karşı LAC değerlerindeki değişim gösterilmiştir. LAC grafiği incelendiğinde enerji artışına bağlı olarak malzemelerin LAC değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Fotoelektrik olayın gerçekleştiği $E < 0.5$ enerji aralığında, LAC değerleri maksimum değerlerini almıştır. Compton saçılmasının baskın olmaya başladığı 0,55 MeV enerji değerinden sonra numunelerin LAC değerleri daha kararlı hale gelmiştir. AZ91 matris malzemesinin içerisine eklenen seramik takviyeler, AZ91 malzemesinin karakteristik X ışınları karşındaki radyasyon zırlama özelliklerini iyileştirmiştir. 0,00891 MeV-15 MeV enerji aralığında $\sim 57,71 \text{ cm}^{-1}$ ile $\sim 0,040 \text{ cm}^{-1}$ değerleri ile minimum LAC değerine sahip numune takviye elemanı içermeyen AZ91 numunesi olurken; $\sim 246,82 \text{ cm}^{-1}$ ile $\sim 0,067 \text{ cm}^{-1}$ değerleri ile maksimum LAC değerine sahip numune %15 BaSO₄+AZ91 numunesidir. Her numune en yüksek MAC değerini, en düşük enerji değeri olan 0,00891 MeV’de almıştır.

Grafik incelendiğinde, en yüksek MAC değerini alan ilk üç numune %15 BaSO₄ > % 10 BaSO₄ > % 15 hibrit şeklindedir. Bu sıralama numunelerdeki BaSO₄ oranının artması ile MAC değerlerinin de arttığına kanıt olarak gösterilebilir. En düşük değeri takviye elemanı içermeyen AZ91 numunesi alırken, sonrasında %5 lik SiC ve %10 SiC numuneleri almıştır.

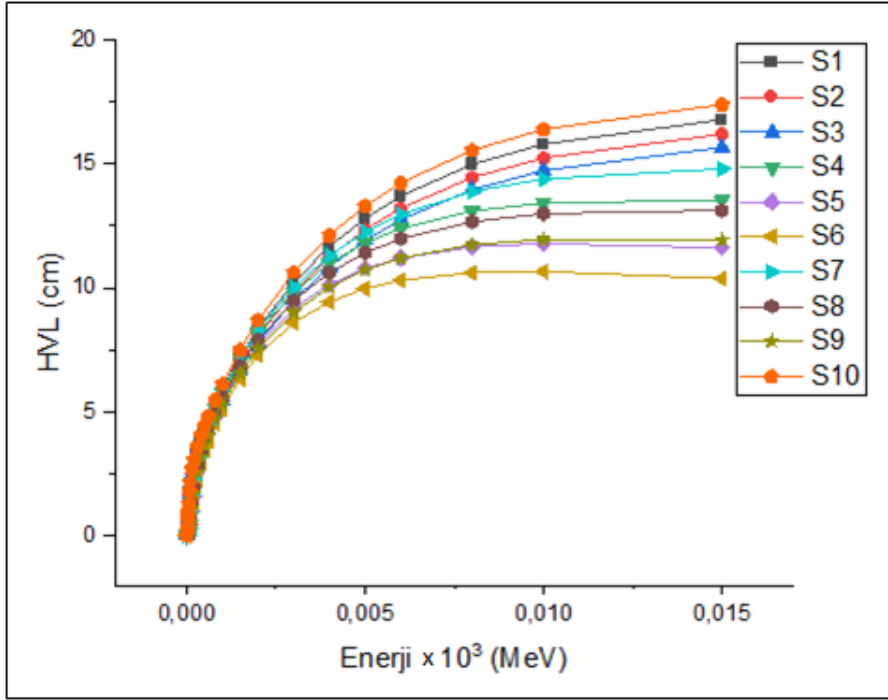


Şekil 5.4. X ışınlarına karşı LAC değerleri

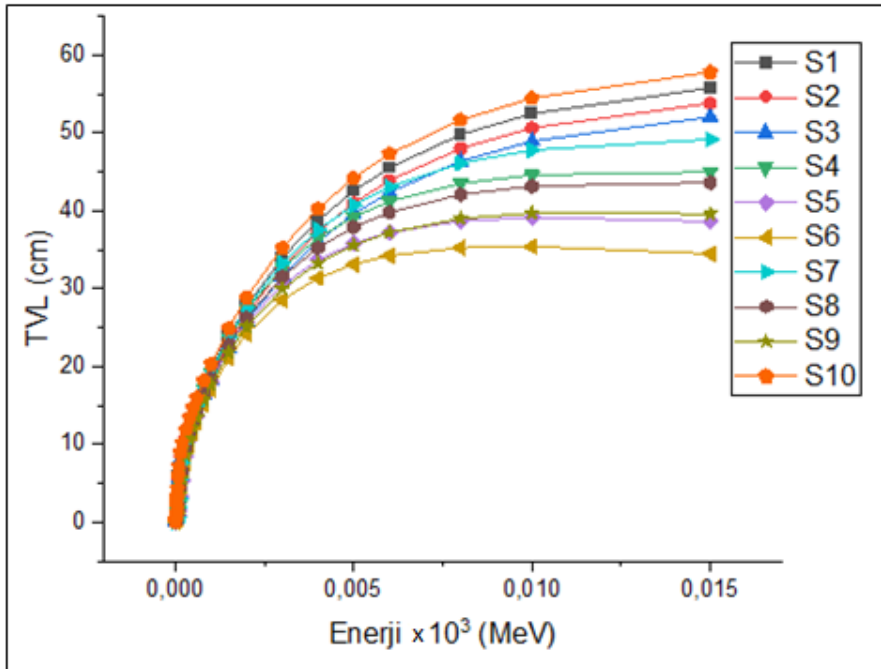


Şekil 5.5. X ışınlarına karşı MAC değerleri

Numunelerin HVL ve TVL değeri incelendiğinde radyasyon enerjisi arttıkça HVL (Şekil 5.6) ve TVL (Şekil 5.7) değerlerinin de arttığı görülmektedir. HVL ve TVL değeri, bir malzemenin gelen radyasyon ışının şiddetini yarı değerine ve onda bir değerine düşürmek için gerekli zırh malzeme kalınlığını temsil etmektedir. Takviye oranlarının artışına bağlı olarak malzemenin HVL ve TVL değerleri azalmıştır. Çift oluşumun baskın olarak meydana gelmeye başladığı 1,02 MeV enerji seviyesinde S1-S10 kodlu numuneler sırası ile 5,873cm- 5,656 cm- 5,456 cm- 5,757 cm- 5,422cm- 5,116 cm-5,823 cm- 5,551 cm- 5,304 cm- 6,107cm HVL değerlerini alırken 19,509cm- 18,789 cm-18,124 cm- 19,123 cm- 18,012 cm- 16,994 cm- 19,343cm- 18,439cm- 17,618 cm- 20,286 cm değerlerini alır. İncelenen literatür çalışmalarında da tasarlanan farklı matris malzeme içerisindeki seramik katkı miktarı artışına bağlı olarak HVL ve TVL değerlerindeki artışın arttığı görülmüştür. Örneğin, Alumix 231 matris malzeme içerisine farklı katkı oranlarında karıştırılan B₄C ile üretilen kompozit numunelerde seramik katkı miktarı arttıkça, HVL ve TVL değerinin de arttığı görülmüştür. Özellikle çift oluşumunun olduğu bölgelerde (E> 1,02 MeV) gerekli malzeme kalınlıkları için oldukça yüksek değerler hesaplanmıştır [51].



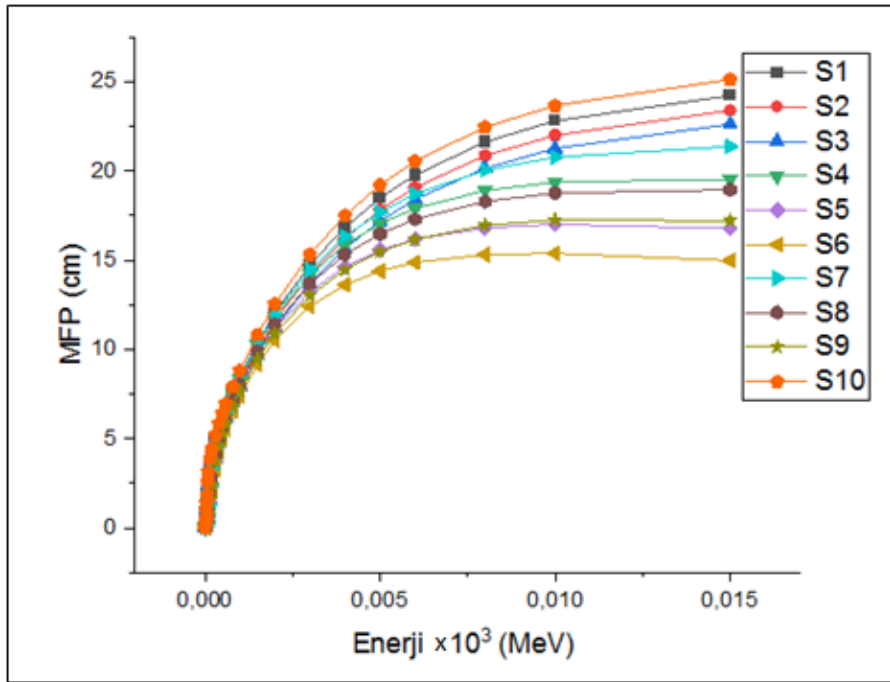
Şekil 5.6. X ışınlarına karşı HVL değerleri



Şekil 5.7. X ışınlarına karşı TVL değerleri

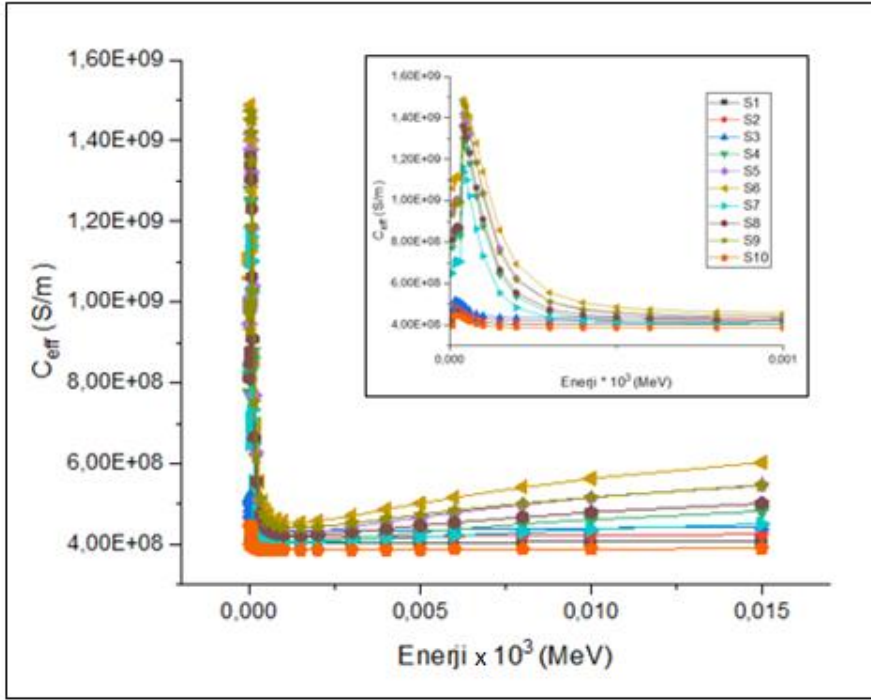
Tasarlanan numunelerin maruz kaldığı radyasyon enerji miktarı arttıkça, MFP değeri de aynı şekilde artış göstermiştir. Şekil 5.8’ deki grafik incelendiğinde en iyi zırhlama özelliği gösteren malzemenin %15 BaSO₄ ile S6 numunesi olduğu görülmektedir. Foton enerjisinin

artmasıyla MFP değeri artar. Malzemenin radyasyona maruz kaldığı düşük enerji bölgesinde, fotoelektrik etkinin meydana geldiği enerji bölgelerinde iki foton çarpışmasının arka arkaya gerçekleşmesi için gereken mesafe daha küçük olurken, Compton saçılmasının ve çift oluşumunun meydana geldiği yüksek enerjili bölgelerde gerekli mesafe değeri de artmıştır. Çift oluşumun baskın olarak meydana gelmeye başladığı 1,02 MeV'dan sonra numunelerin MFP değerleri de hızla artmıştır.



