



**SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ AA2024 ESASLI TiO₂ VE
ZrO₂ TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE YAPISAL
KARAKTERİZASYONU**

Ayşenur PEKTAŞ

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2022

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.

İmza

Ayşenur PEKTAŞ

...../...../.....

SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ AA2024 ESASLI TiO_2 VE ZrO_2
TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE YAPISAL

KARAKTERİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Ayşenur PEKTAŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2022

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında özellikle savunma sanayisine yönelik düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet özelliklerini bir arada taşıyan malzeme üretebilmek için ağırlıkça farklı oranlara (%5-10-15) sahip TiO_2 ve ZrO_2 parçacık takviyeli alüminyum metal matris hibrit/kompozit numuneler sıcak pres kullanılarak üretilmişlerdir. Toz metalurji yöntemi ile üretilen numuneler üzerinde çeşitli mekanik testler uygulanmıştır. Homojen bir karışım elde edebilmek için takviye elemanlar ve matris malzeme turbula üç boyutlu karıştırma cihazında 30 dk boyunca karıştırıldıktan sonra 400 MPa yük altında tek eksenli hidrolik pres ile ön presleme işlemi yapılmıştır daha sonra kalıp 600 °C'de 1 saat ısıtıldıktan sonra tekrar tek eksenli hidrolik preste 800 MPa basınca maruz bırakılarak preslenmiştir. Numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için yoğunluk ölçümleri, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS analizi, çapraz kırılma testi ve brinell sertlik testleri uygulanmıştır. Deneysel test süreci sonunda numuneler üzerinden takviye oranının üretilen hibrit/kompozit malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Hibrit/kompozit numunelerin radyasyon geçirgenlik özellikleri teorik olarak Phy-X programı aracılığı ile hesaplanmış ve tüm deney ve test süreçlerinden elde edilen sonuçlar tez çalışması kapsamında değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre gama radyasyonuna karşı en iyi zırh özelliklerini %10 ZrO_2 takviyeli kompozit numunelerin sergilediği tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 20213

Anahtar Kelimeler : AA2024, toz metalurjisi, metal matrisli kompozit malzemeler, radyasyon zırhlama

Sayfa Adedi : 79

Danışman : Doç. Dr. Uğur GÖKMEN

PRODUCTION AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF AA2024 BASED
TiO₂ AND ZrO₂ REINFORCED HYBRID COMPOSITES MANUFACTURED BY HOT
PRESSING METHOD

(M. Sc. Thesis)

Ayşenur PEKTAŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2022

ABSTRACT

Within the scope of this thesis, aluminum metal matrix composite/hybrid samples reinforced with TiO₂ and ZrO₂ particles with different weight ratios (5-10-15%) were produced using a hot press to make materials with low density and high strength properties, especially for the defense industry. Various mechanical tests were applied to the samples produced by the powder metallurgy method. To obtain a homogeneous mixture, the reinforcement elements and the matrix material were mixed in the turbula three-dimensional mixing device for 30 minutes, and then pre-pressing was performed with a uniaxial hydraulic press under 400 MPa load. After it is heated at 600 °C for an hour it was pressed by exposing it to 800 MPa pressure in the press. To determine the microstructure and mechanical properties of the samples, density measurements, an optical microscope, scanning electron microscope (SEM), EDS analysis, cross fracture test, and Brinell hardness tests were applied. At the end of the experimental test process, the effect of the reinforcement ratio on the samples on the microstructure and mechanical properties of the hybrid/composite materials produced was tried to be determined. The radiation permeability properties of hybrid/composite samples were calculated theoretically through the Phy-X program and the results obtained from all experimental and test processes were evaluated within the scope of the thesis study. According to the results obtained, it was determined that 10% ZrO₂-reinforced composite samples exhibited the best armor properties against gamma radiation.

Science Code : 20213

Key Words : AA2024, powder metallurgy, metal matrix composites, radiation shielding

Page Number : 79

Supervisor : Assos. Prof. Dr. Uğur GÖKMEN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca, deneyimlerini ve bilgilerini benimle paylaşan yol gösterici danışman hocam Doç. Dr. Uğur GÖKMEN'e, radyasyon konusundaki bilgi ve deneyimlerini paylaşan Prof. Dr. Sema Bilge Ocak'a saygı ve şükranlarımı sunarım. Deneysel çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemedi her daim yardımcı olan Öğr. Gör. Ömer ŞAHİN, Yüksek makine mühendisi Zübeyde ÖZKAN ve Okan Can EBETÜRK'e, Gazi Üniversitesi'nin bana kazandırdığı kıymetli dostlarım Zübeyde, Tuğba ve Sevgi'ye teşekkür ederim. Hayatımın her anında bana destek olan canım arkadaşlarım Büşra ve Ebru'ya, bu süreçte hep yanımda olan desteklerini ve sevgilerini esirgemedi fedakarlıktan kaçınmayan sevgili aileme teşekkür, sevgi ve saygılarımı iletirim.

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. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	7
2.1. Kompozit Malzemeler.....	7
2.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler.....	10
2.2.1. Alüminyum matrisli kompozitler	11
2.3. Metal Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri.....	14
2.3.1. Toz metalurjisi	15
2.4. Radyasyon.....	16
2.4.1. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon	17
2.4.2. Gama ışınlarının soğurulması	20
2.4.3. Radyasyondan korunma yöntemleri.....	24
2.4.4. Radyasyon parametreleri.....	25
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	29
3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	30

	Sayfa
3.2. Kompozit Malzeme Üretimi	31
3.2.1. Tozların karıştırılması	31
3.2.2. Tozların preslenmesi	32
3.3. Malzeme Karakterizasyonu	33
3.3.1. Numunelerin yoğunluk ölçümleri	34
3.3.2. Metalografik İşlemler	35
3.3.3. Zımparalama, parlatma ve dağlama işlemi	36
3.3.4. Mikroyapı incelemeleri	36
3.3.5. Mekanik testler	37
3.3.6. Teorik radyasyon geçirgenlik ölçümleri	38
4. DENEYSEL VE TEORİK BULGULAR.....	39
4.1. Yoğunluk Ölçümleri	39
4.2. Çapraz Kırılma Test Sonuçları	41
4.3. Brinell Sertlik Ölçüm Sonuçları	42
4.4. Optik Mikroskop Görüntü Sonuçları.....	43
4.5. SEM ve EDS Analizleri.....	47
4.6. Radyasyon Geçirgenlik Test Sonuçları	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
5.1. Sonuçlar.....	69
5.2. Öneriler	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları	7
Çizelge 2.2. Metal matris kompozitlerin avantaj ve dezavantajları	10
Çizelge 2.3. Saf alüminyuma ait fiziksel özellikler	12
Çizelge 2.4. Alüminyum alaşım serileri ve özellikleri.....	12
Çizelge 2.5. Al 2XXX serisi temel özellikleri	13
Çizelge 2.6. AA2024 alaşımın kimyasal kompozisyonu	14
Çizelge 2.7. Metal matris kompozit malzemelerin üretim yöntemleri.....	15
Çizelge 2.8. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon türleri	17
Çizelge 3.1. AA2024 alaşımına ait kimyasal kompozisyon	31
Çizelge 3.2. Matris malzemesi ve takviye elemanlarının fiziksel özellikleri	31
Çizelge 3.3. Kullanılan toz karışım oranları	32

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Takviye ve matris elemanına göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması	9
Şekil 2.2. Radyasyondan korunma prensipleri	25
Şekil 2.3. Gama ışınının dx kalınlığındaki madde üzerinden geçerken soğurulması.....	26
Şekil 3.1. Numune Üretim Süreci ve Deneysel Çalışmalar	29
Şekil 3.2. Toz malzemelerin boyut dağılım grafikleri a) AA2024 b) TiO ₂ c) ZrO ₂	30
Şekil 4.1. Numunelerin teorik ve Arşimet prensibi ile ölçülmüş yoğunluklarının kıyaslanması	40
Şekil 4.2. Üretilen numunelerin çapraz kırılma dayanım sonuçları.....	41
Şekil 4.3. Brinell Sertlik ölçüm sonuçları	43
Şekil 4.4. %5, %10 ve %15 oranlarında TiO ₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin doğrusal zayıflatma katsayıları.....	57
Şekil 4.5. %5, %10 ve %15 oranlarında ZrO ₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin doğrusal zayıflatma katsayıları.....	58
Şekil 4.6. %5, %10 ve %15 oranlarında hibrit takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin doğrusal zayıflatma katsayıları.....	59
Şekil 4.7. %5, %10 ve %15 oranlarında TiO ₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin kütle zayıflatma katsayıları.....	60
Şekil 4.8. %5, %10 ve %15 oranlarında ZrO ₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin kütle zayıflatma katsayıları.....	60
Şekil 4.9. %5, %10 ve %15 oranlarında hibrit takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin kütle zayıflatma katsayıları.....	61
Şekil 4.10. %5, %10 ve %15 oranlarında TiO ₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin yarı değer kalınlıkları	62
Şekil 4.11. %5, %10 ve %15 oranlarında ZrO ₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin yarı değer kalınlıkları	62
Şekil 4.12. %5, %10 ve %15 oranlarında hibrit takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin yarı değer kalınlıkları	63

Şekil	Sayfa
Şekil 4.13. %5, %10 ve %15 oranlarında TiO_2 takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin onuncu değer kalınlıkları	64
Şekil 4.14. %5, %10 ve %15 oranlarında ZrO_2 takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin onuncu değer kalınlıkları	65
Şekil 4.15. %5, %10 ve %15 oranlarında hibrit takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin onuncu değer kalınlıkları	65
Şekil 4.16. %5, %10 ve %15 oranlarında TiO_2 takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin serbest yol mesafesi	66
Şekil 4.17. %5, %10 ve %15 oranlarında ZrO_2 takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin serbest yol mesafesi	67
Şekil 4.18. %5, %10 ve %15 oranlarında hibrit takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin serbest yol mesafesi	67

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Kompozit malzeme üretiminde ara faz oluşumu.....	8
Resim 2.2. Metal matris kompozitlerde takviye tipleri	11
Resim 2.3. Toz metalurjisi yöntemiyle metal matris kompozit malzeme üretimi	16
Resim 2.4. Alfa Bozunumu.....	18
Resim 2.5. Radyum Çekirdeği Beta Parçacık Bozunumu	19
Resim 2.6. Plütonyum Çekirdeğinin Gama Işınması.....	19
Resim 2.7. Alfa, beta ve gama ışınımının kâğıt, alüminyum levha ve kurşun levha üzerinde yayınımları.....	20
Resim 2.8. Fotoelektrik Olay şematik gösterimi	22
Resim 2.9. Compton Saçılması Şematik gösterimi.....	23
Resim 2.10. Çift Oluşumu Şematik gösterimi	23
Resim 3.1. Tek yönlü pres cihazı içerisinde numunelerin preslenmesi	33
Resim 3.2. Protherm marka sinterleme fırın.....	33
Resim 3.3. Test işlemlerine hazır numuneler.....	34
Resim 3.4. Sartorius marka yoğunluk ölçüm terazisi	35
Resim 3.5. Bakalit cihazı ve Numunelerin bakalit alınmış hali	35
Resim 3.6. Leika DM 4000M Marka optik mikroskop	36
Resim 3.7. a) Çapraz kırılma test düzeneği b) Brinell sertlik ölçüm cihazı	37
Resim 4.1. Takviye elemanı dahil edilmemiş AA2024 alaşımına ait optik görüntüler.....	44
Resim 4.2. TiO ₂ katkılı numunelere ait optik görüntüler a) %5 TiO ₂ katkılı AA2024 b) %10 TiO ₂ katkılı AA2024 c) %15 TiO ₂ katkılı AA2024	44
Resim 4.3. ZrO ₂ katkılı numunelere ait optik görüntüler a) %5 ZrO ₂ katkılı AA2024 b) %10 ZrO ₂ katkılı AA2024 c) %15 ZrO ₂ katkılı AA2024.....	45

Resim	Sayfa
Resim 4.4. Hibrit katkılı numunelere ait optik görüntüler a) %5 Hibrit katkılı AA2024 b) %10 Hibrit katkılı AA2024 c) %15 Hibrit katkılı AA2024	46
Resim 4.5. X500 oranında incelenen takviye elemanı içermeyen AA2024 alaşımın SEM görüntüleri	47
Resim 4.6. X500 oranında incelenen TiO_2 takviye elemanı içeren MMK'lerin SEM görüntüleri a) %5 TiO_2 takviye elemanı içeren numune b) %10 TiO_2 takviye elemanı içeren numune c) %15 TiO_2 takviye elemanı içeren numune	48
Resim 4.7. X500 oranında incelenen ZrO_2 takviye elemanı içeren MMK'lerin SEM görüntüleri a) %5 ZrO_2 takviye elemanı içeren numune b) %10 ZrO_2 takviye elemanı içeren numune c) %15 ZrO_2 takviye elemanı içeren numune.....	49
Resim 4.8. X500 oranında incelenen hibrit takviye elemanı içeren MMK'lerin SEM görüntüleri a) %5 hibrit takviye elemanı içeren numune b) %10 hibrit takviye elemanı içeren numune	50
Resim 4.9. X500 oranında incelenen %15 hibrit takviye elemanı içeren numuneye ait SEM görüntüleri.....	50
Resim 4.10. Takviye elemanı içermeyen AA2024 alaşım numunenin elementel incelenmeleri	52
Resim 4.11. AA2024 alaşımının element içeriğinin detaylı görseli	52
Resim 4.12. %10 TiO_2 katkılı metal matris kompozit numuneye ait EDS görüntüsü....	53
Resim 4.13. %10 ZrO_2 katkılı metal matris kompozit numuneye ait EDS görüntüsü ...	54
Resim 4.14. %10 Hibrit katkılı metal matris kompozit numuneye ait EDS görüntüsü	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
AA	Alüminyum Alaşım
cm	Santimetre
d	Yoğunluk
HB	Brinell Sertlik
MeV	Mega Elektrovolt
MPa	Megapaskal
TiO₂	Titanyum dioksit
Z_{eff}	Etkili atom numarası
ZrO₂	Zirkonyum dioksit
°C	Santigrat derece
μ	Zayıflatma Katsayısı
μm	Mikrometre
λ	Ortalama Serbest Yol

Kısaltmalar	Açıklamalar
HVL	Yarı Değer Kalınlığı
LAC	Doğrusal Zayıflatma Katsayısı
MAC	Kütle Zayıflatma Katsayısı
MMC	Metal Matrisli Kompozitler
MFP	Serbest Ortalama Yol
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TM	Toz Metalurjisi
TRS	Çapraz Kırılma Dayanımı
TVL	Onuncu Değer Kalınlığı

1. GİRİŞ

Gelişen sanayi sektörü ile artan ve farklılaşan malzeme ihtiyacına bağlı olarak geleneksel malzemeler tüm ihtiyaçlara cevap veremez duruma gelmiştir. Bu sebeple 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren kompozit malzeme üretimi ve bu malzemelerin özelliklerini geliştirmek üzere yapılan çalışmalar artarak devam etmektedir. Özellikle mühendislik temelli havacılık, uzay, otomotiv ve çeşitli sanayi alanlarında kompozit malzeme kullanımı yaygındır. Metal matrisli kompozit malzemeler ise var olan malzemelerden ayrı olarak yüksek mukavemet, yüksek ısı dayanımı ve düşük yoğunluk gibi temel ayrıcalıklı özellikleri sayesinde sektörde baskın kullanım alanı bulmaktadır [1].

Kompozit ve kompleks malzemeler başta olmak üzere malzeme üretiminde yaygın kullanılan yöntem Toz Metalurjisi yöntemidir. Çoğu üretim yöntemine kıyasla geliştirilmesi kolay ve hızlı olan bu üretim metodunun avantajları sayesinde birçok farklı sanayi alanı için tercih edilen üretim yöntemidir. Temelde toz metalurjisi metal ve seramik tozların belirlenen kalıplarda şekillendirilmesi anında veya sonrasında ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta sinterlenmesi sürecidir. Toz metalurjisi diğer yöntemlere göre enerji tasarrufu ve ürün elde etme sürecinde daha avantajlı bir yöntemdir. Bu metod ile üretim hızı yüksektir ve kompleks parça üretimi diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Aynı zamanda mikroyapı kontrolü diğer yöntemler göz önüne bulundurulduğunda çok daha kolaydır. Tüm bu avantajlar sayesinde metal matris kompozit üretimi toz metalurjisi yöntemi ile hız kazanmıştır [2].

Metal matrisli kompozit malzemeler metal veya alaşım içeren bir matris ve yapısına göre sınıflandırılmış takviye elemanlarının bir araya gelerek daha avantajlı özellikler sağlaması amacıyla üretilir. Matris ve takviye elemanın makro düzeyde karışımı sağlanarak üretim süreci başlar. Takviye elemanı birden fazla malzemeden oluşabilir. Bu MMK'ler hibrit malzeme olarak literatür de yer alır. MMK'ler malzemelerin bir araya gelmesiyle mikro yapısal olarak daha iyi özellikler sunar. Parçacık takviyeli metal matris kompozitler için yapı özelliklerinin iyileştirilmesi matris malzemesinin yapısına, parçacıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerine, aynı zamanda dağılımına boyutuna, şekline ve matris ile takviye elemanı bileşenleri arasındaki arayüz davranışına bağlıdır. Değişkenlere bağlı olarak elde edilen optimum metal matrisli kompozit malzeme endüstriyel ihtiyaçları karşılayabilir [3].

Hava ve uzay araçları ve içerisinde bulunan canlılar, elektronik sistemler, yeryüzünde yaşayan canlılar ve çeşitli araçlar ile kıyaslandığında daha fazla radyasyona maruz kalırlar. Maruz kalınan radyasyon dozunu azaltmak amacıyla günümüzde birçok çalışma yapılmaktadır. Gama ışınına karşı koruyucu malzemeleri geliştirmek üzere yeni çok işlevli kompozitlerin geliştirilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir. Gama ışınları, endüstri, tıp ve tarım başta olmak üzere yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzay ortamında maruz kalınan gama ışınları ise özellikle uzun süreli görevlerde bir tehdit unsuru oluşturmaktadır. Bu sebeple gama radyasyonunun malzeme ile etkileşimi önemlidir [4].

Doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri olarak tanımlanan radyasyon, temelde “iyonlaştırıcı” ve “iyonlaştırıcı olmayan” olarak iki kısımda incelenir. İyonlaştırıcı radyasyon, bir atomun yörüngesinden elektron kopararak atomun yüklü veya iyonize olmasına neden olacak düzeyde yeterli enerji taşıyan radyasyon olarak tanımlanır [5]. İyonize radyasyon kaynakları alfa, beta, gama ışınları, X- ışınları, müyonlar, mezonlar, pozitronlar ve kozmik ışın kaynaklarıdır. İyonize olmayan radyasyon kaynakları ise mor ötesi, görünür ışık, kızıl ötesi ışınlar, mikrodalga ışınlar, radyo frekansları olarak tanımlanabilir.

Henriques ve çalışma arkadaşları gelişmiş havacılık sistemleri için titanyum alaşımların toz metalurjisi yöntemiyle üretilmesi hususunu ele almıştır. Bu çalışma kapsamında Ti-6Al-4V ve Ti-13Nb-13Zr alaşımları soğuk izostatik pres ve 900-1500 °C vakum altında sinterlenerek üretilmişlerdir. Mikroyapı incelemeleri tamamlandığında elde edilen sonuçlara göre titanyum matrisli alaşımın sinterleme sıcaklığı düşük gözeneklilik ve kontaminasyon ile homojen mikroyapı sağladığını tespit etmişlerdir. Toz metalurjisi kullanılarak üretilen Ti-6Al-4V numuneler mikroyapısal özellikler ve sertlik değerleri açısından geleneksel yöntemle üretilen alaşım değerlerine yakın bir değer aldığını bulmuşlardır. Bu sebeple toz metalurjisinin havacılıkta düşük maliyetli bir alternatif olabileceği tespit etmişlerdir. Ti-13Nb-13Zr alaşımının ise sinterleme işlemi ile elde ettiği mikroyapısal gelişim numunelerin şok ve patlama gibi askeri havacılık uygulamalarına karşı dayanıklılık gösterdiğini saptamışlardır. Toz metalurjisi yöntemi bu araştırmada havacılık uygulamalarında avantajlı bir kullanım sunmaktadır [6].

Gökmen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada alüminyum oksit (Al_2O_3), bor karbür (B_4C) partikülleri ile güçlendirilmiş AA7039 alüminyum alaşımının sertliği, çapraz kırılma testi (TRS) ve uzama davranışını, ortaya çıkan kompozitlerin mekanik ve delme özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada AA7039 ve ağırlıkça %10 Al_2O_3 , %10 B_4C ve %10 SiC oranında takviye elemanı kullanılmış AA7039 metal matris kompozit numuneler, toz metalurjisi ve sıcak ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Sonuçta, Al_2O_3 , B_4C ve SiC takviye elemanlarının matris yapısında eşit dağılım gösterdiğini ve matris ile takviye elemanları arasında ara yüzey bağının iyi bir şekilde sağlandığını ortaya koymuşlardır. Ağırlıkça %10 Al_2O_3 takviye elemanı içeren AA7039 kompozit numune, kompozit numuneler arasında en yüksek sertlik, eğilme mukavemeti ve uzama sergilemiştir. Kırılma yüzeyi analizi, AA7039/ B_4C ve AA7039/SiC'nin kırılma yüzeyinde çatlaklar ortaya çıkartmış; bu çatlaklar parçacık-matris arayüzleri boyunca yayılmıştır. Al_2O_3 ile takviye edilmiş kompozit, B_4C ve SiC takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldığında daha iyi ara yüzey bağlanması olduğunu saptamışlardır [7].

Vasanthakumar ve arkadaşları alüminyum alaşım metal matris kompozitlerin havacılık ve uzay uygulamalarında toz metalurjisi yöntemiyle kullanımını incelemişlerdir. Alüminyum alaşım olarak AA 7075 serisini kullanan Vasanthakumar, toz alüminyum alaşımı XRD yöntemiyle kristalografisini incelenmiş ve SiC ve grafit toz parçacıkları ile karışıma almıştır. Sıcak presleme yöntemi ile numunelerin üretimini tamamladıktan sonra test aşamasına geçtiklerinde elde ettikleri sonuçlara göre SiC'in kompozit içerisindeki oranının artması düşük sıkıştırılabilirlik özelliğinden dolayı numunelerde gözenekliliğe sebep olmuştur. Grafit'in kompozit malzemeye dahil edilme oranı arttığında ise numune gözeneklilik oranında azalma gözlemlenmiştir. SiC'in dahil edilmesiyle tane boyutunda azalma meydana gelir ve bu sayede kompozitin çekme mukavemeti artar. Grafit ilavesi ise kompozitin çekme mukavemetinde azalma görülmüştür. SiC'in sertlik değerinin yüksek olması numunelerde sertliği artırmıştır. MMK numunelerde sönümlene kapasitesi grafit takviye oranına bağlıdır. SiC ilavesi ile aşınma direncinde artış görülmüştür. Bu durum sertlik değeri ile ilişkilendirilebilir. Grafit takviye oranındaki artış ise aşınma direncinde artışa sebep olmuştur [8].

Damghani ve arkadaşları fiber takviyeli kompozit malzemeler üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda malzemenin kullanım alanına bağlı olarak darbe dikkate alınarak tasarımın tamamlanması gerektiği sonucuna varmışlardır. Hibrit fiber takviye elemanının

malzeme içerisinde kullanılması birçok kompozit malzemeye kıyasla avantajlıdır. Karbon ve cam elyaf takviye elemanı kullanılarak üretilen polimer matrisli hibrit kompozit numunenin çalışma sonucunda enine darbe yükü karşısında olumlu iyileşmeler gösterdiği gözlemlenmiştir. 5 Joule'lük darbe enerjisi karşısında hibrit kompozitlerde yüksek gerinmeye yol açmış fakat darbe enerjisinin artırılmasıyla cam elyaf katmanların daha iyi gerilme mukavemeti gösterdiği tespit edilmiştir [9].

Gama ışınları karşısında radyasyon zırh özelliklerinin metal köpük ve dökme alüminyum arasında incelendiği araştırmada Xu ve çalışma arkadaşları 0.662, 1.173 ve 1.332 MeV foton enerjilerinde Co^{60} ve Cs^{137} radyoaktif izotopları karşısında malzeme soğuruculuk özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçlara göre metalik köpük tek başına dökme alüminyuma kıyasla daha az gama ışını zayıflatmış fakat suyla doldurulmuş köpüklerin kütle zayıflatma katsayıları döküm alüminyum numunelere kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Deney sonucunda ağırlık bakımından hafif malzeme gerektiren uygulama alanlarında metal köpük malzemelerin gama ışınına karşı koruyuculuğu için bir seçenek olabileceğini göstermektedir. Termal nötron deneyinde köpük içerisine su veya borik asit çözeltisi doldurulduğunda zayıflatma katsayısında iyileşme gözlemlenmiştir. Borik asit ile doldurulan metal köpük tüm numuneler arasından en yüksek zayıflatma katsayısına sahip numune olmuştur [10].

Kim ve arkadaşları nano visker dağılmış polimer kompozit malzemenin gama radyasyonu karşısındaki zırh özelliklerini incelemişlerdir. Nano numune herhangi bir kimyasal reaksiyon görmeden W parçacıklarının toz haline getirerek ve bilyalı öğütme işlemi ile polietilen kapsüllenmesi ile elde edilmiştir. Bu çalışmada, nano-W kompozitler ve mikro-W kompozitler kıyaslanmış ve nano-W kompozitlerin 0.3 MeV'de Ba-133 ışıması için %75'e kadar daha iyi gama ışın zayıflatması yaptığı gözlemlenmiştir. Elde ettikleri kompozit malzemelerin hafif radyasyondan koruyucu giysilerin geliştirilmesinde kullanılabileceğini tespit etmişlerdir [11].