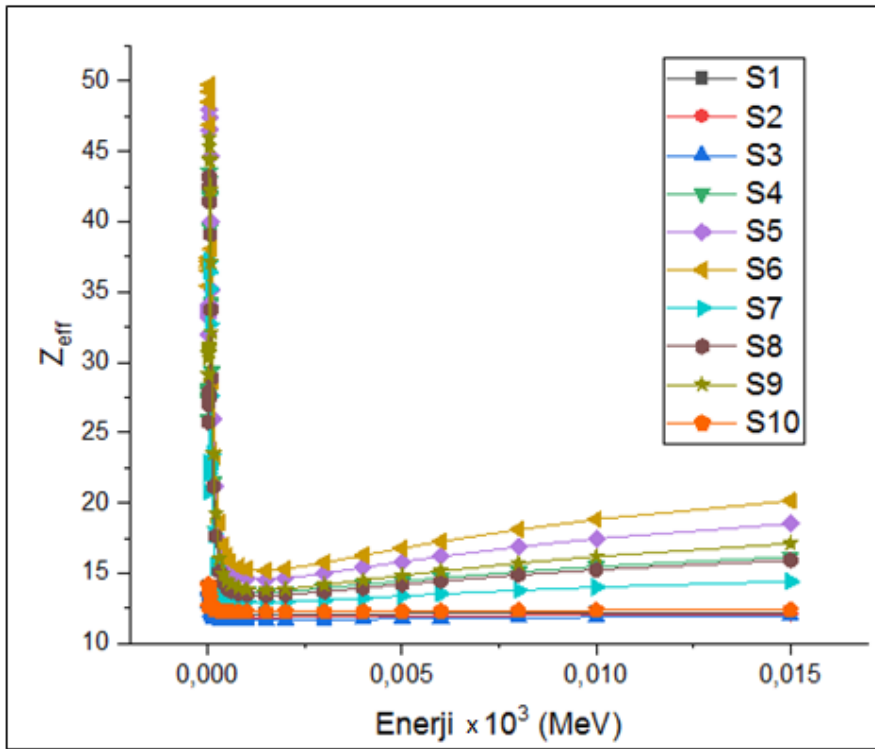
Şekil 5.8. X ışınlarına karşı MFP değerleri

Şekil 5.9'de numunelerin C_{eff} değeri görülmektedir. C_{eff} değeri malzemelerin etkin iletkenlik değerini göstermekte olup, yoğunluk ve atom numarası ile doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda malzemenin ne kadar serbest elektron içerdiği ile de ilgilidir. 0,2 MeV'den sonra grafikte de görülebileceği gibi, tüm numunelerin C_{eff} değeri kararlı hale gelmiştir.



Şekil 5.9. X ışınlarına karşı C_{eff} değerleri

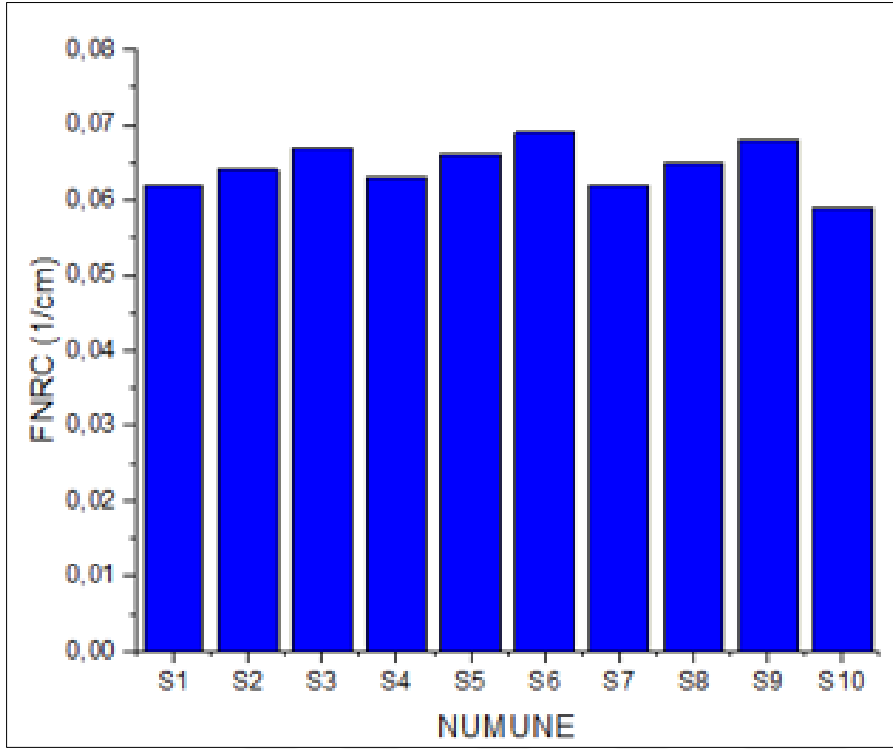
Etkin atom numarasını ifade eden Z_{eff} parametresi Şekil 5.10' da verilmiştir. Yaklaşık 0,0221 MeV' de bütün malzemeler maksimum Z_{eff} değerini almıştır. 0,3 MeV' den sonra numunelerin Z_{eff} değeri kararlı bir hal almaya başlamıştır. %5 BaSO₄ numunesinin Z_{eff} değeri, %5 SiC numunesinin yaklaşık 2 katı kadardır. Bu da AZ91 içerisine eklenen BaSO₄ seramiğinin AZ91 malzemesinin etkin atom numarası üzerindeki pozitif etkisini net olarak göstermektedir. 0,00891 MeV- 15 MeV enerji aralığında tasarlanan farklı katkı oranlarına sahip numunelerin etkin atom numaraları olan Z_{eff} değerleri sırasıyla (12,69-12,23), (12,76-12,09), (12,82-11,96), (25,95-16,17), (31,97-18,53), (35,42-20,15), (20,76-14,42)- (25,73-15,93), (29,10-17,10), (12,64-12,39) değerini almaktadırlar.



Şekil 5.10. X ışınlarına karşı Z_{eff} değerleri

Hızlı nötron giderme kesiti

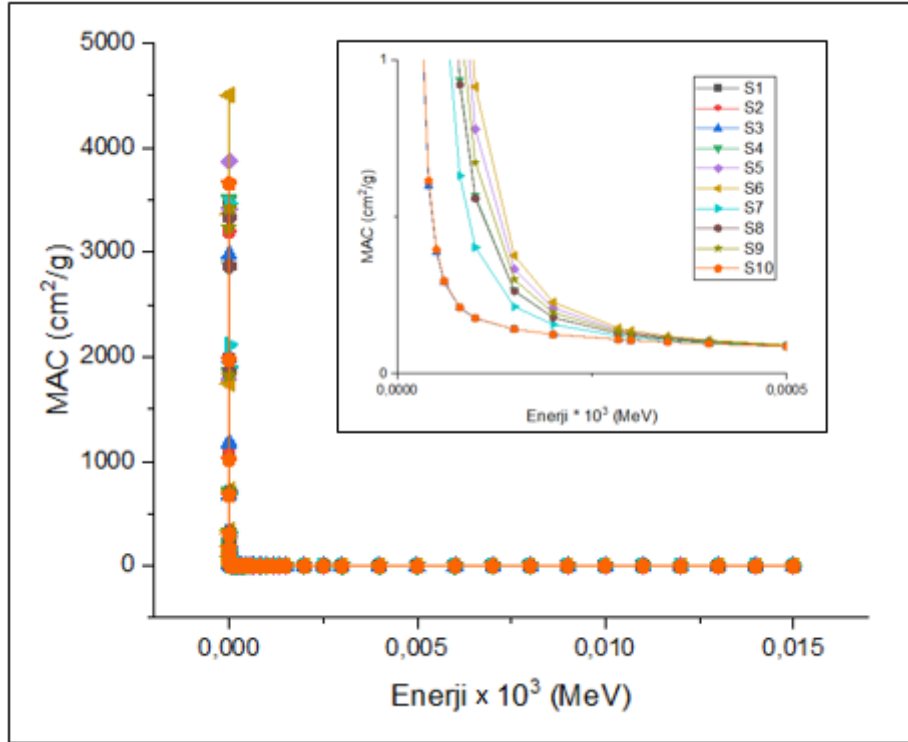
Tasarlanan numunelerin FNRC olarak bilinen hızlı nötron giderme kesiti değerindeki karşılaştırmalar Şekil 5.11’ de verilmiştir. En yüksek FNRC değerini 0.069 cm^{-1} ile %15 BaSO_4 katkılı S6 malzemesi almıştır. Katkılandırılan seramik malzeme grupları kendi içlerinde karşılaştırıldığında, $S3 > S2 > S1$ ve $S6 > S5 > S4$ şeklinde değiştiği görülmektedir. Kompozit numuneler içerisindeki katkı miktarının yoğunluğu ile doğru orantılı olacak şekilde FNRC değeri de artış göstermiştir.



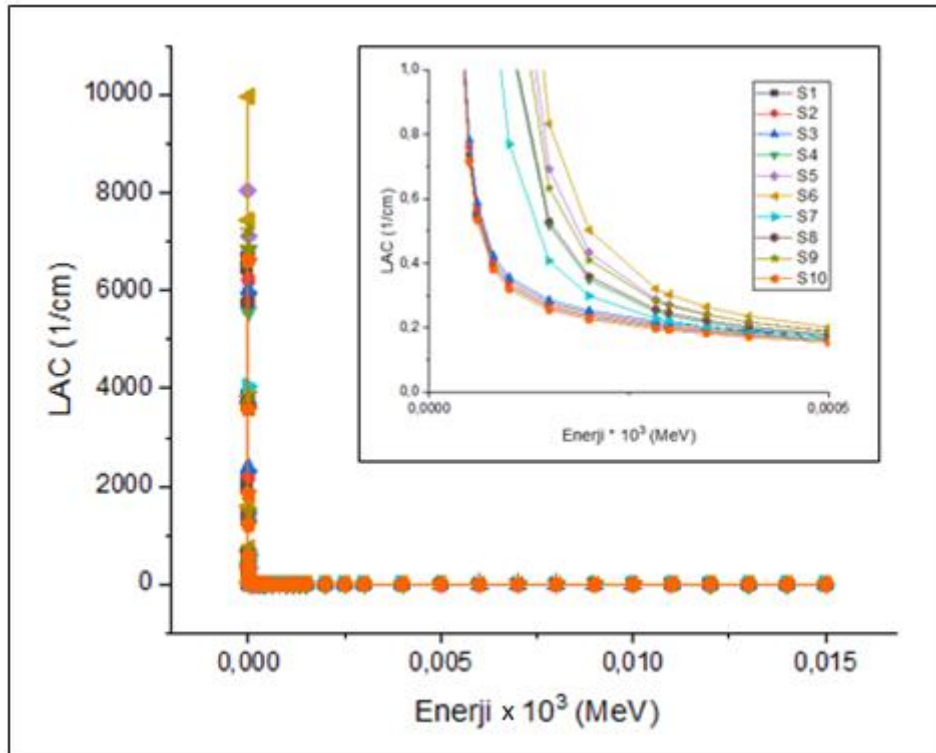
Şekil 5.11. FNRC değerleri

Gama ışınları

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13 incelendiğinde, gama ışınlarına karşı numunelerin hesaplanan MAC ve LAC değerleri, gönderilen foton enerji değeri arttıkça azalmaktadır. S10 kodlu AZ91 numunesi tüm numuneler içerisinde en düşük LAC değerini alan numunedir. Ağırlıkça % takviye artışına bağlı olarak malzemelerin LAC değerleri artmıştır. 0,001 MeV ile 0,015 MeV enerji aralığında numunelerin LAC değerlerinde hızlı düşüşler meydana gelmiştir. Endüstride sıklıkla kullanılan yaklaşık 0,662 MeV enerjideki Cs (137) kaynağında S1-S10 kodlu numuneler sırası ile 0,143cm⁻¹- 0,149 cm⁻¹- 0,154 cm⁻¹- 0,149 cm⁻¹- 0,160 cm⁻¹- 0,170 cm⁻¹- 0,146 cm⁻¹- 0,154 cm⁻¹- 0,162 cm⁻¹-0,138 cm⁻¹ değerleri almışlardır. Numune içerisine eklenen takviye elemanının artışına bağlı olarak MAC (Şekil 5.13) değerleri artmıştır. AZ91+%15 BaSO₄ malzemesinin MAC değeri, AZ91 malzemesinin MAC değerinin yaklaşık olarak 4 kat daha yüksek değerlere sahiptir. Fotoelektrik olayın baskın olarak meydana geldiği enerji aralığında MAC değerleri hızla azalırken, compton saçılmanın baskın olduğu 0,8 MeV enerji de MAC değerlerindeki azalış kararlı hale gelmeye başlamıştır. Çift oluşumun baskın olarak meydana gelmeye başladığı 1,02 MeV enerjiden sonra MAC değerleri kararlı bir hale gelmiştir.