Gökmen Inconel 718 ile güçlendirilmiş B_4C 'nin nötron ve gama ışını karşısında zırhlama özelliklerini incelemiştir. Yaptığı çalışmada ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve %25 oranında B_4C eklenerek elde edilen her bir kompozit numunenin ortalama serbest yol değeri, kütle ve doğrusal zayıflatma katsayıları, onuncu ve yarı değer kalınlıklarını incelemiştir. Çalışmaları sonucunda B_4C içeren numuneler arasından ağırlıkça en yüksek

B₄C malzemesi içeren numunelerin yüksek HVL, TVL ve MFP değerleri sunduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda Inconel 718 matrisinin kompozit içerisinde ağırlıkça fazla olmasına bağlı olarak zırhlama etkisinde bir iyileşme gözlemlenmiştir. Bu durum B₄C bileşiğinin atom numarasının Inconel süper alaşıma kıyasla daha düşük olması ile açıklamıştır. Çünkü gama ışını zayıflatma kapasitesi atom numarasındaki artış ile doğru orantılıdır. %25 oranında B₄C içeren kompozit numunelerde düşük etkili atom numarası (Z_{eff}) değeri gözlemlenmiş ve bu sebeple en yüksek hızlı nötron sökme tesir kesiti (FNRC) değeri bu kompozit numunelerde elde etmiştir. Bu durumda malzeme içerisinde B₄C bileşeni arttıkça nötron parçacıklarına karşı zırhlama özelliklerinin de arttığı tespit edilmiştir. Sonuçta, gama ışını ve nötron parçacıklarına karşı malzeme performanslarının iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışma tamamlamıştır [12].

Hızla gelişmekte olan havacılık ve uzay sanayisi ile doğru orantılı olarak daha gelişmiş ve elverişli malzeme ihtiyacı da artmaktadır. İhtiyaca yönelik malzemelerin üretilebilmesi için dolaylı olarak üretim teknikleri de gelişmektedir. Uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılan metal matrisli malzemelerin üretim yöntemlerinin oranlarına bakıldığında toz metalurjisi yönteminin sıvı metal üretim yöntemine kıyasla %57 oranında baskın olarak kullanıldığı görülmektedir [3]. Bunun yanı sıra havacılık ve uzay sanayisine yönelik araçlar ve çeşitli radyasyon maruziyeti bulunan araçlar için malzemenin hafif ve dayanıklı olmasının gerekliliği kadar radyasyondan korunma yeteneği de göz önünde bulundurulmuş bir özelliktir.

Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemi kullanılarak metal matrisli hibrit/kompozit numuneler üretilmiştir. Matris malzemesi olarak AA2024 alaşımı seçilmiş ve matrise eklenmek üzere seramik parçacık takviye elemanı olarak TiO₂ ve ZrO₂ parçacıkları tercih edilmiştir. Belirlenen oranlarda (%5, %10 ve %15) takviye elemanı içeren metal matrisli kompozit/hibrit numuneler tek yönlü preste sıcak pres yöntemi ile üretilmiştir. Farklı katkı oranlarında üretilen numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelendikten sonra radyasyon geçirgenlikleri Phy-X programı üzerinden teorik olarak incelenmiş ve yapısal karakterizasyon analizleri yapılmıştır.



2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, hızla gelişen sanayi, hizmet, eğlence ve benzeri sektörlerle yönelik ihtiyaçları karşılayabilmesi adına günden güne önem kazanmaktadır. Birden fazla aranan özelliğin tek malzeme ile karşılanabilmesi sayesinde özellikle havacılık ve uzay gibi hafif ve mukavemetli malzeme ihtiyacı olan sektörlerce öncelikli tercih edilen malzeme haline gelmiştir [1].

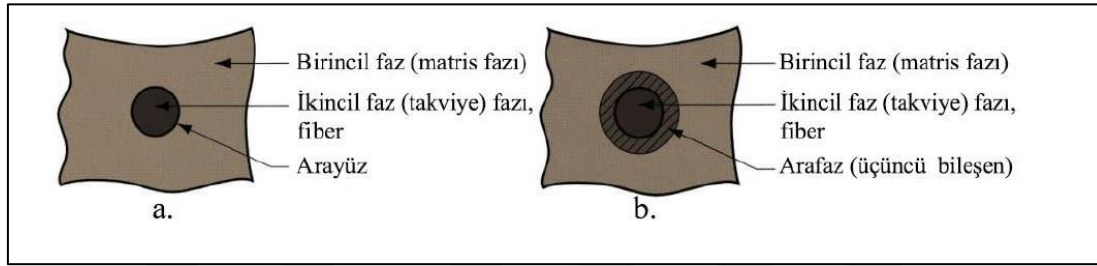
Kompozit malzemeler metal, plastik ve seramik gruplardan iki veya daha fazla bileşenin bir araya gelmesi sonucu oluşan yeni malzemeye denir. Oluşacak olan kompozit malzeme her bir malzemenin fiziksel ve mekanik olarak geliştirilmesi sonucu daha iyi özelliklere sahiptir. Kompozit malzemelerde takviye ve matris malzemeler arasında herhangi bir kimyasal değişim söz konusu değildir. Kompozit malzemeyi oluşturan her bir malzemenin özellikleri yeni oluşturulan malzemenin üretiminde hedeflenen farklı özellikleri bir araya getirir. Bu sayede daha iyi ve isteğe yönelik malzeme üretimi gerçekleşmiş olur. Kompozit malzemelerin diğer malzemelere kıyasla birçok avantajı bulunmaktadır. Çizelge 2.1’de kompozit malzemelerin başlıca avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları [1]

Avantajlar	Dezavantajlar
Yüksek Mukavemet	Fırınlanmadan Kullanılamaz
Kolay Şekillendirilebilme	Üretim Maliyeti Yüksektir
Elektriksel Özellikler	Standart Üretim Kalitesi Yoktur
Korozyon Direnci	Kolay Hasar Alma
Isıya Dayanıklılık	İmalat Süreci Zordur
Hafiflik	Hasar Tespit Süresi Uzunudur

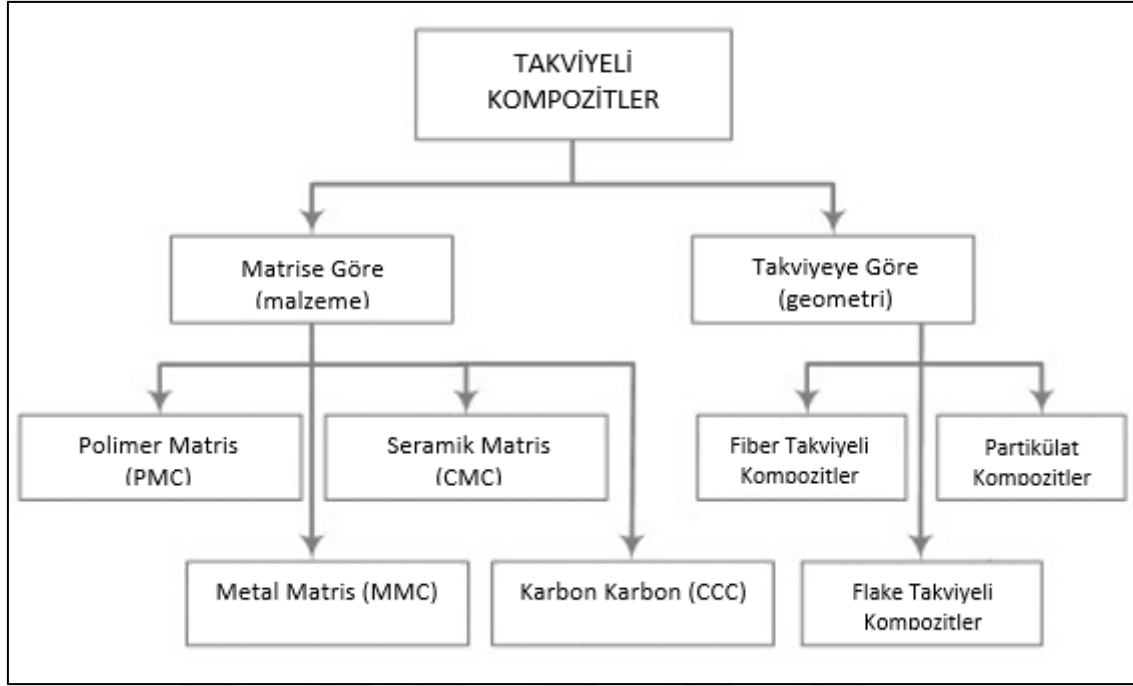
Kompozit malzemeler matris ve takviye elemanı içerecek şekilde üretilirler. Kompozit malzeme içerisindeki takviye elemanı genellikle malzemeye sertlik, rijitlik ve dayanım kazandırırken matris malzeme ise tokluk ve bağlayıcılık özelliklerini kazandırır. Bu süreçte

matrisin takviye elemanı ile uyumu önemlidir. Genellikle matrisin hafif ve korozyon direncine sahip olması gözetilerek malzeme seçimi gerçekleşir. Matrisin aşınma direnci sağlaması ile takviye elemanları bağlanır ve numunelerde şekil bütünlüğü sağlanır [13]. Resim 2.1’de matris ve takviye fazları gösterilmektedir. Matris ve takviye elemanının tane sınırlarında oluşan ara faz üretilen kompozitin mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilemektedir.



Resim 2.1. Kompozit malzeme üretiminde ara faz oluşumu [14]

Matris ve takviye elemanının sahip oldukları özelliklere, bileşenin oluşturduğu ara yüzeye bağlı olarak oluşan bağlı bileşime, takviye elemanının boyutuna, şekline ve matris içerisindeki dağılımına göre kompozit malzemenin özellikleri belirlenir. Takviye elemanı kısa fiber, sürekli fiber ve partikül olacak şekilde farklı boyutlarda matrise eklenebilir. Parçacık takviyeli kompozitler malzeme içerisinde homojen dağılıma oranı en yüksek kompozitlerdir. Bu sebeple diğer boyutlardaki takviye elemanlarına göre tercih edilirler. Aynı şekilde kompozitler matris yapısına göre seramik yapılı matris, polimer yapılı matris ve metal matrisler olarak sınıflandırılırlar. Şekil 2.1’de kompozit malzemelerin matris yapısına ve takviye elemanına göre sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.1. Takviye ve matris elemanına göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması [15]

Matris malzemesine göre kompozitlerin avantaj sağladıkları alanlar da değişiklik göstermektedir. Polimer matris kompozitlerin üretim süreci nispeten kolaydır. Korozyona ve aşınmaya karşı dirençli oldukları gibi gerilme kuvveti, çatlamaya ve kırılmaya karşı dayanıklılığı yüksektir. Polimer matris kompozitler için matris yapı bir reçine ve takviye elemanı olarak fiberler kullanılır. Üretim sürecinin nispeten kolay olması, malzemenin hafif ve korozyon direncine sahip olması gibi avantajları sayesinde birçok farklı alanda yaygın kullanım bulurlar. Kullanım alanı buldukları en önemli sektörler başlıca havacılık ve uzay sanayii ve medikal ekipman ürünlerdir [16].

Seramik matris kompozitler diğer matris malzemelerine göre daha kırılğan yapıdadır ve çatlamaya meyillidirler. Bu özelliklerinin giderilmesi için yine seramik malzemedan üretilen takviye elemanları matris içerisinde dağıtılır ve dispers tanecikler ile kırılma ilerlemesi yavaşlatılmış olur. Seramik matris kompozitler genelde yüksek sıcaklık, yüksek sertlik ve yüksek termal şok direncine sahiptirler. Korozyona karşı direnç gösteren seramik matris kompozitler enerji sektörü ve havacılık ve uzay sanayiinde yaygın kullanım alanı bulurlar [17].

Metal matris kompozitler ise hafiflik, yüksek sıcaklık ve yüksek mukavemet sağlayan yapısı ile birçok sektör için tercih edilen kompozitlerdendir. Metal matris kompozitlerin

düşük poroziteli yapıda olması ve yüksek mukavemet özellikleri sunması radyasyon etkileşimlerine karşı soğuruculuk özellikleri göstermeleri özellikle havacılık ve uzay sanayiinde kullanılmasına sebep olmuştur. Matris malzeme aralığı geniş olan metal matris kompozitler, alüminyum, magnezyum, titanyum ve bakır gibi malzemelerden oluşabilir [18].

2.2. Metal Matris Kompozit Malzemeler

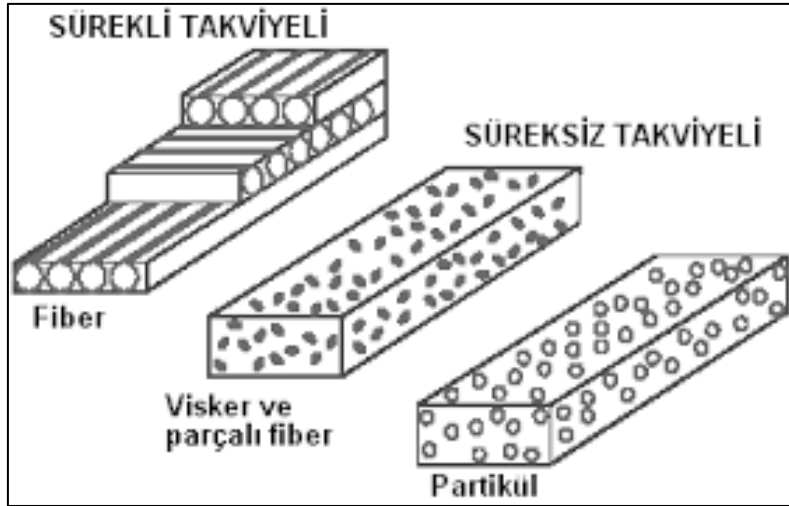
Metal matrisli kompozitler 1960'lı yıllarda yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek mukavemet elde etme ihtiyaçlarının oluşmasıyla üretilmeye başlanmıştır [1]. Yapısı gereği birden fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluşur. Malzemelerden en az bir tanesi metal olmalıdır. Takviye elemanı olarak partikül, visker, sürekli veya kısa fiber malzemeler metal matris kompozitlerde kullanılabilir. MMK'ler de matrisin görevi takviye fazına yükü iletmektir [1].

Metal matris kompozitlerin metallere ve diğer matris elemanlarına göre belirgin avantajları bulunmaktadır. Çizelge 2.2'de metal matris kompozitlerin avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

Çizelge 2.2. Metal Matris Kompozitlerin Avantaj ve Dezavantajları [1]

Avantajlar	Dezavantajlar
Yüksek aşınma direnci	Yüksek üretim maliyeti
Mukavemet ve yoğunluk oranı yüksektir	İşlenmiş metale kıyasla düşük süneklik
Yüksek yorulma direncine sahiptir	
Düşük termal genleşme katsayısı	

MMK'ler malzemeye üstün özellikler kazandırmasından dolayı tercih edilirler. MMK'ler jet motorlar, uçak kanat yüzeyleri, motor fan kanatları, iniş takımı bileşenleri gibi parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Başlıca havacılık ve uzay sanayii, otomotiv sektörü metal matris kompozitlerin yaygın olarak kullanıldığı sektörlerdir.



Resim 2.2. Metal matris kompozitlerde takviye tipleri [19]

MMK'ler sürekli ve süreksiz olacak şekilde fiber, visker, parçalı fiber ve partikül takviye elemanı içerebilirler. Partikül takviyeli MMK'ler diğer takviye elemanlarına kıyasla matris yapı içerisinde daha homojen dağılım gösterirler bu sebeple yaygın olarak kullanılırlar. Takviye fazlar nitritler, karbürler ve oksitler olarak 3 başlık altında incelenebilir. Takviye elemanının parçacık boyutu, çapı ve diğer parçacıklar ile arasında oluşan boşluk (matrise dahil edilme oranı), matris ile oluşturduğu ara yüzey, yoğunluğu, elastik modülü ve gerilme mukavemeti kompozit malzemenin sertlik, mukavemet, yoğunluk ve zırh özelliklerini etkiler. Takviye elemanının ihtiyaca yönelik seçilmiş olması bu sebeple önemlidir.

Takviye elemanlarının önemli olması kadar metal matris kompozitlerde matris malzeme seçimi de önemlidir. Matris fazı kompozit malzemede bağlayıcı ve tokluk oluşturan koruyucu görev üstlenir. Matris malzeme tercihi takviye elemanı ve matris arasındaki uyum, matrisin yoğunluğu, oksidasyon ve korozyon direnci gibi özellikleri gözetilerek yapılmalıdır. Yaygın olarak tercih edilen matris malzemeler başta alüminyum, titanyum, bakır, magnezyum, demir, gümüş ve kurşundur. Alüminyum matrisler çok yönlü avantajları tek başına sağlayabilmeleri sebebiyle en fazla tercih edilen matrislerdendir [1].

2.2.1. Alüminyum matrisli kompozitler

Alüminyum alaşımlar metal matrisli kompozit üretimi söz konusu olduğunda en çok tercih edilen malzemelerdir. Bunun sebebi alüminyumun düşük yoğunluk, düşük maliyet, yüksek

mukavemet, kolay ulaşılabilirlik, süneklik ve korozyona karşı dayanıklı bir malzeme olmasıdır. Genelde hafıf ve mukavemetli malzeme ihtiyacı olan başta havacılık ve uzay sanayii ve otomotiv sektörleri alüminyum metal matris kompozitleri tercih etmektedirler. Çizelge 2.3'te saf alüminyum elementinin fiziksel özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Saf alüminyuma ait fiziksel özellikler [20]

Fiziksel Özellikler	Alüminyum
Yoğunluk	2,713 g/cm ³
Ergime Sıcaklığı	643 °C
Elastik Modülü	703 kg/cm ² *10 ³
Isıl İletkenlik	190 Kcal/ (cm/°C)

Alüminyum alaşımlar Amerikan Alüminyum İşbirliğine göre 4 haneli kendi içerisinde farklı serilere ayrılarak incelenirler. Çizelge 2.4'te farklı serilerde alüminyum alaşımlar ve spesifik özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.4. Alüminyum alaşım serileri ve özellikleri [21]

Seri No.	Alüminyum Alaşım Özellikleri
1XXX	%99 ve üzeri alüminyum oranına sahiptir. Elektrik, ısıl ve korozyon direnci mükemmeldir. Elektrik ve kimya endüstrisi için uygundur.
2XXX	Ana alaşım elementi bakırdır. Yaklaşık olarak %6 oranında bakır içerir. Korozyon direnci zayıf fakat mukavemet özelliği iyidir.
3XXX	Ana alaşım elementi mangandır. Korozyon direnci, şekil değiştirme özelliği ve kaynak kabiliyeti mükemmeldir.
4XXX	Esas alaşım elementi silisyumdur. Aşınma direnci ve korozyon direnci yüksek bir seridir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı yapılar da kullanılabirler.
5XXX	Ana alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranına bağlı olarak sertlik ve mukavemet özellikleri artar fakat süneklik özelliği azalır.
6XXX	Ana alaşım elementi magnezyum ve silisyumdur. İşlenebilirlik, kaynak kabiliyeti ve şekillendirilebilirlik açısından iyidir.
7XXX	Ana alaşım elementi çinkodur. Isıl işlenebilirdir ve yüksek dayanıklılık gösterir.
8XXX	Ana alaşım elementi lityumdur. Yorulma direnci ve tokluk özellikleri iyidir. Üretim maliyetleri yüksektir.

Çizelge 2.4'te açıklanmış olan alüminyum alaşım serilerinden 1xxx, 3xxx ve 5xxx seri alaşımlar üzerinde ısıtıl işlem uygulanamaz. Dolayısıyla malzeme üretim yöntemleri bu noktada kısıtlıdır. 2xxx, 6xxx ve 7xxx serisi ise ısıtıl işlem uygulamaya müsait alaşımlardır. Bu seriler genelde havacılık ve uzay sanayisine yönelik malzeme ihtiyaçlarını karşılarlar.

2XXX serisi alüminyum alaşımların birincil alaşım elementi bakırdır. 2XXX serisi alüminyum alaşımlar yaşlandırılabilir alaşımlardandır. Isıl işlem görebilirler. 2xxx serisi alaşımlar uçak yapılarında ilk kullanılan alüminyum alaşımlardır. Özellikle uçak yapılarında hasar toleransı gerektiren bölgelerde kullanılmak üzere tercih edilen bir seridir. Çizelge 2.5'te Al 2XXX serisinin temel özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.5. Al 2XXX serisi temel özellikleri [21]

Özellikleri	Al 2XXX
Bileşim	~ % 4 Cu +Mn, Mg, Si
Kesme Dayanımı (MPa)	Max 480
Çekme Dayanımı (MPa)	Max 520
Kopma Uzaması (%)	5-20

Sanayinin gelişmesiyle birlikte 2xxx ve 7xxx serisi alüminyum alaşımlar özellikle hava araçlarında tercih edilen malzemeler haline gelmiştir. Teknolojinin gelişmesi ile paralel olarak bu serilerin her biri kendi içerisinde farklı alanlarda daha verimli kullanılabilen farklı alt seriler oluşmasına sebep olmuştur. Özellikle ısıtıl işlem uygulanabilen seriler olmaları sebebiyle özellikler geliştirilebilmiştir. Hava ve uzay araçları için 2xxx serisi içerisinde AA 2024 alaşımı yaygın olarak kullanılan bir alaşım türüdür. AA 2024 alaşımlar en çok kullanılan ve bilinen alaşım türlerindendir. Genellikle uçak gövdelerinde, yükseltici ve dümen kısımlarında tercih edilirler. Kalın tabaka formunda ve yüksek yorulma dayanımına sahip alaşımlardır. AA 2024 alaşımlar genelde T3, T4 ve T8 formlarından temperlenmiş olarak kullanılırlar [22]. Çizelge 2.6'da AA 2024 serisi alüminyum alaşımların kimyasal kompozisyonu belirtilmiştir.

Çizelge 2.6. Al 2024 alaşımlarının kimyasal kompozisyonu [23]

Element	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Cr	Zn	Ti	Al
Ağırlık (%)	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	Max 0,5	Max 0,5	Max 0,1	Max 0,25	Max 0,15	Kalan

Matris malzemesi olarak AA 2024 alaşım malzemeler birçok takviye elemanı ile uyum gösterirler, bu sebeple kompozit malzeme üretiminde tercih edilirler. Tercih edilmesindeki başlıca sebepler genellikle matris malzemesinde istenen hafif ve mukavemetli olma özelliklerinin bu alaşım türü ile karşılanabilmesindendir.

2.3. Metal Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri

Metal matrisli kompozit malzemeler, matris malzemesi metal olan farklı özelliklere sahip takviye elemanlarının bir araya gelmesiyle mekanik ve fiziksel olarak değişmiş yeni ve üstün özelliklere sahip olan malzemelerdir. Metal matris kompozitler birden fazla üretim yöntemi ile ihtiyaca yönelik olarak üretilmektedir. Üretim yöntemlerinin çeşitli olmasının yanı sıra üretim maliyetleri yüksektir.

Metal matris kompozitlerin üretim yöntemleri:

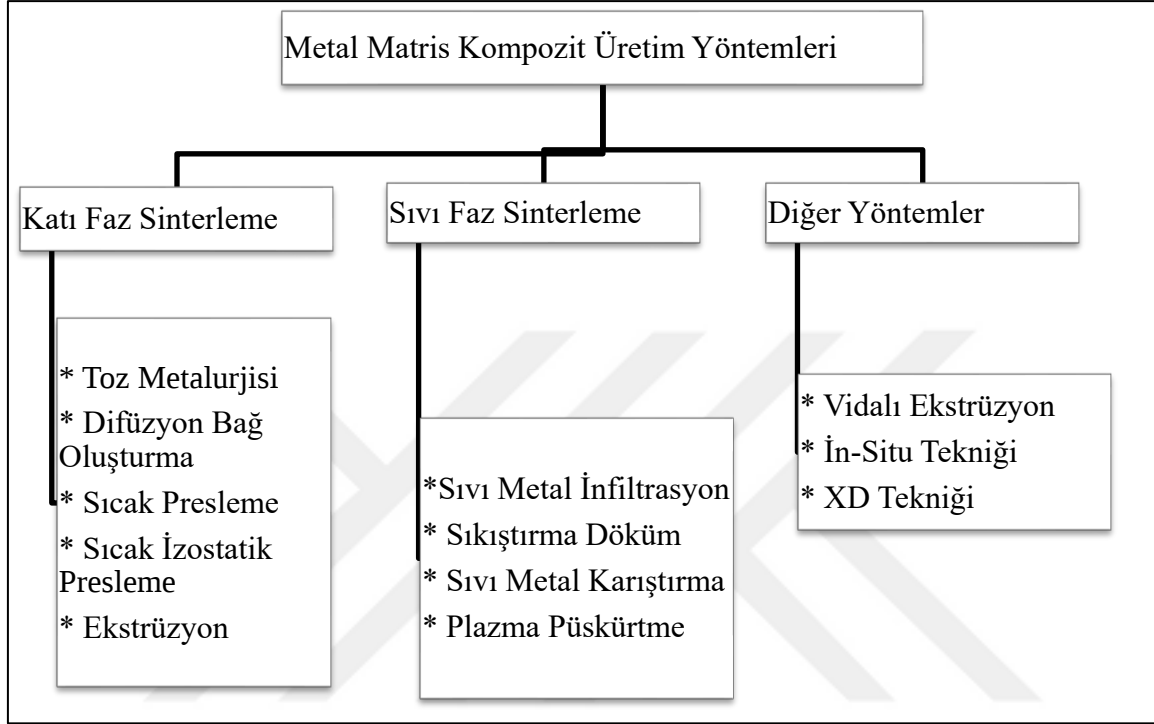
- Üretilmesi planlanan parçanın boyutuna ve şekline
- Malzemede istenen mekanik ve fiziksel özelliklere
- Matris elemanına
- Takviye elemanının şekline ve türüne göre belirlenir [1].

Temel olarak MMK malzemelerin üretim yöntemlerini 3 başlık altında inceleyebiliriz. Çizelge 2.7’de belirtildiği üzere MMK’ler katı faz, sıvı faz ve diğer yöntemler ile üretilir.