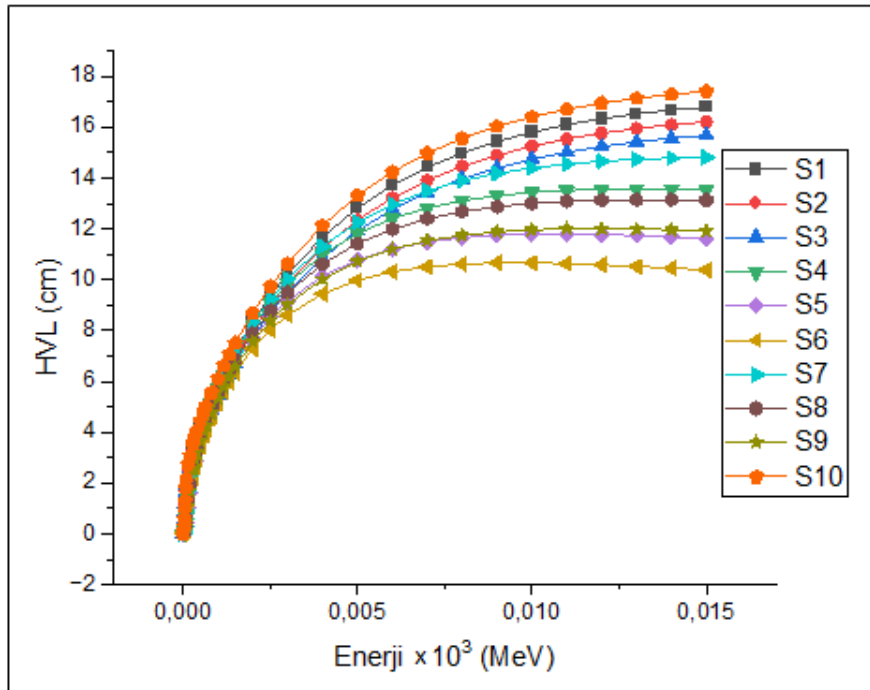


Şekil 5.12. Gama ışınlarına karşı MAC değerleri

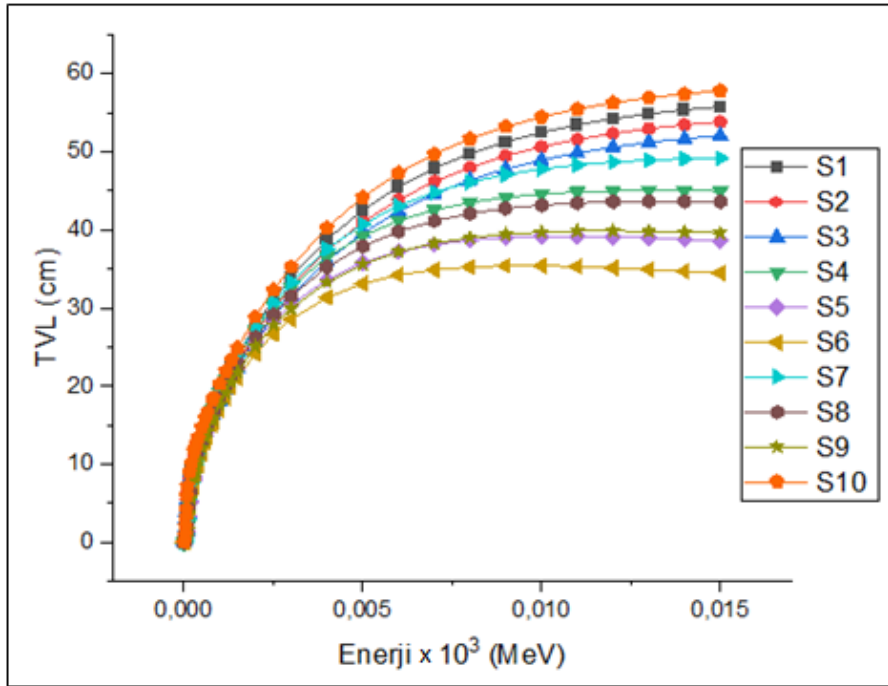


Şekil 5.13. Gama ışınlarına karşı LAC değerleri

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 incelendiğinde, gama radyasyon ışınlarından korunmak için gerekli olan malzeme kalınlık değerleri (HVL, TVL) hesaplanarak çizilmiştir. Numune üzerine gönderilen gama foton enerjisi arttıkça, gelen fotonun enerjisinin yarı değerine ve onda bir değerine düşürmek için gerekli zırh malzemesi kalınlığı da artış göstermiştir. Aynı enerji değerinde S10 olarak kodlandırılan takviye malzemesi içermeyen AZ91 numunesi en yüksek kalınlığa sahip zırh malzemesi olmuştur. Yaygın olarak kullanılan gama kaynaklarından biri olan Co (60) kaynağının 1.173 MeV enerjisinde S1' den S10' a kadar kodlanan on numunenin HVL değerleri sırası ile 6,360cm, 6,125cm, 5,908cm, 6,259cm, 5,907cm, 5,581cm, 6,320cm, 6,034cm, 5,772cm, 6,614cm değerini alırken, aynı enerjide 21,128cm, 20,348cm, 19,627cm, 20,790cm, 19,624cm, 18,540cm, 20,995cm, 20,044cm, 19,173cm, 21,971cm TVL değerlerini alırlar. Malzeme içerisinde eklenen katkı malzemesi miktarının artışı ile malzeme kalınlık değerinin doğru orantılı bir şekilde artmasının temel sebebi, tasarlanan kompozit malzemelerin kimyasal bileşimindeki yoğunluk atom numarasının farklılığından kaynaklanmaktadır. Grafikler incelendiğinde, HVL ve TVL değerlerinin 10 MeV enerji seviyesinden sonra kararlı hale ulaştığı gözükmemektedir. En düşük HVL ve TVL değerine sahip S10 numunesi (%15 BaSO₄ katkılı AZ91 numunesi) en iyi radyasyon zırhlama özelliğine sahip malzemedir.

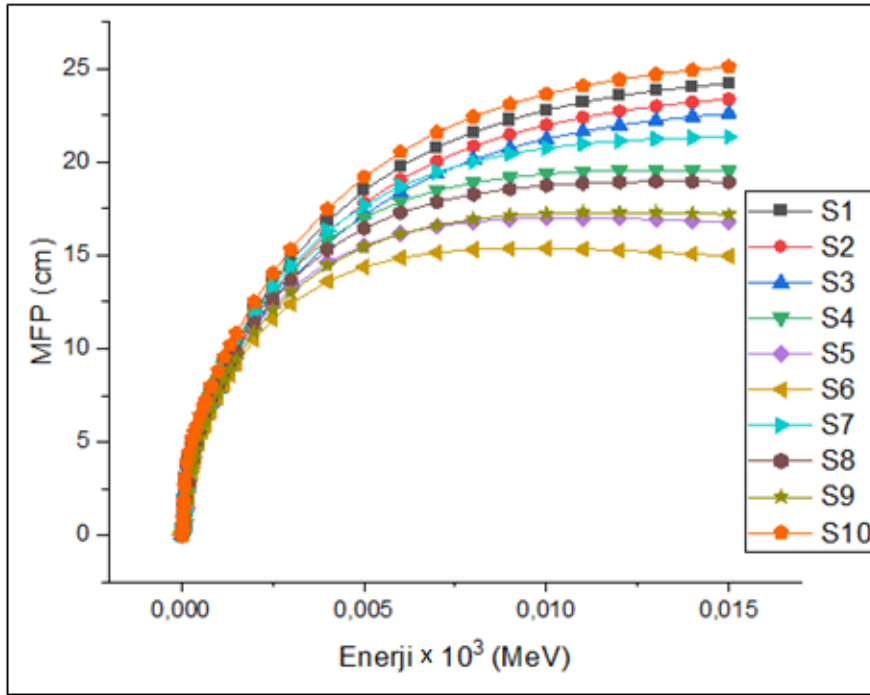


Şekil 5.14. Gama ışınlarına karşı HVL değerleri



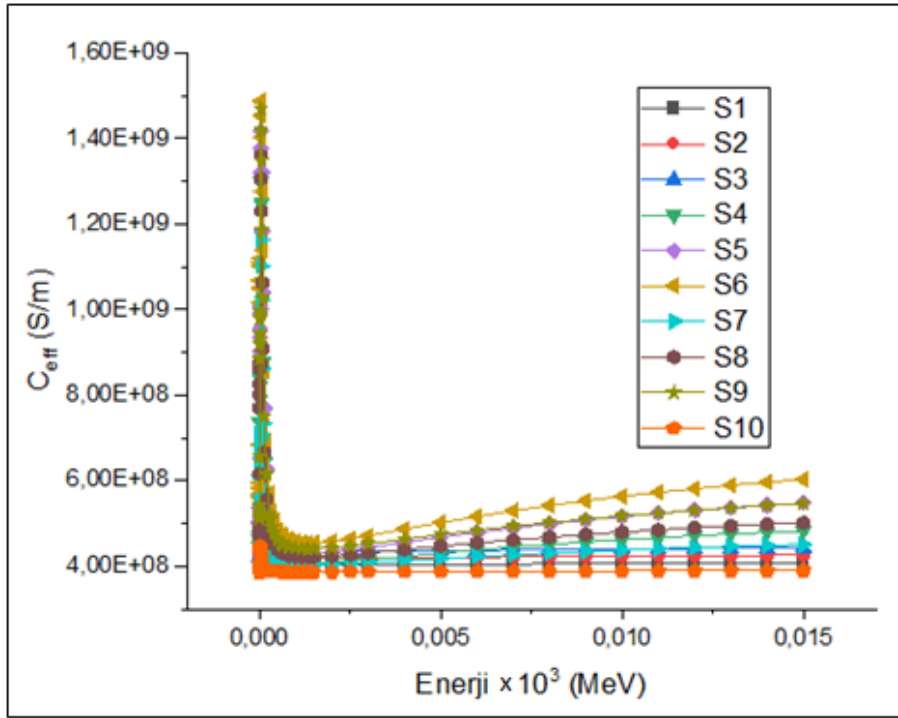
Şekil 5.15. Gama ışınlarına karşı TVL değerleri

Enerji değeri arttıkça, kompozit numunelerin MFP değerleri de (Şekil 5.16) artmıştır. Ancak takviye elemanının ağırlıkça yüzdesi arttıkça MFP değerinin azaldığı görülmüştür. Radyasyon zırh malzemesi seçiminde hesaplanan MFP değerinin düşük olması istenir.. En düşük MFP değeri S6 kodlu %15 BaSO₄ katkılı AZ91 numunesi iken, en yüksek MFP değerine sahip malzeme S10 kodlu takviye malzemesi içermeyen AZ91 malzemesidir. MFP grafiği HVL ve TVL grafikleri ile paraleldir. Foton enerjisinin artmasıyla MFP değeri artmıştır. Malzemelerin radyasyona maruz kaldığı düşük enerji bölgesi olan fotoelektrik etkinin meydana geldiği bölgelerinde ($E < 0,5$ MeV) iki foton çarpışmasının arka arkaya gerçekleşmesi için gereken mesafe daha düşüktür. Compton saçılmasının ve çift oluşumunun meydana geldiği yüksek enerjilerde ise gerekli mesafe değeri artmaktadır. Numunelerin MFP değerleri, elemen bileşiminin atom numarasına ve yoğunluğuna doğrudan bağlıdır.