Üretim yöntemi belirlenmeden önce seçilen malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri dikkate alınmalıdır. Bunun yanı sıra dikkat edilmesi gereken diğer unsurlar; çalışma sıcaklığı aralığının malzeme ile uyumu, takviye ve matris malzemesinin birbiri ile uyumu, malzemelerden herhangi birinin ek işlem ihtiyacının olup olmaması, üretim aşamasında

oluşabilecek reaksiyonların takviye elemanının matris yüzeyinde homojen dağılımın sağlanabilmesi ve matris ile takviye arasındaki arayüzey oluşumunun sağlanabilmesidir.

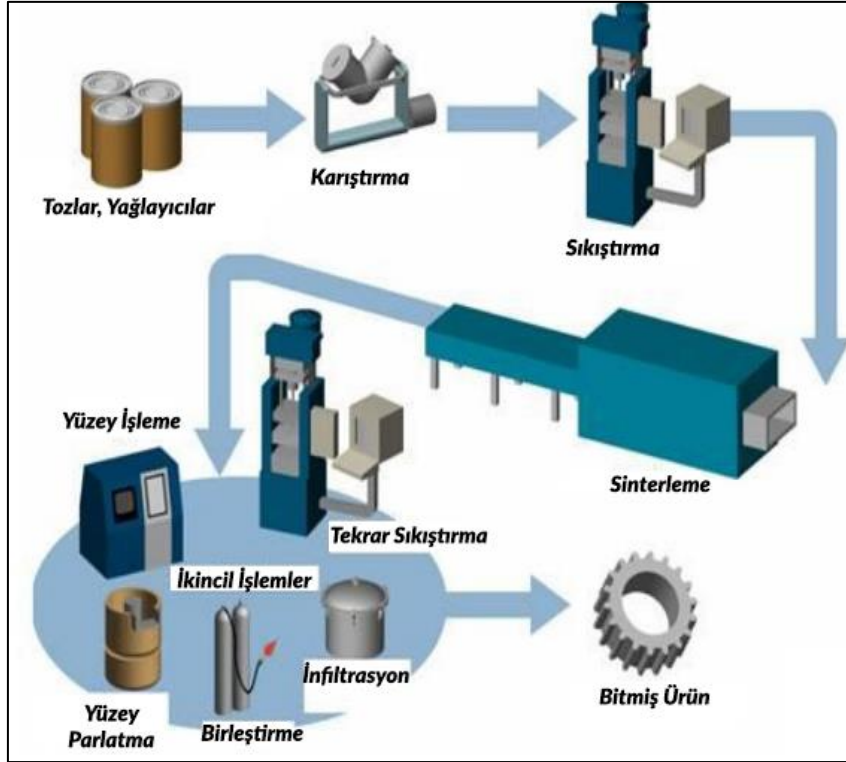
Çizelge 2.7. Metal matris kompozit malzemelerin üretim yöntemleri [1]



Çizelge 2.7’de görüldüğü üzere metal matrisli kompozit malzemeler birçok teknik uygulanarak üretilebilir. Bu tekniklerin arasından yaygın olarak kullanılan yöntemler toz metalurjisinin alt üretim yöntemlerinden olan infiltrasyon ve preslemedir.

2.3.1. Toz metalurjisi

Toz metalurjisi yöntemi özellikle havacılık ve uzay, otomotiv gibi sektörlerde düşük maliyetli olması sebebiyle tercih edilirler. Üretim yöntemi çok aşamalıdır. Resim 2.3’te toz metalurjisi ile metal matris kompozitlerin üretim yöntemi şematize edilmiştir. Toz halindeki malzemeler belirlenen oranlarda homojen dağılım olana kadar karıştırılır ve nihayetinde alt ve üst zımbası yağlanmış kalıp içerisine bir numunenin üretilmesi için gerekli olan toz miktarı aktarılır. Tozlar preslenir ve ardından sinterlenmek üzere fırına aktarılır. Bu aşamadan sonra istek ve ihtiyaca yönelik çapak alma, yağ emdirme, tekrar presleme gibi farklı yöntemler sürece dahil edilebilir [24].



Resim 2.3. Toz metalurjisi yöntemiyle metal matris kompozit malzeme üretimi [25]

Toz metalurjisi yönteminin yaygın olarak tercih edilme sebeplerinden bazıları:

- Yöntemin düşük maliyetli olması
- Yüksek üretim hızına sahip olması
- Üretim aşamasında düşük malzeme kaybı oluşturması
- Kompleks parça üretiminin nispeten kolay olması
- Yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin kullanılabilmesi
- Üstün mikro yapısal özelliklere sahip malzeme üretim imkânı sunması
- Gözeneklilik ve geçirgenlik özellikleri sunması

Yukarıda maddelenmiş avantajlar sebebiyle toz metalurjisi yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.4. Radyasyon

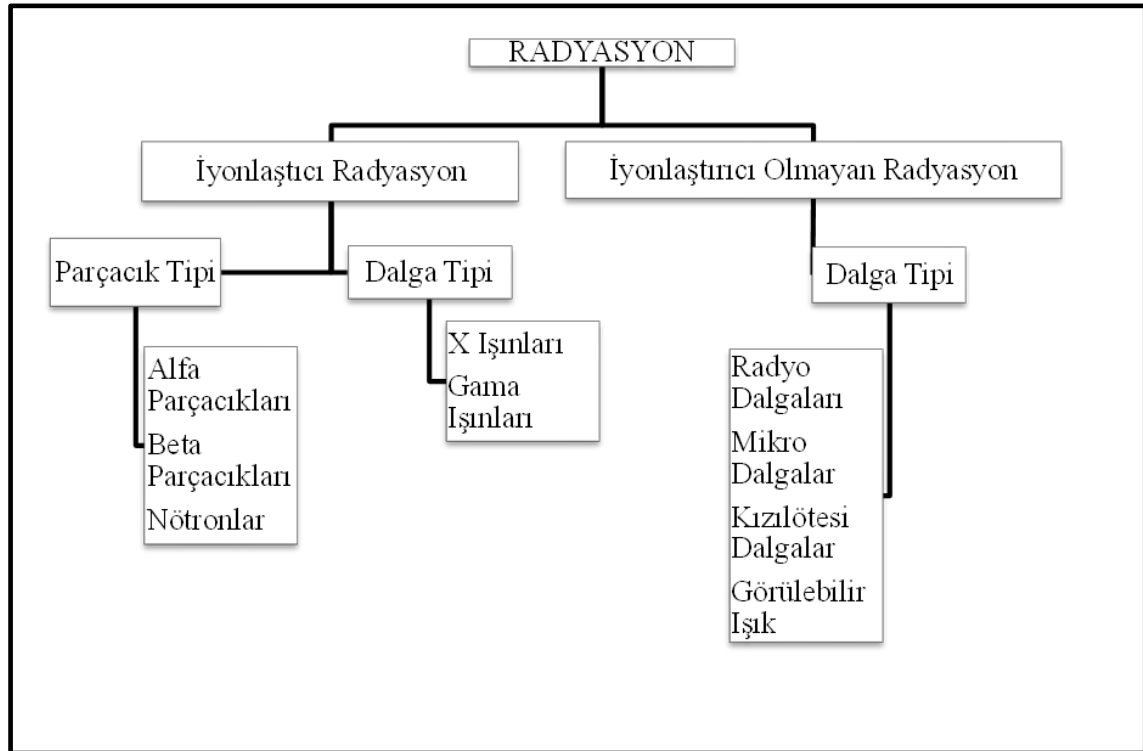
Radyasyon, enerjinin dalga veya parçacık olarak, uzay ortamı veya diğer ortamlar içerisinde yayılması ile tanımlanır. Radyasyon temel başlıklar altında incelenecek olursa;

elektromanyetik radyasyon, radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızıl ötesi ışınlar, görünür ışık, mor ötesi ışınlar, X ışınları ve gama radyasyon türlerini içerir. Parçacık radyasyonu, alfa ışınları, beta ışınları ve nötron ışınları türlerini içerir. Akustik radyasyon ise ultrason, ses ve sismik dalgaları içerir. Kütleçekimsel radyasyon ise uzay-zaman dokusu boyunca yayılan kütleçekim dalgalarına denir. Temelde radyasyonu iki alt başlıkta inceleyebiliriz: iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon [26].

2.4.1. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon

Radyasyonu ortamdaki taşıyan enerji olarak tanımlayabiliriz. Enerji, parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar aracılığıyla taşınabilir. Atomda enerji aktarılması sonucu atomdan elektron koparılması olayı iyonlaşma olarak ifade edilir [27]. Taşıyan enerji atomlarda iyonlaşmaya sebep oluyorsa bu radyasyon tipi iyonlaştırıcı radyasyon olarak tanımlanır. Eğer iyonlaşmaya sebep olmuyorsa iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak tanımlanır.

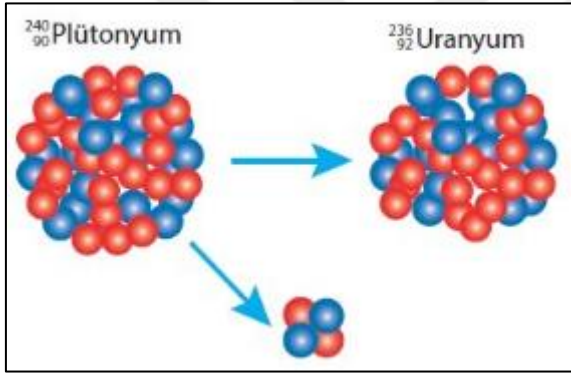
Çizelge 2.8. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon türleri



Çizelge 2.8’de görüldüğü üzere iyonlaştırıcı radyasyonlar parça ve dalga tipi olarak ikiye ayrılır. Parçacık tipine göre alfa, beta ve nötron parçacıkları ve dalga tipine göre X ve

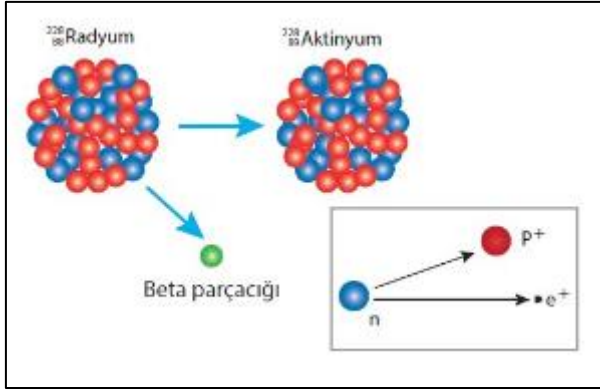
gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyon kategorisinde incelenir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon taşıyan enerji atomdan enerji koparmak için yeterli olmayan radyasyon tipidir.

Alfa parçacıkları iyonlaştırıcı bir ışın formudur. Işınımı, nötron-proton oranının çok düşük olmasıyla birlikte radyoaktif izotop çekirdeğinden yayılan bir helyum çekirdeğidir. İki proton ve iki nötrondan bir araya gelirler, yükleri pozitiftir. Alfa bozunumu esnasında radyoaktif izotopun atom numarası iki, kütle numarası dört azalır [28]. Alfa radyasyonu ağır ve iki farklı yük değerine sahip olduğu için bulunduğu ortamda Coulomb etkileşimleri gerçekleşir ve bu durum iyonlaşmaya sebep olurken parçacık enerjisini çok çabuk kaybeder. Enerjisini çabuk kaybediyor olması ortama nüfuz etme imkanını zayıflatır. Bu sebeple kolaylıkla bir kâğıt parçası tarafından durdurulabilir.



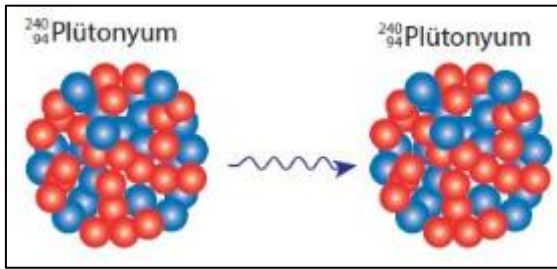
Resim 2.4. Alfa Bozunumu [27]

Bir çekirdek beta parçacığı yayınladığı zaman yükü bir birim değişir. Kütlesi ise sabit kalır. Beta bozunması üç türdür. Eksi yüklü elektron ile beta bozunmasında çekirdekten eksi yüklü bir elektron yayılır. Bu durum çekirdekteki proton sayısında bir artış ve nötron sayısında bir azalışa sebep olur. Sonuçta beta parçalanmasında nötron, proton, eksi elektron ve antinötrinoya bozunur. Artı yüklü elektron ile beta bozunması çekirdekten artı yüklü bir elektron (pozitron) yayılmasıyla gerçekleşir. Bu durumda çekirdekten proton sayısı bir azalır ve nötron sayısı bir artar, aynı zamanda kütle numarası korunur. Elektron yakalaması ile beta bozunumu çekirdeğin kendine en yakın elektronu yakalamasıyla gerçekleşir. Elektronlar çekirdek tarafından yakalandığında proton sayısı bir azalacak ve nötron sayısı bir artacaktır. Beta radyasyonunun kütlesi ve yükü alfa parçacığından daha azdır. Bu sebeple etkileşime girdiği ortamda alfa parçacığına göre daha fazla nüfuz etme imkânı bulur. İnce bir alüminyum plaka beta parçacığını durdurmaya yetebilir.