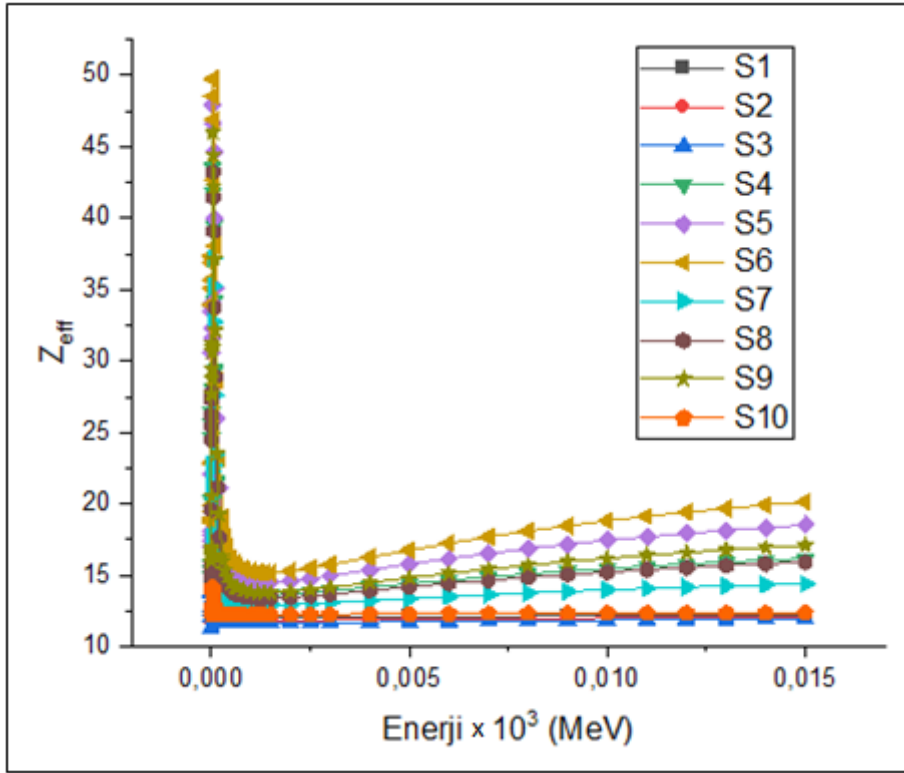
Şekil 5.16. Gama ışınlarına karşı MFP değerleri

Şekil 5.17’de verilen C_{eff} grafiği incelendiğinde de fotoelektrik olayın baskın olarak meydana geldiği 0,001 MeV- 0,006 MeV enerji aralığında C_{eff} azalırken, 0,006 MeV- 0,02 MeV enerji aralığında tekrardan artışa geçmiştir. Compton saçılmasının baskın olarak meydana geldiği enerji aralığında gelen fotonun absorplanmasından dolayı serbest elektronun bir göstergesi olan C_{eff} değerlerinde değişimler ihmal edilecek seviyededir. Compton saçılmasının baskın olduğu bölgelerde fotonların absorpsiyon olasılığının yüksek olması sebebiyle çok sayıda serbest elektron oluşur. Çift oluşumun baskın olarak meydana gelmeye başladığı 1,02 MeV enerji seviyelerinde çift oluşumda elektron-pozitron çiftinin oluşması sebebi ile C_{eff} değerlerinde hafif artışlar meydana gelmiştir. En düşük C_{eff} değerine sahip malzemen AZ91 olurken en yüksek C_{eff} değerine sahip malzeme %15 BaSO₄+AZ91 kompozit malzemesidir. Bunun sebebi, foton ile etkileşimde bulunan numunenin birim hacimde oluşturduğu serbest elektron miktarı ile açıklanabilir. Malzemenin yoğunluğu, etkin elektron yoğunluğu ve etkileşimin gerçekleştiği ortamın sıcaklığı ile doğrudan ilgilidir.



Şekil 5.17. Gama ışınlarına karşı C_{eff} değerleri

AZ91 içerisinde SiC seramik malzemenin eklenmesi ile üretilen AZ91+ (%5-10-15) SiC kompozitlerin (Şekil 5.18) 0,001 MeV- 0,0015 MeV enerji aralığında Z_{eff} değerleri AZ91 malzemesinden daha düşük değerlere sahiptirler. AZ91 malzemesi içerisindeki katkı malzemesinin ağırlık yüzdesinin artışı, Z_{eff} değerinde azalmaya sebep olmuştur. Enerji artışı ile beraber 0,0015 MeV- 0,008 MeV enerji aralığında SiC takviyeli AZ91 matrisli kompozit malzemelerin Z_{eff} değerleri tekrardan artışa geçmiştir. Foton enerjisindeki azalma, başlangıçta Z_{eff} değerinde bir azalma ile sonuçlanırken, daha sonra kararlı hale gelir ve sonunda artma eğilimi gösterir. Bunun temel sebebi ise fotoelektrik olayında yörünge de var olan zayıf bağlı olan elektronun kopması sebebi ile atomun sahip olduğu atom elektron sayısının değişmesinden kaynaklıdır. Grafik incelendiğinde çift oluşumun meydana geldiği enerji seviyelerinde Z_{eff} değerleri tekrardan artışa geçmiştir. Bunun sebebi ise çift oluşum olayında gelen fotonun elektron-pozitron oluşturmastır. Elektron-pozitron oluşu ile beraber fotonun enerjisinin kütleye dönüşmesinden kaynaklanan elektron artışı Z_{eff} değerlerin artmasına sebep olmuştur. Sonuç olarak, numuneler çift üretim bölgelerinde ve fotoelektrik etki bölgelerinde daha yüksek Z_{eff} değerine sahiptir. %15 BaSO₄ seramik katkılandırılan AZ91 numunesi (S10) diğer kompozit numuneler arasında en iyi foton koruma performansı gösterir.



Şekil 5.18. Gama ışınlarına karşı Z_{eff} değerleri

5.6.2. Deneysel sonuçlar

%5, %10 ve %15 lik farklı ağırlıkça yüzdelerle SiC ve BaSO₄ seramik malzeme takviyelendirilen kompozit numunelerin sırasıyla X ışınlarına karşı radyoaktif geçirgenlik testleri yapılmıştır. Hızlı nötron giderme kesiti en yüksek olan 4 malzemeye ise yavaş nötrona karşı radyoaktif geçirgenlik testleri yapılarak analiz sonuçları yorumlanmıştır.

X Işınları

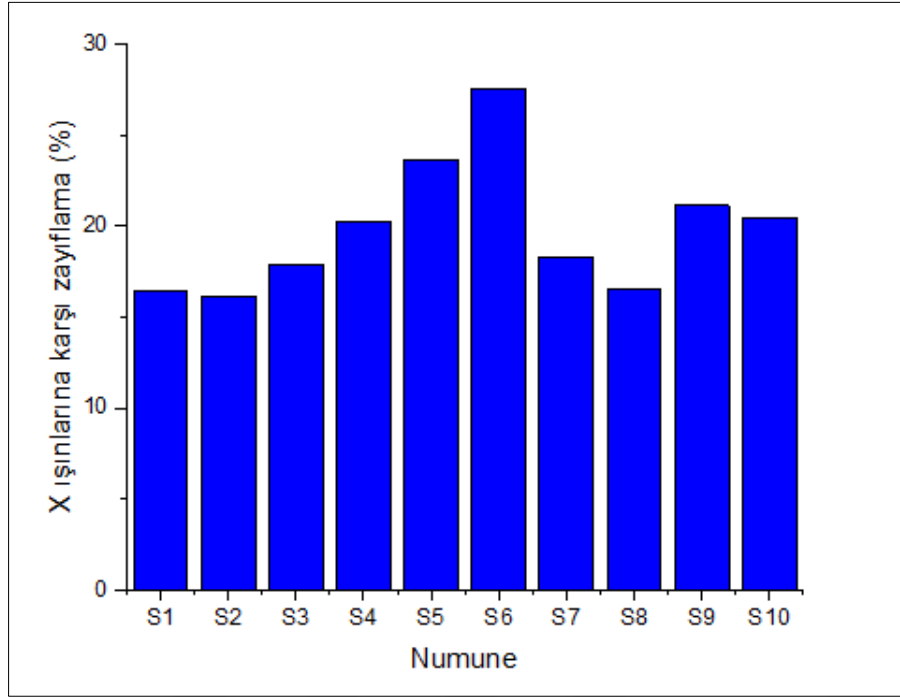
X ışınlarına karşı yapılan radyasyon geçirgenlik testinde, her bir numunenin zayıflatma oranının mikron cinsinden seçilecek kurşun film tabakası kalınlığı ve % zayıflatma miktarları hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Numunelerin X ışınlarına karşı % zayıflama ve kurşun eşdeğer kalınlıkları

No	Numune Adı	Zayıflama (%)	Kurşun Eşdeğeri (μm)
S1	%5 SiC	16,391	74,001
S2	%10 SiC	16,116	72,495
S3	%15 SiC	17,860	82,161
S4	%5 BaSO ₄	20,239	95,862
S5	%10 BaSO ₄	23,609	116,394
S6	%15 BaSO ₄	27,594	142,543
S7	%5 Hibrit	18,338	84,862
S8	%10 Hibrit	16,529	74,756
S9	%15 Hibrit	21,139	101,212
S10	AZ91	20,468	97,218

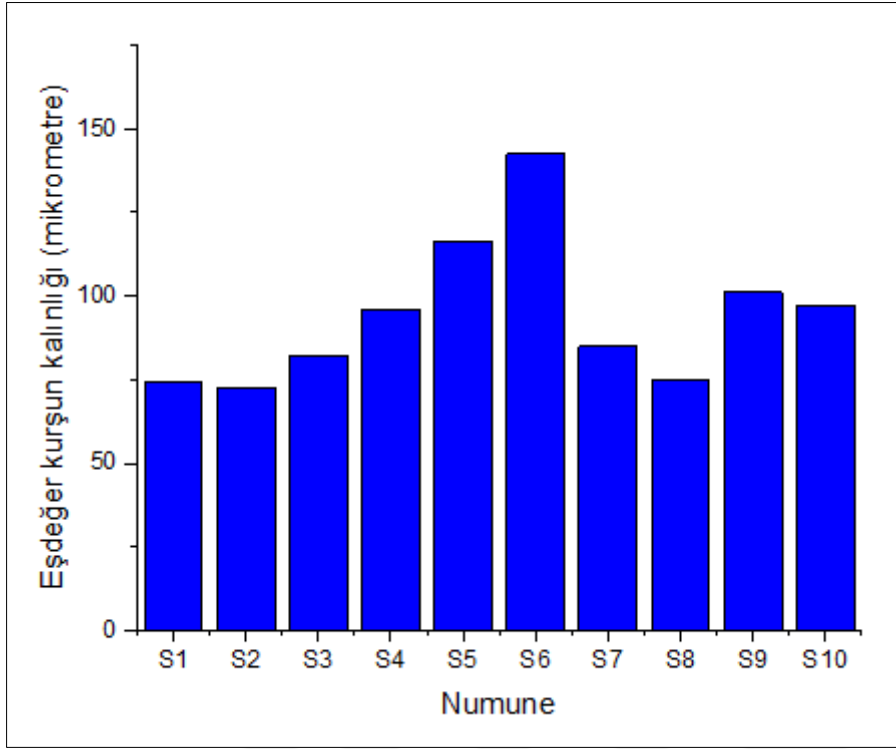
Çizelge 5.1 incelendiğinde, üretilen numuneler arasında, matris malzeme içerisindeki seramik malzeme takviyesinin miktarı arttıkça X ışınlarına karşı zırlama özelliğinin de arttığı gözlenmiştir. % zayıflatma miktarlarına bakıldığında, baryum sülfat seramik katkı malzemesinin radyasyon zırlama özelliğinin silisyum karbür malzemesine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Baryum sülfat ve silisyum karbür takviyelendirilen hibrit kompozit numuneler incelendiğinde, S9 kodlu %15 SiC+BaSO₄ hibrit kompozit numunesinin diğer hibrit kompozit malzemelere göre daha yüksek zayıflatma gösterdiği görülmektedir. Bunun sebebi, S9 ile kodlanan ağırlıkça %85'lik AZ91 matris malzemesinin ağırlıkça %7,5 BaSO₄ ve ağırlıkça %7,5 SiC seramik katkı içermesidir. BaSO₄ seramik malzemesi SiC seramik malzemesine göre X ışınlarına karşı daha iyi bir kalkan özelliği göstermiştir. S8 kodlu %10 SiC+BaSO₄ hibrit kompozit malzemesinin, S7 kodlu %5 SiC+BaSO₄ hibrit kompozit malzemesinden daha düşük çıkmasının sebebi, radyasyon deneyi sırasında ışınların numune içerisindeki gözeneğe denk gelmesinden veya diğer deney koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kompozit numuneler toz metalurjisi yöntemi kullanılarak sıcak pres metodu ile üretilmiştir. Her ne kadar SEM görüntülerinde de görüleceği gibi homojen dağılım göstermiş olsalar da, malzeme içerisinde birbiri içerisinde bağ kuramayan ve gözenek oluşumuna sebep olan görüntülere rastlanmıştır. Deneyde kullanılan X ışınları gözenek olarak adlandırdığımız boşluklu yapıya ya da safsızlıklara denk geldiğinde, malzeme ile etkileşimde bulunmadıkları için daha az enerji kaybederler. Çıkan enerji, gelen enerjiye daha yakın bir değerdedir. Bu da % zayıflatma oranının düşük çıkmasına sebep olmaktadır. Gözenekli yapılarda Eş. 2.1' de verilen μ değeri (lineer zayıflatma katsayısı) düşük olduğundan, I (kaynaktan çıkan radyasyon miktarı) değeri de daha yüksek çıkacaktır.

Şekil 5.19’ da numunelerin X ışınlarına karşı zayıflatma yüzdeleri verilmiştir. S1’ den S10’ a kadar kodlanan 10 numunenin % zayıflatma yüzdeleri sırası ile 16,391- 16,116- 17,860- 20,239- 23,609- 27,594- 18,338- 16,529- 21,139 ve 20,468 dir.



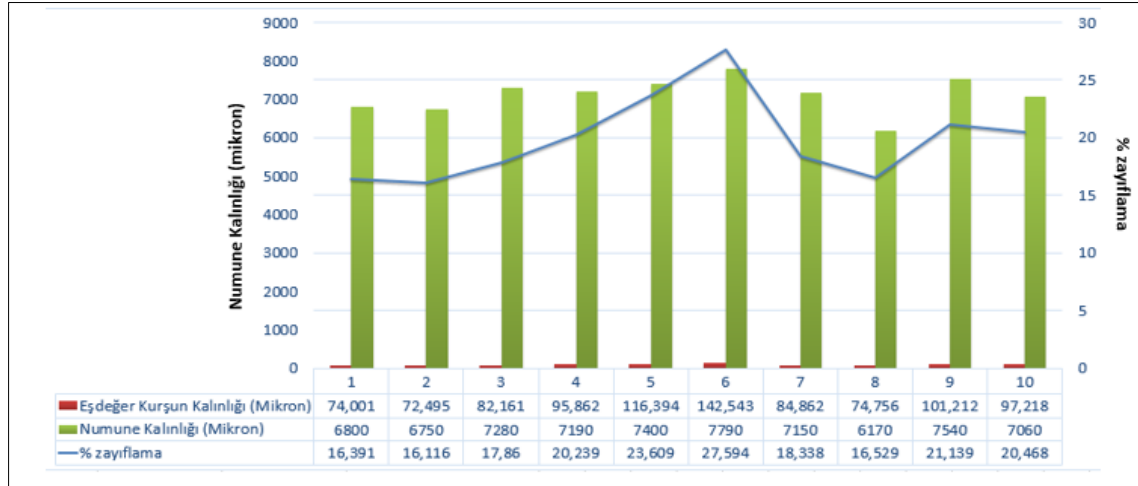
Şekil 5.19. Numunelerin X ışınlarına karşı % zayıflamaları

Numunelerin kurşun zırh malzemesine eşdeğer kurşun zırh malzemesi kalınlıkları Şekil 5.20’ de gösterilmiştir. Çizelge 5.1’ de görüleceği gibi malzemelerin, en iyi bilinen zırh malzemesi kurşuna göre radyasyon zırh malzeme kalınlığı referans gösterilerek, kurşun eşdeğer kalınlıkları mikrometre cinsinden hesaplanmıştır. %15 BaSO₄ seramik malzeme katkılı AZ91 numunesinin, %27,594 lük radyasyon zayıflatması için gerekli zırh malzeme kalınlığı aynı zayıflatma oranına sahip kurşun için 142,543 mikrondur. En yüksek kalınlıkta kurşunun zayıflatma oranı ile eşdeğer olan numune S6 numunesi olmuştur.



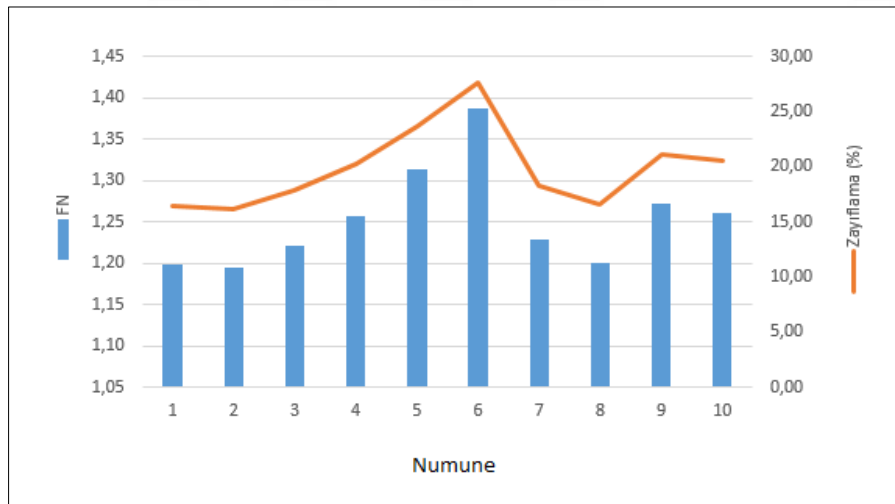
Şekil 5.20. Numunelerin X ışınlarına karşı hesaplanan eş değer kurşun kalınlığı

Radyasyon zırhlamada en iyi bilinen zırh malzemesi olan kurşuna göre karşılaştırma yapılarak, kurşun eşdeğer kalınlık mikrometre cinsinden hesaplanmıştır. Buradaki eşdeğer zırh malzeme kalınlığına bakıldığında en düşük kurşun eşdeğer zırh malzeme kalınlığının hibrit kompozit malzemelerde olduğu görülmüştür. Üretilen numunelerin aynı % zayıflatma karşılığı kurşun zırh malzemesi olarak seçildiğinde gereken malzeme kalınlığı hesaplandığında ise Şekil 5.21’ deki gibi bir tablo elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek zayıflatma katsayısına sahip olan S6 numunesinin eş değer kurşun kalınlığı da en yüksektir.



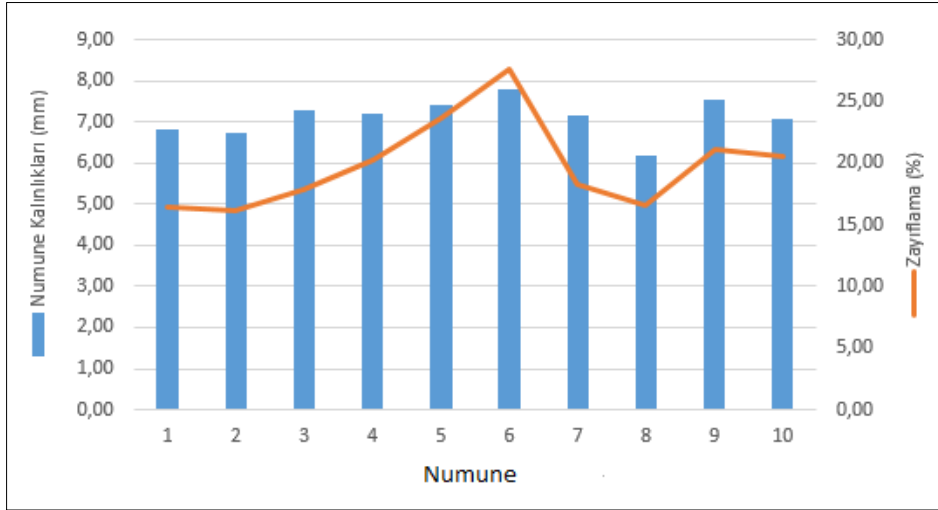
Şekil 5.21. Numune kalınlıklarının eşdeğer kurşun kalınlığına ve % zayıflatma oranına karşı değişimi

Tasarlanan radyasyon zırh malzemesi için dar demet geometrisi zayıflatma oranı olan F_N e karşı zayıflatma % leri Şekil 5.22’ de verilmiştir. En yüksek zayıflatma oranına sahip S6 numunesi %15 BaSO₄ katkılı malzeme olup, aynı zamanda Eş. 4.2 kullanılarak hesaplanan F_N zayıflatma oranı en yüksek olan malzemedir.



Şekil 5.22. Numunelerin F_N ve % zayıflatma değerlerinin karşılaştırılması

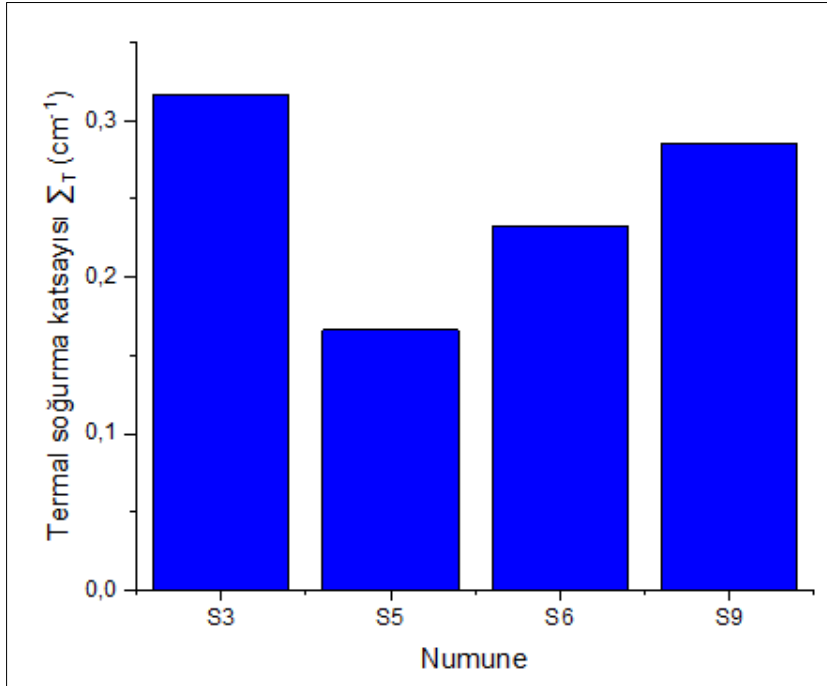
Üretilen her bir numunenin kalınlığına bağlı değişen % zayıflatmaların değişimi Şekil 5.23’ te verilmiştir. S1-S10 kodlu numunelerin numune kalınlıkları sırası ile 6,8- 6,75- 7,28- 7,19- 7,4- 7,79- 7,15- 6,17- 7,54- 7,06 mm dir.