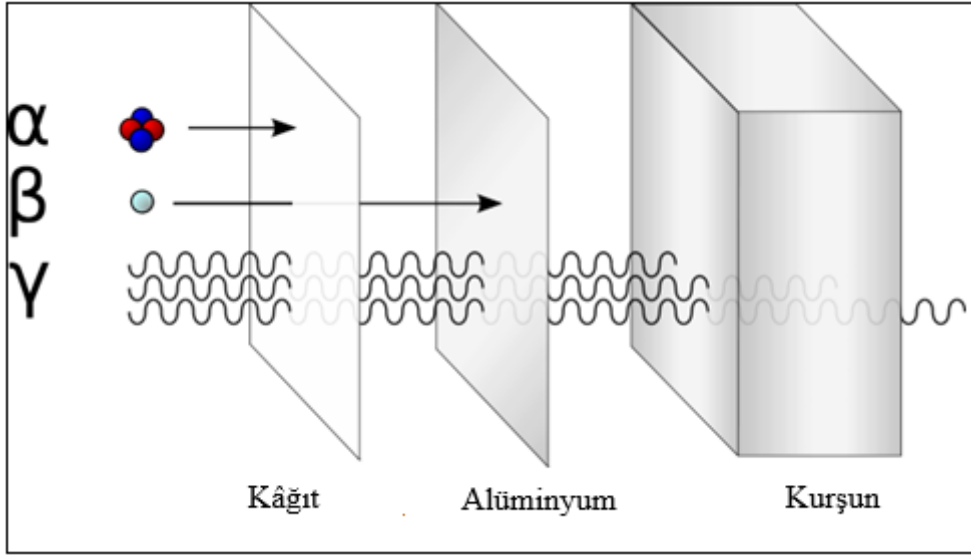
Resim 2.5. Radium Çekirdeği Beta Parçacık Bozunumu [27]

Gama radyasyonu, radyoaktif çekirdek tarafından yayımlanan elektromanyetik bir radyasyondur. Gama ışınları etkileşime girdiği yüzey veya ortamda üç çeşit etkileşim yapar ve bu etkileşimler sonucunda enerjisini serbest bırakırlar. Compton saçılması, çift oluşum ve fotoelektrik olay bu etkileşim türleridir. Diğer elektromanyetik ışınlar arasından en yüksek frekansa ve en düşük dalga boyuna sahiptirler. Taşıdıkları enerji düzeyinin fazla olması sebebiyle canlı hücreler üzerinde zararlı etkileri bulunmaktadır. Alfa ve beta parçacıkları ile kıyaslandığında madde içine nüfuz etme oranı çok yüksek fakat iyonlaşma etkisi azdır.



Resim 2.6. Plütonyum Çekirdeğinin Gama Işınması [27]

Resim 2.7’de alfa, beta parçacıkları ve gama ışınımının çeşitli levha tiplerine göre ortam içerisindeki giriciliklerini gösterilmektedir. Buna göre alfa parçacığını durdurmak için kâğıt levha yeterli olurken beta parçacığı alüminyum levhalar aracılığı ile durdurulabilmektedir. Gama ışınları ise kurşun levha karşısında belli miktarda durdurulabilmektedir [29].



Resim 2.7. Alfa, beta ve gama ışınlarının kâğıt, alüminyum levha ve kurşun levha üzerinde yayınımları [29]

2.4.2. Gama ışınlarının soğurulması

Gama ışınlarının hedef zırh malzemesine gönderilmesiyle malzemeye nüfuz etme ve dağılma özellikleri doğrusal zayıflatma katsayısı olarak bilinen μ ile ölçülür. Zayıflatma katsayısı gönderilen fotonun enerjisi, zırh malzemesinin kalınlığı ve atom numarasına bağlıdır [30].

Gama ışını etkileşme çeşitleri

Gama ışınları hedef malzeme ile üç şekilde etkileşime girebilir: Fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum [30].

Fotoelektrik olay

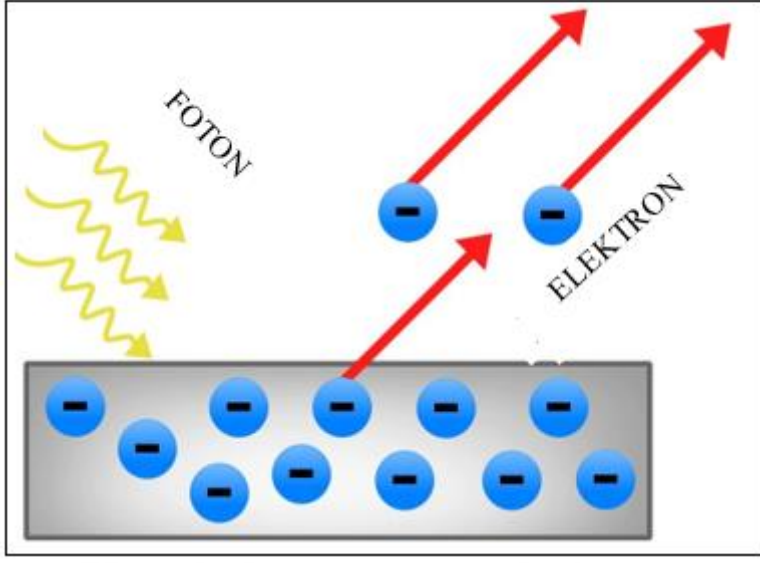
Fotoelektrik olay fotonun metal bir yüzeye bombardıman edilmesi sonucu yüzeyden elektron koparılmasıdır. Fotoelektrik etkinin keşfi Hertz tarafından 1887 yılında yapılmıştır. Deney temelde vakumlu bir tüp içerisinde değişken voltaj kaynağına bağlanmış iki elektrottan oluşmaktadır. Yüzeyine foton gönderilmesiyle metal plaka anot görevi görecektir. Bu yüzeyden kopan foto elektronlardan bazılarının enerjileri, negatif yüklü olmasına rağmen katot yüzeyine erişebilir. Katot yüzeyine ulaşan elektronların akımı

ampermetre ile ölçülür. Deney sürecinde önemli olan husus metal yüzeye gönderilen fotonun frekansına bağlıdır. Metal frekans değerinden daha büyük frekansa sahip foton ancak bir fotoelektrik etki oluşmasına sebep olur. Foto elektronların oluşturduğu akım gönderilen fotonun şiddeti ile doğru orantılıdır. Fakat klasik elektromanyetik dalgalar teorisiyle açıklanamayan deney sonucu foto elektronların kinetik enerjisinin ışığın şiddetinden bağımsız olup gönderilen fotonun frekansı ile doğru orantılı olması ile açıklanır. Compton saçılmasından farklı olarak fotoelektrik olay gerçekleştiğinde gönderilen fotonun tüm enerjisi soğurulmuş olur. Gama ışınının yüzeye gönderilmesi ile fotoelektrik soğurma gerçekleşir. Einstein'ın ışık enerjisinin dalga şeklinden ziyade belirli paketlerde toplanarak gönderildiğini öne sürmesiyle fotoelektrik olayın formül şeklinde (Eşitlik 2.1) ifadesi aşağıda belirtilmiştir [31]:

$$E_n = nh\nu \quad (2.1.)$$

(n: ışın demetinin içerdiği foton sayısı, ν : elektromanyetik dalgaların frekansı,
h: Planck sabiti)

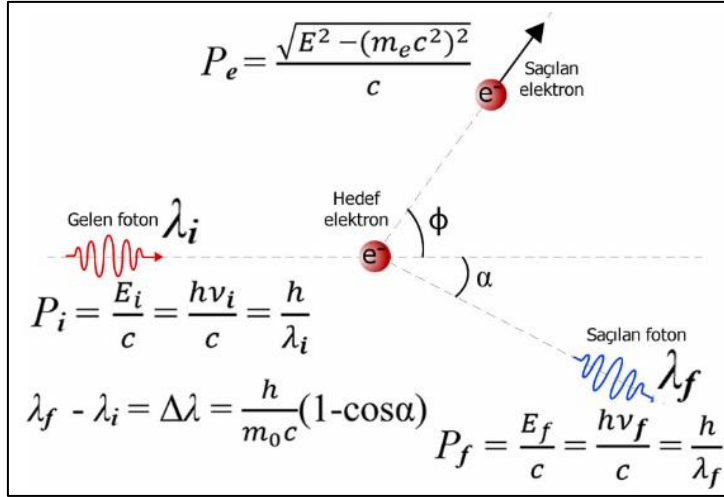
Bir fotonun soğurulması elektronun enerjisini $h\nu$ kadar artırır. W ise foton soğurulma aşamasında elektronun metalden ayrılması için harcanan enerjiyi temsil eder. Fotoelektrik olayın gerçekleşebilmesi için $h\nu$ değerinin W değerinden büyük olması beklenir. Bu durumda $E_k = h\nu - W$, elektronun kinetik enerjisini temsil eder. $h\nu$ ve W değerlerinin birbiri ile eşit olması durumu foto elektronların hızlarını sıfırlamaktadır. Başlangıç hızını metal eşik frekansı olarak ifade ettiğimizde $\nu_0 = W/h$ değeri elde edilmektedir [31].



Resim 2.8. Fotoelektrik Olay şematik gösterimi [18]

Compton saçılması

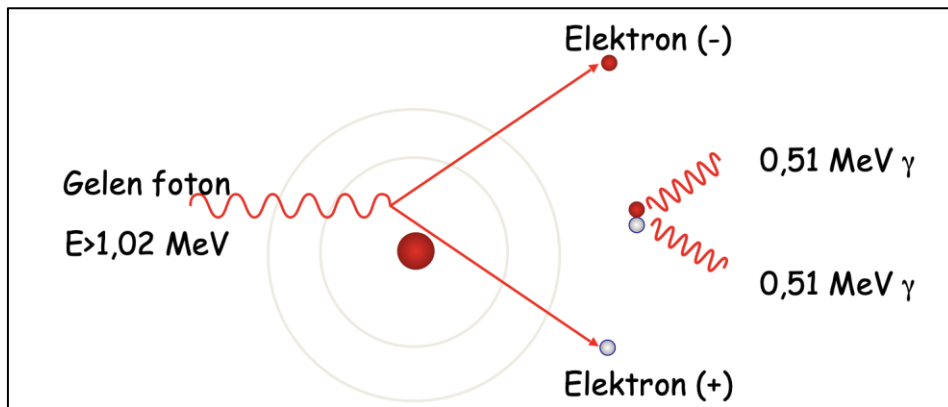
Compton saçılması gama radyasyon ışınlarının ortamla yaptığı etkileşimlerden bir tanesidir. Compton saçılması gama ve X-ışınları gibi çok yüksek enerjili fotonların atom ile etkileşmesi sonucu belli açılarla saçılmasına denir. Bu durum fotonların sadece dalga olarak değil aynı zamanda parçacık olarak düşünülmesi gerektiğini anlatır. Yüksek enerjili bir fotonun (gama veya X-ışını) atom veya molekülün dış yörüngesinde serbest elektronlarla çarpışması sonucu elektronların serbest kalması ve fotonun saçılması ile sonuçlanır. Sonuçta enerjinin korunumu yasasına göre gönderilen fotonun enerjisi saçılan foton ve saçılan elektron enerjisinin toplamına eşittir. Foton enerjisini $h\nu$ olarak tanımlarsak, çarpışma sonrası foton enerjisindeki kayıp elektronun kinetik enerjisindeki artışa tekâmül eder. Fotonun saçılma açısı ile fotondan aktarılan enerji bağlantılıdır. Açının artmasıyla saçılma enerjisi düşmektedir [32].



Resim 2.9. Comton Saçılması Şematik gösterimi [33]

Çift oluşum

Son olarak gama radyasyonlarının madde ile etkileşimde olduğu bir diğer olay çift oluşum meydana gelmesidir. Gama ve X-ışını gibi yüksek foton enerjilerinde meydana gelen çift oluşum etkileşmesinde soğurucu atom çekirdeğinin yük alanının etkisiyle foton yok olur ve meydana artı ve eksi yüklü iki elektron meydana gelir. Çift oluşumu fotonun çekirdeğin veya bazen elektronun yakınından geçmesiyle gerçekleşir. Etkileşim sonucunda gönderilen fotonun enerjisi tamamen aktarılır ve yok olur. Elektronun durgun kütlesi 0,511 MeV'dir. Bu sebeple, çift oluşumunda fotonun enerjisi 1.02 MeV'den büyük olması gerekir. Gönderilen enerjinin 1.02 MeV'lık kısmı elektron ve pozitron kütlelerine dönüşür. Gönderilen fotonun artan kısmı kinetik enerji olarak taşınırlar.



Resim 2.10. Çift oluşumu şematik gösterimi [34]

Gama ışınlarının saçılması

Gama ışınları madde ile saçılma sonucu etkileşebilir. Saçılma 2 alt başlık altında incelenebilir. Gama ışının saçılma enerjisine göre koherent (esnek) ve inkohorent (esnek olmayan) saçılma etkileşimleri gerçekleşir [35].

Koherent saçılma

Koherent saçılma sonucu herhangi bir enerji kaybı meydana gelmez. Bu saçılma türünde gönderilen ve saçılan ışının dalga boyları aynı kalır. Saçılma oluşumuna göre: Thomson Saçılması, Rayleigh Saçılması, Delbrück ve Nükleer Rezonans Saçılması olarak esnek saçılma türleri incelenir [35].