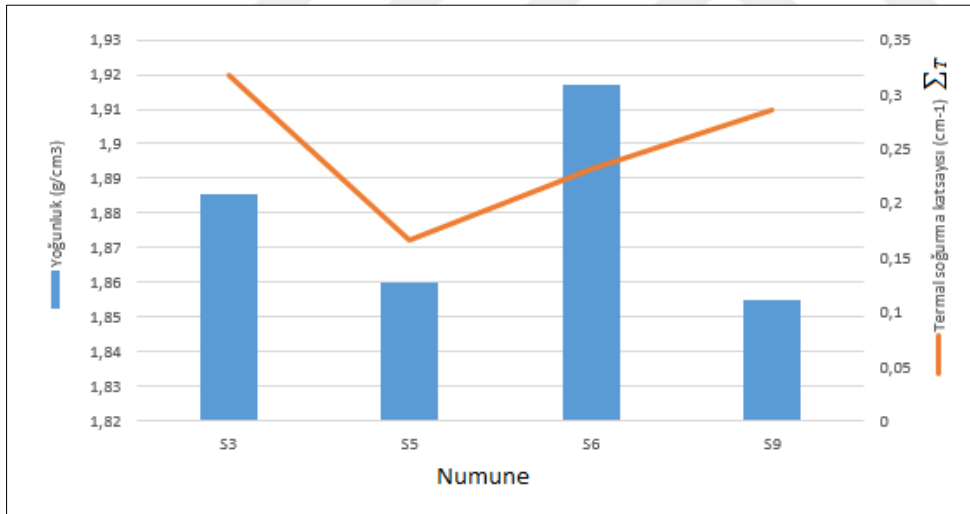
Şekil 5.23. Numune kalınlıkları ve % zayıflama karşılaştırılması

Yavaş nötron radyasyonu

Teorik hesaplama sonuçlarında hızlı nötron giderme kesitleri sonuçlarına göre elde edilen en yüksek FNRC değerine sahip AZ91+%15 BaSO₄, AZ91+%15 SiC, AZ91+%15 SiC+BaSO₄ ve AZ91+%10 BaSO₄ olmak üzere dört numuneye yavaş nötron radyasyon geçirgenlik analizi yapılmıştır. Şekil 5.24’ te her bir numunenin ortalama makroskopik tesir kesitleri (cm⁻¹) olarak gösterilmiştir. Numunelerin makroskopik tesir kesitleri yapılan analiz sonucunda sırasıyla S3, S9, S6, S5 numuneleri 0,317 cm⁻¹ > 0,286 cm⁻¹ > 0,232 cm⁻¹ > 0,166 cm⁻¹ şeklinde hesaplanmıştır. I değerinin I₀ değerine oranı olarak bilinen soğurma katsayısına karşı numunelerin yoğunluk grafiği Şekil 5.25’ te gösterilmiştir.



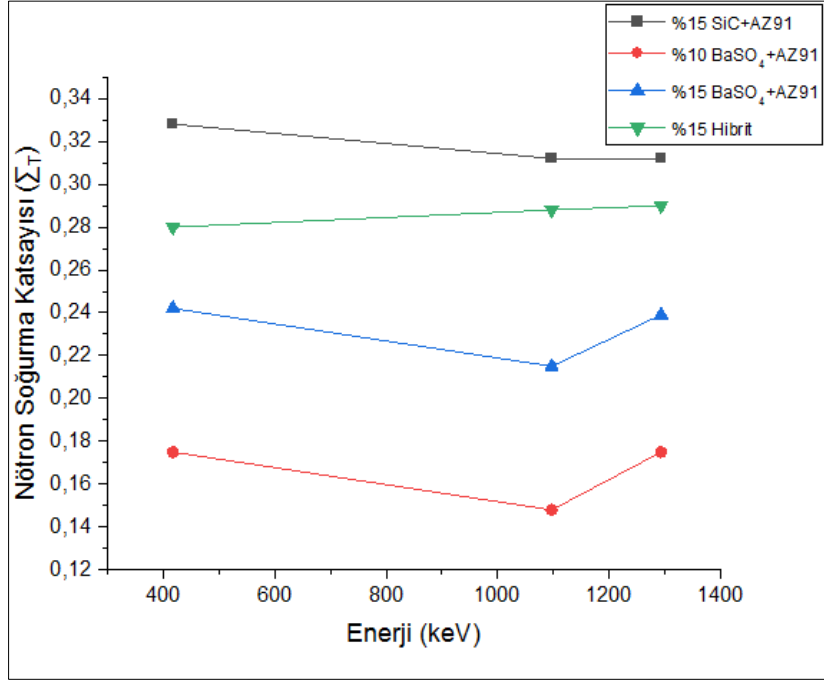
Şekil 5.24. Numunelerin nötron radyasyon kaynağına karşı hesaplanan tesir kesitleri



Şekil 5.25. Numunelerin yoğunluklarına bağlı hesaplanan nötron tesir kesitleri Σ_T (cm⁻¹)

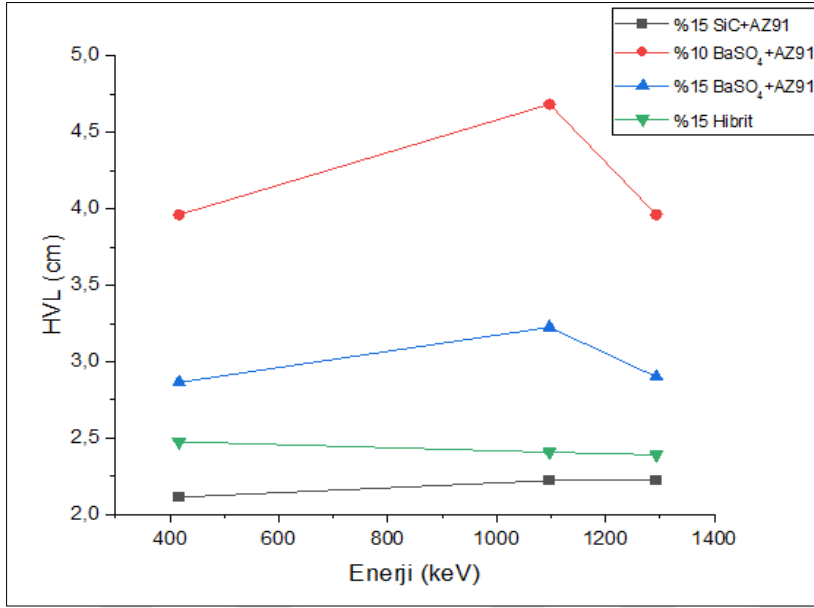
Numunelerin 416,86 keV, 1097,33 keV ve 1293,56 keV enerji değerlerine karşı hesaplanan termal nötron soğurma katsayısı grafiği Şekil 5.26' da verilmiştir. Grafikte de görüleceği gibi aynı enerji seviyesinde en yüksek nötron soğurma katsayısına sahip numune %15 SiC+AZ91 numunesi iken, en düşük nötron soğurma katsayısına sahip numune %10 BaSO₄+AZ91 numunesi olmuştur. Malzemelerin termal soğurma katsayıları, gelen ışının enerjisine ve elementin atom numarasına bağlı olarak değişir. Üretilen numuneler içerisinde

bileşigi oluşturan elementlerin sayısı arttıkça kütle zayıflatma katsayısı olarak da bilinen soğurma katsayıları da artmıştır.

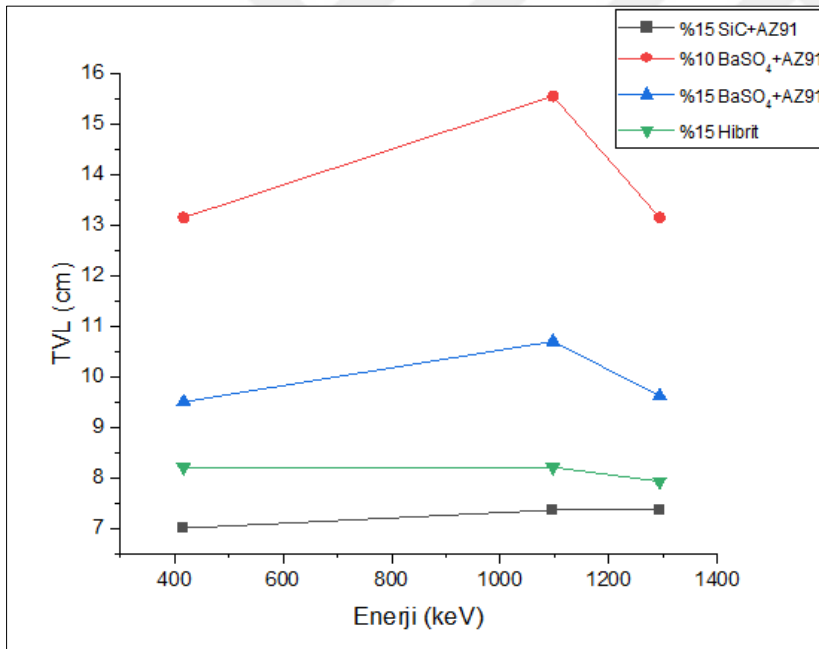


Şekil 5.26. Numunelerin yavaş nötron enerjilerinde hesaplanan nötron tesir kesitleri

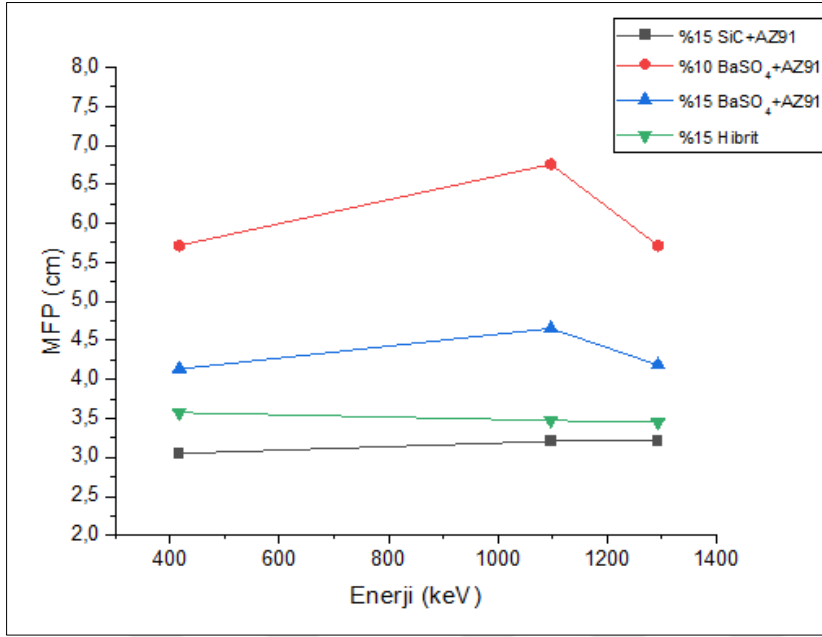
Numunelerin 416,86 keV, 1097,33 keV ve 1293,56 keV enerji değerlerindeki HVL, TVL ve MFP değerleri ayrı ayrı hesaplanmış olup Şekil 5.27, Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’ da sırasıyla verilmiştir. Görüldüğü gibi aynı enerji seviyesinde en düşük HVL, TVL ve MFP değerine sahip numune %15 SiC+AZ91 numunesi iken, en yüksek HVL, TVL ve MFP değerine sahip numune %10BaSO₄+AZ91 numunesidir.