Thomson saçılmasına göre gelen fotonun bir kısmı dalga boyuna bakılmaksızın elektron tarafından saçılır. Saçılan foton ve gelen foton aynı frekansa sahiptir.

Rayleigh saçılmasında fotonlar atoma sıkı bağlı elektronlar tarafından saçılırlar. Bu durum sadece çok düşük enerjili fotonlar ve ağır elementler üzerinde geçerlidir.

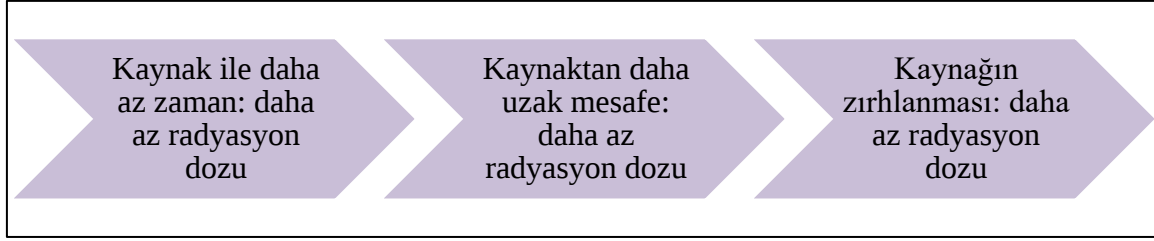
Fotonun, çekirdeğin elektromanyetik alanı içerisinde saçılması sonucu Delbrück saçılması denir. Saçılma sonucunda etkileşim düşük olduğu için gözlemlenme oranı küçüktür.

İnkoherent saçılma

İnkoherent saçılmada koherent saçılmadan farklı olarak gelen foton ve saçılan foton arasında dalga boyu farkı oluşmaktadır. Saçılma açısında bağlı olarak enerji farkı oluşur. İnkoherent saçılmaya örnek gama etkileşim olayı Compton saçılmasıdır [35].

2.4.3. Radyasyondan korunma yöntemleri

Gama radyasyonu canlı hücrelerin sağlığını tehdit etmekle birlikte elektronik ve termal ekipmanların çalışma ömrünü de etkilemektedir. Bu sebeple radyasyondan etkilenme oranını azaltmak veya engellenmek amaçlı çeşitli yöntemler uygulanabilir. Radyasyondan korunma yöntemleri 3 temel başlıkta incelenebilir; zaman, mesafe ve zırhlama [27].



Şekil 2.2. Radyasyondan korunma prensipleri [27]

Şekil 2.2’de de belirtildiği üzere radyasyonun bulunduğu ortamda malzeme veya radyasyona maruz kalma süresi etkilenme oranını değiştirecektir. Minimum zaman minimum alınan doz demektir. Aynı şekilde direkt olarak radyasyonun var olduğu ortam veya radyasyon kaynağı ile canlının veya malzemenin arasındaki mesafe radyasyon doz alımını etkiler. Bu durum ters kare kanunu ile açıklanmaktadır (Eşitlik 2.2).

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (I: \text{doz hızı, } d: \text{radyasyon kaynağı ile aradaki mesafe}) \quad (2.2.)$$

Canlıyı veya korunması gereken ürünün maruz kalacağı doz miktarını azaltacak uygun malzemeler ile zırhlamak radyasyon etkilerini minimuma indirilmesini sağlayacaktır. Zırhlama malzemesi, maruz kalacağı radyasyonun tipine göre değişiklik gösterir. Parçacık ve ışıınım tipine göre engelleyici malzemeler değişiklik gösterir. Bir alfa parçacığını engellemek için kâğıt parçası yeterli olurken beta parçası alüminyum levha ile durdurulabilir.

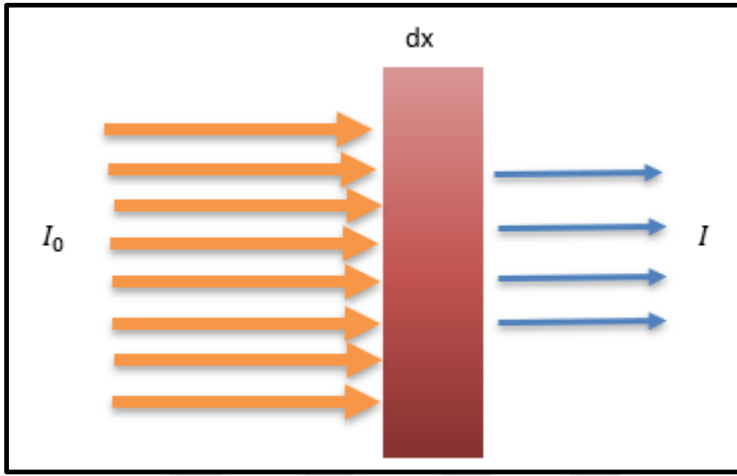
2.4.4. Radyasyon parametreleri

Gelen fotonun radyasyon enerjisini zayıflatmak üzere zırh olarak kullanılma amacıyla soğurucu malzemeler üretilir. Zırh malzemesinin fotonu absorbe edebilme kabiliyeti malzemenin lineer-kütle zayıflatma katsayısı, onda bir kalınlığı, yarı değer kalınlığı, ortalama serbest yol gibi parametrelere bakarak radyasyonun zırh malzemesi üzerindeki etkilerinin anlaşılmasını sağlar.

Lineer zayıflatma katsayısı

Lineer zayıflatma katsayısı temelde fotonun birim uzunluk başına etkileşime geçme olasılığını ifade eder. Lineer zayıflatma katsayısı μ (cm^{-1}) fotoelektrik olay (τ), Compton saçılması (σ) ve çift oluşumu (κ) ihtimallerinin (Eşitlik 2.3) toplamıdır.

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (2.3.)$$



Şekil 2.3. Gama ışınının dx kalınlığındaki madde üzerinden geçerken soğurulması [34]

I_0 şiddetinde zırh malzemesine gönderilen bir foton enerjisinin şiddeti malzemeden geçerken dl oranında (Eşitlik 2.4) azalır. Azalma miktarı zırh malzemesinin kalınlığı ile orantılıdır.

$$dl = -\mu l dx \quad (2.4.)$$

$$\frac{dI_0}{I} = -\mu dx \quad (2.5.)$$

Radyasyon şiddetindeki azalma eksponansiyeldir, bu sebeple lineer soğurma katsayısı aşağıdaki Eşitlik 2.6 ile ifade edilebilir:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.6.)$$

Kütle zayıflatma katsayısı

Fotonların soğurulması zırh malzemesinin kalınlığına olduğu kadar yoğunluğuna da bağlıdır. Zırh malzemesinin kütle zayıflatma katsayısı Eşitlik 2.7'deki gibi hesaplanmaktadır [31].

$$\mu_m = \mu / \rho \quad (2.7.)$$

ρ : zırh malzemesinin yoğunluğu (g/cm³)

μ : lineer zayıflatma katsayısı (cm⁻¹)

Lineer zayıflatma katsayısının eksponansiyel azalım gösterdiği formüle göre kütle zayıflatma katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır (Eşitlik 2.8 ve Eşitlik 2.9).

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho)d} \quad (2.8.)$$

Ortalama serbest yol

Ortalama serbest yol (λ) kavramı fotonun art arda yaptığı iki çarpışma sırasında aldığı yolu ifade eder. Ortalama serbest yol Eşitlik 2.9'da verilen formül ile ifade edilir [31].

$$\lambda = \frac{1}{\mu} \quad (2.9.)$$

Yarı değer kalınlığı

Yarı değer kalınlığı malzemeye gönderilen foton şiddetinin yarısına düşürebilmek için ihtiyaç duyulan malzeme kalınlığına denir. Enerji yükseldikçe zırh malzemesinin kalınlığı artar, atom numarası arttıkça azalır. Eşitlik 2.10'da belirtilen formül malzemenin yarı değer kalınlığını ifade eder [31].

$$HVL = \frac{0,693}{\mu} \quad (2.10.)$$

Onda bir değer kalınlığı

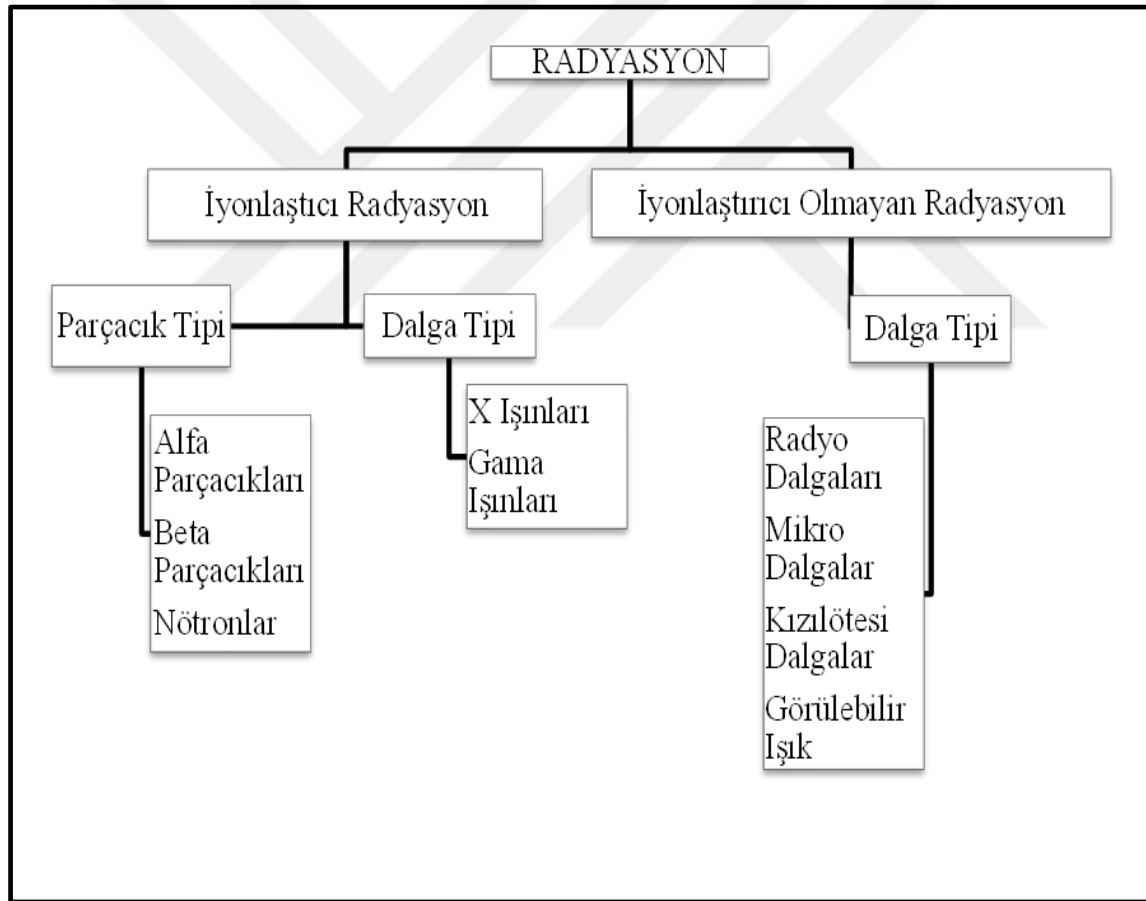
Onda bir değer kalınlığı zırh malzemesine gönderilen foton enerjisinin 1/10 değerine inmesi için gereken malzeme kalınlığına denir. Eşitlik 2.11’de verilen formül ile TVL değeri hesaplanabilir [7].

$$TVL = \frac{\ln(10)}{\mu_{\rho}} \quad (2.11.)$$



3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, toz metalurjisi yöntemi ile AA2024 metal matrisli TiO_2 ve ZrO_2 parçacık takviyeli hibrit/kompozit malzemeler mikroyapı analizi ve radyasyon geçirgenlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla üretilmiştir. Üretilen hibrit/kompozit numunelerin mekanik, optik, mikroyapı ve radyasyon geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. Takviye elemanının malzeme üzerindeki etkisini daha net açıklayabilmek için numune üretimi her bir takviye elemanından %5, %10 ve %15 oranında eklenerek gerçekleştirilmiştir. Takviye malzemesiz AA2024 numunenin üretimi aynı amaçla gerçekleştirilmiştir. Numunelerin üretim süreci Şekil 3.1’de şematik olarak açıklanmıştır.