Şekil 5.27. Yavaş nötronlara karşı numunelerin HVL değerleri



Şekil 5.28. Yavaş nötronlara karşı numunelerin TVL değerleri



Şekil 5.29. Yavaş nötronlara karşı numunelerin MFP değerleri

Hesaplanan deneysel sonuçlar incelendiğinde; numunelerin X ışınlarına karşı gösterdiği zırlama performansını inceleyebilmek için % zayıflama oranları karşılaştırılmıştır. % zayıflama oranlarına bağlı olarak malzemelerin kurşun eşdeğer kalınlıkları da karşılaştırılarak verilmiştir. BaSO₄ katkılı kompozit numunelerin en yüksek zayıflatma oranlarına ve yüksek kurşun eşdeğer kalınlığına sahip olduğu görülmüştür. Numunelerin yavaş nötron ışınlarına karşı gösterdikleri zırlama performansına bakıldığında ise, en düşük HVL, TVL ve MFP değerine sahip numunenin %15 SiC katkılı AZ91 kompozit malzemesi olduğu görülmüştür. Bu durum, en düşük zırh malzemesi kalınlığında en iyi radyasyon zırlama özelliği göstereceği anlamına gelmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında sırasıyla ağırlıkça %5- %10- %15 oranında SiC, BaSO₄ ve SiC+BaSO₄ seramik parçacıklar AZ91 matris malzemesi içerisine eklenerek kompozit/hibrit numuneler toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik (sertlik, çapraz kırılma), karakterizasyon (SEM, EDS) ve radyasyon zırhlama (teorik, deneysel) özellikleri incelenmiştir. Tasarlanan numunelerin teorik olarak PSD yazılımı kullanılarak X ışınlarına ve gama radyasyon kaynağına karşı gösterdiği radyasyon zırhlama parametreleri incelenmiştir. Üretilen numunelerin ise, X ışınlarına ve yavaş nötron radyasyon kaynağına karşı radyasyon zayıflatma parametreleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Mg esaslı AZ91 alaşım matris malzemesi içerisine eklenen SiC ve BaSO₄ seramik malzemelerinin AZ91 matris malzemesinin sertlik, yoğunluk ve kırılma dayanımlarını arttırdığı görülmüştür. S1-S10 numunelerinin sırası ile yoğunlukları 1,8225- 1,8559- 1,8856- 1,8269- 1,8598- 1,9169- 1,8190- 1,7819- 1,8548 ve 1,7632 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. S3>S2>S1 ve S6>S5>S4 şeklinde bir artış görülmüştür. SiC takviyelendirilen numunelerin sertlik değerleri yüksek çıkarken, BaSO₄ takviyeli numunelerin sertlik değerleri SiC takviyeli malzemelere göre daha düşük çıkmıştır. S1-S10 numunelerinin sertlik değerleri sırasıyla, 77,4 HB, 100,5 HB, 99,5 HB, 77,5 HB, 77,5 HB, 77,7 HB, 80,1 HB, 80,86 HB, 84,7 HB ve 74,5 HB dir. Numunelerin çapraz kırılma dayanımları incelendiğinde ise en büyük değeri SiC takviyeli AZ91 numunelerinin aldığı görülmüştür. S1-10 numunelerinin sırası ile çapraz kırılma dayanımları, 85,892 MPa, 93,232 MPa, 75,118 MPa, 81,850 MPa, 51,434 MPa, 36,609 MPa, 43,152 MPa, 41,950 MPa, 36,275 MPa ve 65,240 MPa dır. Çapraz kırılma dayanımlarını etkileyen en büyük faktörün, numune içerisindeki gözeneklilik kaynaklı olduğu yorumu yapılmıştır.

EDS analizleri sonucunda AZ91 metal matrisli malzemenin ana fazının Mg olduğu ve ikinci elementinin Al olduğu tespti edilmiştir. SiC takviyelendirilen numunelerin sertlik değerleri yüksek çıkarken, BaSO₄ takviyeli numunelerin sertlik değerleri SiC takviyeli malzemelere göre daha düşük çıkmıştır. Kırık yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde üretilen numunelerin sünek olarak kırıldığı görülmüştür.

Phy-x/PSD programı verileri girildiğinde yapılan analiz sonucuna göre, malzemeler mükemmel kabul edildiği için deneysel sonuçlarla aralarında farklar bulunmuştur. En iyi

zırhlama malzemesinin %15 BaSO₄ katkılı AZ91 malzemesi olduğu gözlenmiştir. SiC takviye malzemesinin de katkı oranı arttıkça zırhlama özelliğinin de arttığı görülmüştür ancak; BaSO₄ seramiğinin SiC seramiğine kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir. X ışınlarına ve gama radyasyon ışınına karşı hesaplanan teorik hesaplamalarda optimum numunenin %15 BaSO₄ katkılı AZ91 kompozit malzemesi olduğu anlaşılmıştır. Bir malzemenin LAC değeri ne kadar yüksek olursa HVL, TVL ve MFP değerleri de o kadar düşük olur. Bu durum, malzemenin daha az kalınlıkta bile iyi bir radyasyon zırhlama özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. İncelenen kompozit malzemelerin içerisindeki katkı miktarlarındaki artış, HVL, TVL ve MFP değerlerinde düşüşe sebep olmuştur. Bu durum da, malzemelerin radyasyon zayıflatma performanslarının arttığını ortaya koymuştur. Ayrıca MFP değerindeki enerjiye bağlı değişimler, LAC ve MAC değerlerinin tam tersidir. Bu durum, çalışılan kompozit numunelerin kimyasal bileşimlerine ve yoğunluklarına bağlı değişmiştir. HVL, TVL ve MFP' nin daha yüksek elde edilen değerleri, radyasyon ışınlarını güvenli seviyelerde tutmak için koruyucu malzeme kalınlığının daha kalın olması gerektiğini gösterir. Bu sebeple de, maliyeti en aza indirmek için HVL değeri yüksek olan malzemeler yerine HVL değeri daha düşük olan malzemeler tercih edilmelidir. Bu sonuçlar, nükleer ve medikal alanda çalışmalarını sürdüren tasarımcılar için referans olarak kullanılabilir.

Yapılan deneysel ve teorik çalışmaların birbirini destekler nitelikte sonuçlar göstermesi, üretilen numunelerin geleceğe ışık tutan bir araştırma geliştirme faaliyeti niteliği taşıdığını da desteklemektedir. Özellikle medikal ve sağlık alanlarında kullanılan düşük enerji kaynaklarına karşı üretimi gerçekleştirilen bu zırh malzemeleri seçildiğinde, kurşun malzemeye kıyasla oldukça hafif bir kompozit malzeme üretilmiş olunacak ve böylelikle de sağlık çalışanlarının ve hastaların toksit olmayani hafif ve radyasyon geçirgenlik değerleri iyi olan bir zırh malzeme kullanımına imkan sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

1. Aydın, F. (2018). *Toz metalurjisi ile üretilen farklı partikül takviyeli magnezyum matrisli kompozit malzemelerin mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi*, Proje, Karabük Üniversitesi, 1-3.
2. Kainer, K. U. (Ed.). (2003). *Magnesium alloys and technology*. New York: John Wiley & Sons, 397-308.
3. Ünal, M., Koç, E., Türen, Y., Gül, F. ve Candan, E. (2009). *AZ91 Magnezyum alaşımının döküm ve mekanik özelliklerine silisyum ilavesinin etkisi*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 13-15.
4. Durak, R. (2020). *Radyasyon zırhlama için yeni, hafif, kompozit malzemeler*, Yükseköğretim Kurumu Destekli Proje, 1-4.
5. German, M. R. (2007). *Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri*. Ankara: Türkiye Toz Metalurjisi Derneği, 574-576.
6. Mazumdar, S. (2001). *Composites manufacturing: materials, product, and process engineering*. New York: CrC Press, 23-51.
7. Kalemtaş, A. (2014). Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış. *Putech & Composites*, 22(1), 18-30.
8. Kaya, A. İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech & Composites*, 29, 38-45.
9. 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.
10. De Armitt, C. and Rothon, R. (2017). *Particulate fillers, selection and use in polymer composites*. In *Fillers for Polymer Applications*. Switzerland: Springer, 3-27.
11. Karslı, M. (2016). *Hafif silahlar için polimer kompozit malzeme seçimi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 17-25
12. 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 Al11.8%Si matrix composites*. In N. Hu (Ed.), *Composites and their propertie*. Croatia: In Tech Prepress, 415-419.
13. 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.
14. 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: 15.10.2023.

15. Akyüz, B. (2019). AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve işlenebilirliği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1019-1028.
16. Mert, F. (2013). *Kemik tedavilerinde kullanılan biyobozunur implant malzemeler*, 1st International Symposium on Plastic and Rubber Technologies and Exhibition, Ankara, 73-75.
17. Yavuz, H.G. (2011). *Mikro ark oksidasyon işlemi uygulanan AZ91 kalite magnezyum alaşımının yüzey özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3-6.
18. 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.
19. Eliezer, D., Aghion, E. and Froes, F. H. (1998). Magnesium science, technology and applications. *Advanced Performance Materials*, 5(3), 201-212.
20. Gaines, L., Cuenca, R., Stodolsky, F. and Wu S., (1996). *Potential automotive uses of wrought magnesium alloys*. Detroit: Automotive Technology Development, 1-7
21. Aydemir, E. (2018). *AZ91 Alaşımının sıcak presleme yöntemi ile üretilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 1-11.
22. Aghion, E. and Golub, G. (2006). *Magnesium technology*. Berlin: Springer, 29-62
23. ASM Specialty Handbook. (1999). *Magnesium and magnesium alloys*, New York: ASM International Handbook Committee, 305- 415
24. Ünver, G. (2011). *Az91 magnezyum alaşımına Ti ve Cr alaşım elementlerinin ilavesinin özelliklere etkisinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-40.
25. Mordike, B. L. and Ebert, T. (2001). Magnesium: properties applications potential. *Materials Science and Engineering: A*, 302(1), 37-45.
26. İnternet: Barium Sulfate (2017). Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Barium_sulfate, Son Erişim tarihi: 17.10.2023.
27. Brobst, D.A. (1970). *Barite: world production, reserves, and future prospects* (First Edition), Washington: Geological Survey Bulletin 1321,
28. Izhevskiy, V. A., Genova, L. A., Bressiani, J. C. and Bressiani, A. H. A. (2000). Silicon carbide: Structure, properties and processing. *Cerâmica*, 46, 4-13.
29. Ravindran, P., Manisekar, K., Narayanasamy, R. and Narayanasamy, P. (2013). Tribological behaviour of powder metallurgy-processed aluminium hybrid composites with the addition of graphite solid lubricant. *Ceramics International*, 39(2), 1169-1182.

30. Gupta, M. and Sharon, N. M. L. (2010). *Fundamentals of metal matrix composites. magnesium, magnesium alloys, and magnesium composites*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 87-111.
31. Fridlyander, J. (2012). *Metal matrix composites*. Moscow: Springer Science & Business Media, 1-293.
32. Karakoç, H. (2017). *TM Yöntemi ile B₄C takviyeli AA6061 metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi, mekanik özelliklerinin ve balistik performanslarının incelenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, 15-19.
33. İnternet: Toz metal (t.y). Web:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2FVikipedi%2C+http%3A%2F%2Ftr.wikipedia.org%2Fwiki%2FToz_metal&date=2017-02-11,
 Son Erişim Tarihi: 17.10.2023.
34. 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.
35. İnternet: Toz powdermet (t.y). Web:
<http://www.webcitation.org/queryurl=http%3A%2F%2Frahmiunal.net%2Ftoz%2Fpowdermet.html&date=2017-02-12>,
 Son Erişim Tarihi: 17.10.2023
36. Tomac, N., Tannessen, K. and Rasch, F. O. (1992). Machinability of particulate aluminium matrix composites. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 41(1), 55-58.
37. German, R. M. (2007). *Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri*. Ankara: Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları, 574-576
38. Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M. ve Altunpak, Y. (2012). *Üretim yöntemleri ve imalat teknolojileri*. Ankara: Seçkin Yayınevi, 205-248.
39. Angelo, P. C., and Subramanian, R. (2008). Powder metallurgy: science. *Technology and Applications*, 19, 22-32.
40. Özkara, B. (2022). *Polimer ve oksit ara yüzey tabakalı yapıların elektriksel özelliklerinin radyasyona bağlı incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 17-23.
41. Lamarch, J. R. (1977). *Introduction to nuclear engineering*. Boston: Addisin-Wesley Publishing Company, 102-274.
42. 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, Denizli, 42-56.
43. Gedikoğlu, A. (1988). *Çekirdek fiziğine giriş*, Trabzon: KTÜ Basımevi, 36-38.
44. Köklü, N. (2006). *Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkisi ve tıpta kullanım alanları*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 78-80.

45. Kaplan, I. (1964). *Nuclear physics* (Second Edition). London: Addison- Wesley Publusing Company, 416-417.
46. İnternet: TAEK (2010). Web: <http://www.taek.gov.tr/>. Son Erişim Tarihi: 22.10.2023
47. Choppin, G., Liljenzin, J., Rydberg, J. and Ekbert C. (2013). *Radiochemistry and nuclear chemistry*. Amsterdam: Elsevier, 12-18.
48. 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.
49. Wanasinghe, D., and Aslani, F. (2019). A review on recent advancement of electromagnetic interference shielding novel metallic materials and processes. *Composites Part B: Engineering*, 176, 107207.
50. Mert, Ö. (2023). *Sıcak presleme yöntemiyle üretilmiş AZ91 matrisli parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik ve radyoaktif özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 39-40.
51. Gökmen, U., Eslam Jamal Golzari, L., Gürgen Avşar, S., Özkan, Z. ve Bilge Ocak, S. (2023). Microstructural and radioactive shielding analyses of alumix-231 and alumix-231 reinforced with B4C/SiC/Al2O3 particles produced through hot pressing. *ACS Omega*, 8(39), 35755-35767.



EK-1. Tasarlanan kompozit numunelerin X ışınlarına karşı PSD verileri

Çizelge 1.1. Tasarlanan kompozit numunelerin X ışınlarına karşı PSD verileri

Enerji (MeV)		LAC (1/cm)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,00891	60,16049918	62,85007539	65,40961501	144,0230997	201,6584034
	0,01744	10,08595562	10,39957013	10,63669265	24,13621551	33,70211707
	1	0,118028633	0,122550055	0,127048624	0,120408051	0,127836088
	15	0,041292504	0,042773374	0,044224115	0,05120651	0,059641223
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,00891	246,8248152	107,7766514	147,6171465	181,354525	57,71333175
	0,01744	41,17778626	18,06557084	24,63103642	30,16121225	9,818736884
	1	0,135493751	0,119041015	0,124878442	0,130695466	0,113504377
	15	0,066787974	0,046819503	0,052811104	0,058135521	0,039823426

Enerji (MeV)		MAC (1/cm)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,00891	32,00026552	32,23080789	32,38901461	74,08595663	97,04446745
	0,01744	5,364870011	5,333112887	5,266993141	12,41574872	16,21853565
	1	0,062781188	0,062846182	0,06291093	0,061938298	0,06151881
	15	0,021964098	0,021935064	0,021898547	0,026340797	0,028701262
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,00891	111,5844553	56,3980384	73,29550473	85,74682033	31,88581865
	0,01744	18,61563574	9,453464597	12,22990885	14,26062045	5,424716511
	1	0,061253956	0,062292525	0,062005184	0,061794547	0,0627096
	15	0,030193478	0,024500002	0,026221998	0,027487244	0,022001893

Enerji (MeV)		HVL (cm)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,00891	0,011521633	0,011028582	0,010597023	0,00481275	0,003437234
	0,01744	0,068723997	0,066651522	0,065165668	0,028718139	0,020566874
	1	5,872703613	5,656033229	5,455762997	5,756651459	5,422155777
	15	16,78627157	16,20510869	15,67351155	13,53630968	11,62194789
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,00891	0,002808256	0,00643133	0,004695574	0,003822056	0,012010174
	0,01744	0,016833037	0,038368407	0,02814121	0,02298141	0,070594333
	1	5,115713263	5,82275932	5,550575198	5,303528892	6,106788125
	15	10,37832315	14,80466767	13,12502739	11,92295457	17,40551347

Enerji (MeV)		TVL (cm)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,00891	0,038274036	0,036636155	0,035202548	0,01598761	0,011418245
	0,01744	0,228296175	0,221411565	0,216475663	0,095399591	0,068321675
	1	19,50869913	18,78893569	18,12365238	19,12318221	18,01201161
	15	55,76278714	53,83220585	52,06627838	44,96664743	38,6072752
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,00891	0,009328823	0,021364415	0,015598358	0,012696596	0,039896936
	0,01744	0,055918137	0,12745709	0,093483078	0,076342591	0,234509298
	1	16,99403162	19,34278778	18,43861169	17,61794163	20,28631104
	15	34,47604326	49,18004147	43,60039725	39,60719775	57,8198642

EK-1. (devam) Tasarlanan kompozit numunelerin X ışınlarına karşı PSD verileri

Çizelge 1.1. (devam) Tasarlanan kompozit numunelerin X ışınlarına karşı PSD verileri

Enerji (MeV)		MFP (cm)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,00891	0,016622203	0,01591088	0,015288272	0,006943331	0,004958881
	0,01744	0,099147769	0,096157821	0,094014186	0,041431516	0,029671726
	1	8,47252038	8,15993109	7,87100222	8,305092512	7,822517251
	15	24,21747075	23,37902995	22,61209739	19,52876685	16,76692658
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,00891	0,004051456	0,009278447	0,006774281	0,005514061	0,017327019
	0,01744	0,024284938	0,055353911	0,040599185	0,033155166	0,101846094
	1	7,380414156	8,400465996	8,007787313	7,651374831	8,810232944
	15	14,97275535	21,35862063	18,93541193	17,20118743	25,11084797

Enerji (MeV)		Ceff (S/m)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,00891	423253212,4	449387412,5	475244497,5	774514849,1	945735625,7
	0,01744	469557073,7	494204367,3	517063033,9	831358796,7	1000181407
	1	402343178,6	417774324,8	433129211,1	408578002,7	432482901,8
	15	408082168,7	425830515,8	443358644,2	482609799,8	548075882,1
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,00891	1060151902	649192237,4	810271285,2	929659849	398167003,1
	0,01744	1112416970	705748240,9	869064711,4	989035848,6	445919568,6
	1	457405532,5	404783676,5	423839697,3	442923771,2	386900667,3
	15	602985205,1	450781680,9	501641474,2	546413369,3	390349196,3

Enerji (MeV)		Zeff				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,00891	12,68570718	12,76259661	12,81683355	25,94757253	31,96825347
	0,01744	14,07352234	14,03539754	13,94463455	27,85194203	33,80865842
	1	12,05899353	11,86478533	11,68102952	13,68806211	14,61901471
	15	12,23100202	12,09358105	11,95690634	16,16825397	18,52634948
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,00891	35,42009242	20,76493543	25,72955088	29,09650615	12,63543461
	0,01744	37,16628892	22,57392465	27,5964916	30,95485696	14,15081488
	1	15,28209892	12,94733119	13,45870853	13,862634	12,27790863
	15	20,1459731	14,41861433	15,92924502	17,1016528	12,38734427

EK-2. Tasarlanan kompozit numunelerin gama ışınlarına karşı PSD verileri

Çizelge 2.1. Tasarlanan kompozit numunelerin gama ışınlarına karşı PSD verileri

Enerji (MeV)		LAC (1/cm)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,001	2023,320	2209,328	2381,076	5572,994	8043,752
	0,01	0,332	0,344	0,355	1,103	1,621
	1	0,118	0,123	0,127	0,120	0,128
	15	0,041	0,043	0,044	0,051	0,060
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,001	9963,262	4040,142	5775,515	7231,932	1848,094
	0,01	2,024	0,770	1,126	1,425	0,320
	1	0,135	0,119	0,125	0,131	0,114
	15	0,067	0,047	0,053	0,058	0,040

Enerji (MeV)		MAC (1/cm)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,001	1076,234	1132,989	1179,042	2866,767	3870,910
	0,01	26,596	26,473	26,199	56,887	73,230
	1	0,063	0,063	0,063	0,062	0,062
	15	0,022	0,022	0,022	0,026	0,029
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,001	4504,187	2114,151	2867,684	3419,353	1021,046
	0,01	83,531	44,161	56,097	64,827	26,842
	1	0,061	0,062	0,062	0,062	0,063
	15	0,030	0,025	0,026	0,027	0,022

Enerji (MeV)		HVL (cm)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,01	2,090	2,016	1,951	0,628	0,428
	1	5,873	5,656	5,456	5,757	5,422
	15	16,786	16,205	15,674	13,536	11,622
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,01	0,343	0,900	0,616	0,486	2,167
	1	5,116	5,823	5,551	5,304	6,107
	15	10,378	14,805	13,125	11,923	17,406

Enerji (MeV)		TVL (cm)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
	0,01	6,942	6,698	6,481	2,087	1,420
	1	19,509	18,789	18,124	19,123	18,012
	15	55,763	53,832	52,066	44,967	38,607
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
	0,01	1,138	2,990	2,046	1,616	7,199
	1	16,994	19,343	18,439	17,618	20,286
	15	34,476	49,180	43,600	39,607	57,820

EK-2. (devam) Tasarlanan kompozit numunelerin gama ışınlarına karşı PSD verileri

Çizelge 2.1. (devam) Tasarlanan kompozit numunelerin gama ışınlarına karşı PSD verileri

Enerji (MeV)		MFP (cm)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,01	0,020	0,019	0,019	0,009	0,007
	1	8,473	8,160	7,871	8,305	7,823
	15	24,217	23,379	22,612	19,529	16,767
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
	0,01	0,005	0,012	0,009	0,007	0,021
	1	7,380	8,400	8,008	7,651	8,810
	15	14,973	21,359	18,935	17,201	25,111

Enerji (MeV)		Ceff (S/m)				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,001	4,07E+08	4,14E+08	4,21E+08	6,03E+08	6,52E+08
	0,01	4,14E+08	4,30E+08	4,47E+08	8,77E+08	1,04E+09
	1	4,02E+08	4,18E+08	4,33E+08	4,09E+08	4,32E+08
	15	4,08E+08	4,26E+08	4,43E+08	4,83E+08	5,48E+08
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,001	6,85E+08	5,54E+08	6,16E+08	6,56E+08	4,03E+08
	0,01	1,14E+09	7,34E+08	9,09E+08	1,03E+09	3,98E+08
	1	4,57E+08	4,05E+08	4,24E+08	4,43E+08	3,87E+08
	15	6,03E+08	4,51E+08	5,02E+08	5,46E+08	3,90E+08

Enerji (MeV)		Zeff				
		S1	S2	S3	S4	S5
	0,001	12,19	11,76	11,36	20,21	22,04
	0,01	13,83	13,81	13,75	26,45	32,29
	1	12,06	11,86	11,68	13,69	14,62
	15	12,23	12,09	11,96	16,17	18,53
		S6	S7	S8	S9	S10
	0,001	22,88	17,72	19,57	20,54	12,79
	0,01	35,69	21,48	26,23	29,49	13,87
	1	15,28	12,95	13,46	13,86	12,28
	15	20,15	14,42	15,93	17,10	12,39



Gazili olmak ayrıcalıktır...