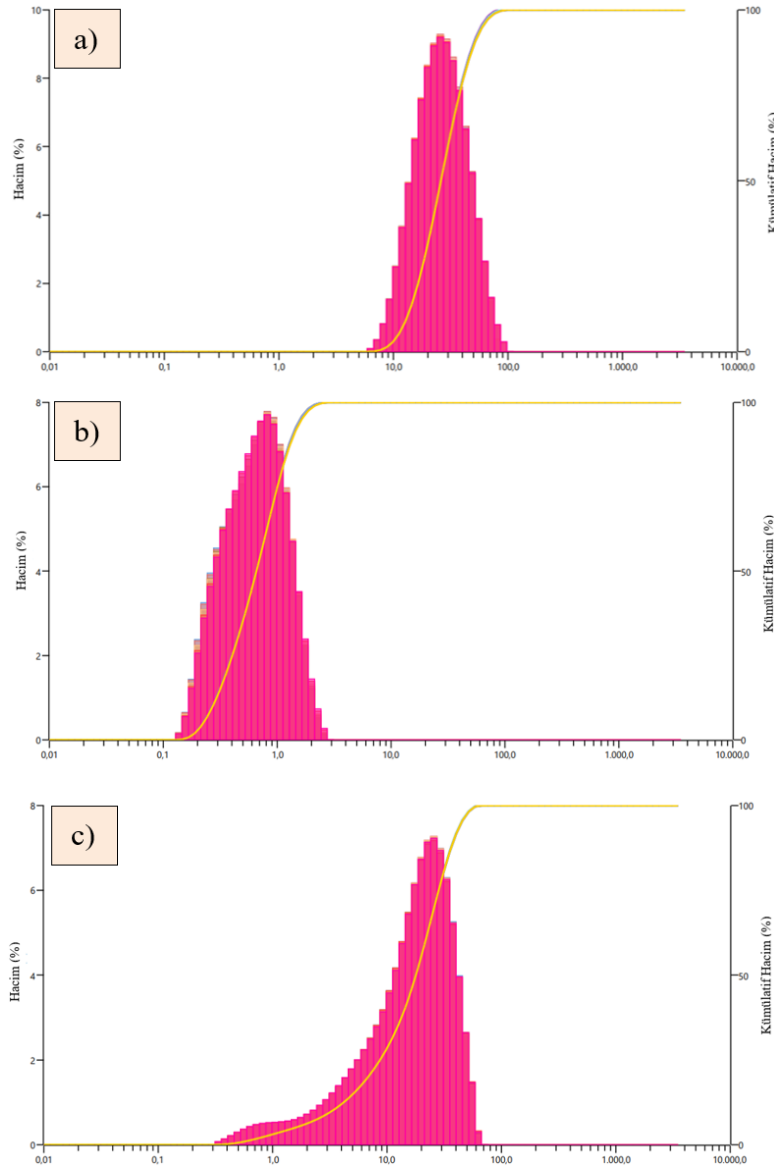


Şekil 3.1. Numune Üretim Süreci ve Deneysel Çalışmalar

Deneyisel çalışma süreci tamamlandıktan sonra numunelerin radyasyon soğurma özellikleri teorik olarak Phy-X programı üzerinden hesaplanmıştır.

3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Kompozit malzeme üretiminde matris olarak kullanılan AA2024 alaşımının toz tane boyutu $<20\ \mu\text{m}$ 'dir. Takviye elemanı olarak kullanılan TiO_2 malzemesinin tane boyutu ise $1\ \mu\text{m}$ ve aynı şekilde yine takviye elemanı olarak kullanılan ZrO_2 malzemesinin tane boyutu $<20\ \mu\text{m}$ 'dir. Kullanılan tozların toz boyut dağılım grafikleri Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Toz malzemelerin boyut dağılım grafikleri a) AA2024 b) TiO_2 c) ZrO_2

Toz boyut dağılım grafikleri incelendiğinde ZrO_2 ve AA2024 toz malzemelerin boyut dağılımlarının birbirine yakın seyrettiği görülmektedir. TiO_2 toz malzemeleri AA2024 ve ZrO_2 toz malzemelere göre daha küçük boyutlardadır.

Çizelge 3.1’de AA2024’e ait kimyasal kompozisyon verilmiştir. Aynı şekilde Çizelge 3.2’de her bir toz malzemenin özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. AA2024 alaşımına ait kimyasal kompozisyon

Element	Cu	Mn	Mg	Fe	Si	Al
Oran (Ağırlıkça %)	3,8-4,9	0,4-1,2	0,3-1,9	0,0-0,5	0,0-0,5	Kalan

Çizelge 3.2. Matris malzemesi ve takviye elemanlarının fiziksel özellikleri

Malzeme	Fiziksel Özellikler		
	Yoğunluk (g/cm^3)	Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}C$)	Toz Boyutu (μm)
AA2024	2,74	502-638	20 μm
TiO_2	4,26	1843	1 μm
ZrO_2	5,68	2370	20 μm

3.2. Kompozit Malzeme Üretimi

Hibrit/kompozit malzemelerin üretimi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Üretim süreci, tayin edilen oranlarda tozların karıştırılması, karışan tozların sıcak preslenmesi ve nihai olarak kalıptan çıkartılmasından oluşmaktadır.

3.2.1. Tozların karıştırılması

Toz karıştırma işleminden önce standartlara uygun bir numune boyutu elde etmek adına ihtiyaç duyulan toz miktarları belirlenmiştir. Belirlenen miktarlar Precisa marka hassas terazide ölçülerek karıştırmaya hazır hale getirilmiştir. Bu süreçte takviye elemanları

matris toz içerisinde %5, %10 ve %15 oranlarında dahil edilmesiyle her bir numune için toz karışımı gerçekleştirilmiştir. Tozlar Turbula marka olan üç boyutlu karıştırıcı cihazında 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. Bu işlem her bir hibrit/kompozit malzeme için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Üretilen hibrit/kompozit malzemelerin ağırlıkça oranları ve takviye elemanlarının belirlenen yüzdeleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kullanılan toz karışım oranları

Kullanılan Toz Karışım Oranları			
Numune	Malzeme Karışım Oranı (%)		
	AA2024	TiO ₂	ZrO ₂
S1	100	-	-
S2	95	5	-
S3	95	-	5
S4	95	2,5	2,5
S5	90	10	-
S6	90	-	10
S7	90	5	5
S8	85	15	-
S9	85	-	15
S10	85	7,5	7,5

3.2.2. Tozların preslenmesi

Karışmış halde preslenmeye hazır tozlar Gazi Üniversitesi toz metalurjisi laboratuvarlarında preslenmiştir. Tozların preslenmesi için kullanılan kalıp boyutu 50*50 mm'dir. Kalıp içi ve alt üst zımbalar her numune üretiminden önce alkol yardımıyla temizlenmiştir. Temizlenen kalıp içerisine toz ilave edilmeden önce alt ve üst zımba MoS₂ yağlayıcısı sürülerek işlem sonunda numunenin kalıptan çıkartılması kolaylaştırılmıştır. Tozların kalıp içerisine homojen dağılımı sağlanmış ve üst zımba kalıba oturtulmuştur. Pres cihazının içerisine yerleştirilen kalıba öncelikle 400 MPa tek yönlü soğuk pres işlemi uygulanmıştır. Kalıp içerisinde preslenen numunelerin görüntüsü Resim 3.1'de verilmiştir.



Resim 3.1. Tek yönlü pres cihazı içerisinde numunelerin preslenmesi

Soğuk pres işleminin ardından kalıbın içerisindeki numune, tozların ergime sıcaklığına dikkat edilerek tercih edilen 600 °C'lik Protherm marka fırına aktarılmıştır (Resim 3.2). Numune yoğunluğu ve mukavemet değerini artırmak amacıyla kalıp fırın içerisinde 1 saat sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Süre sonunda numuneler fırından çıkartılarak sıcak presleme yöntemiyle 800 MPa yük altında preslenmiştir. Ardından kalıp içerisindeki numune soğumaya bırakılmıştır.



Resim 3.2. Protherm marka sinterleme fırını

3.3. Malzeme Karakterizasyonu

Sıcak pres işleminin ardından tekrar tek yönlü pres uygulanan numuneler kalıptan çıkartılmıştır. Test uygulanmaya hazır numunelere ait görsel Resim 3.3'te

gösterilmektedir. Numunelerin malzeme karakterizasyonları sırasıyla bakalite alma, zımparalama, parlatma, optik mikroskop, SEM, EDS işlemleri ile belirlenmiştir.



Resim 3.3. Test işlemlerine hazır numuneler

3.3.1. Numunelerin yoğunluk ölçümleri

Üretim süreci tamamlandıktan sonra numunelerin her biri için yoğunluk ölçümleri Sartorius marka 0.1 mg hassasiyetli terazide (Resim 3.4) Arşimet prensibi uygulanarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan formül (Eşitlik 3.1) aşağıdaki gibidir.

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

d= yoğunluk (g/cm³)

m= ağırlık (g)

V_y= yağ ağırlık (g)

V_s= su içerisindeki ağırlık (g), değerlerini ifade etmektedir.



Resim 3.4. Sartorius marka yoğunluk ölçüm terazisi

3.3.2. Metalografik işlemler

Metal matrisli kompozit/hibrit numunelerin takviye elemanları (TiO_2 ve ZrO_2) ve matris malzemenin numune içerisindeki dağılımlarını ve matris-parçacık ara yüzey durumunu gözlemleyebilmek amacıyla metalografik işlemler yapılmıştır. Numuneleri daha kolay zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutabilmek amacıyla numunelerin her biri bakalite alınmıştır. Bakalite alma cihazı ve bakalite alınmış numunelerin görselleri Resim 3.5’te gösterilmektedir.



Resim 3.5. Bakalit cihazı ve Numunelerin bakalit alınmış hali

3.3.3. Zımparalama, parlatma ve dağlama işlemi

Kompozit-hibrit kompozit numuneler sırası ile 600, 800 ve 1200 Mesh'lik zımparalar ile zımparalandı. Her işlem öncesi numuneler yıkandı ve bu sayede önceki zımparadan kalan iri taneli yapının çizilmeye sebep olması önlendi. İşlem sonunda numuneden alınacak görüntü kalitesini artırmak amacıyla parlatma işlemi uygulandı. Parlatma işleminde 6 μ , 3 μ ve 1 μ boyutundaki elmas solüsyonlar belirli aralıklarla parlatma kumaşına uygulanarak numuneye uygulandı.

Malzemelerin mikroyapı özelliklerini daha doğru bir şekilde inceleyebilmek adına metalografide çoğu zaman, parlatılmış numune yüzeyine uygun reaktif tatbik edilir. Bu işlem literatürde dağlama işlemi olarak kabul görür. Dağlama işlemi sayesinde iç yapıda bulunan fazların ve tane sınırlarının optik mikroskop aracılığı ile görüntülenmesi sağlanmıştır.

3.3.4. Mikroyapı incelemeleri

Tamamlanan metalografik işlemlerin ardından mikro yapı incelemeleri gerçekleştirmek adına dağlanmış numunelerin optik görüntüleri Leika DM 4000M metal mikroskop aracılığı ile incelenmiştir. Resim 3.6'de kullanılan metal mikroskop görülmektedir.



Resim 3.6. Leika DM 4000M Marka optik mikroskop

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) yüksek enerjili elektron demeti aracılığıyla numune üzerinde belirlenen bölgeleri büyütür. Odağın bozulmaması için numune vakum altında tutulur. SEM'i optik mikroskoptan ayıran temel özellik büyütme kapasitesinin optik mikroskopa kıyasla çok yüksek olması ve alan derinliğinin artmasıdır. SEM sonrası

değerlendirilmeye alınan numune yüzeyi, enerji dağılım spektroskopisi (EDS) aracılığıyla yüzeyde belirlenen noktaların elementel kimyasal bileşim durumları incelenir. EDS analizinde yüzeye çarpan yüksek enerjili elektronlar fazla enerjisini X-ışınması yaparak kaybeder. X-ışınının karakteristik özelliği yüzeydeki element atomu hakkında bilgi verir. Bu sayede elementel analiz tamamlanır.

Üretilen metal matrisli kompozit/hibrit numunelerin içerisindeki takviye elemanı ve matris arasındaki ara yüzey ilişkisini incelemek adına %5, %10 ve %15’lik oranlarda üretilen numuneler, içerisinde EDS ünitesi de bulunan JEOL JEM 6060 LV marka Taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. SEM görüntüleri x250, x500 ve x1000’lik büyütme oranları ile elde edilmiştir. EDS görüntüleri ise sadece 500’lük büyütme oranı kullanılarak cihazdan alınmıştır.

3.3.5. Mekanik testler

Üretimi gerçekleştirilen kompozit/hibrit malzemelerin mekanik özelliklerini analiz edebilmek için numuneler sertlik ve çapraz kırılma test cihazlarında incelenmiştir. Çapraz kırılma testi için numuneler “MPFI-41, 1998” standartlarına uygun bir şekilde hazırlanmıştır.



Resim 3.7. a) Çapraz kırılma test düzeneği b) Brinell sertlik ölçüm cihazı

Sertlik testi Brinell Sertlik test metodu ile yapılmıştır. Numunelerin her birine belirlenen orta hat üzerinden beş ayrı noktadan yük uygulanarak ortalamaları alınmıştır. Sertlik ölçümleri EMCO TEST Duravision 200 marka sertlik ölçüm cihazında 2,5 mm bilye uç ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.6. Radyasyon geçirgenlik lmleri

Deneysel çalışmaların tamamlanmasıyla numunelerin teorik olarak radyasyon geçirgenlikleri Phy-X/PSD programı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda gama radyasyon geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. Phy-X/PSD programında malzemelerin 0,015-15 MeV enerji aralığındaki lineer zayıflatma katsayısı, kütle zayıflatma katsayısı, yarı değer kalınlığı, onda bir kalınlık değeri ve serbest yol mesafesinin analizleri yapılarak grafik çizimleri gerçekleştirilmiştir.

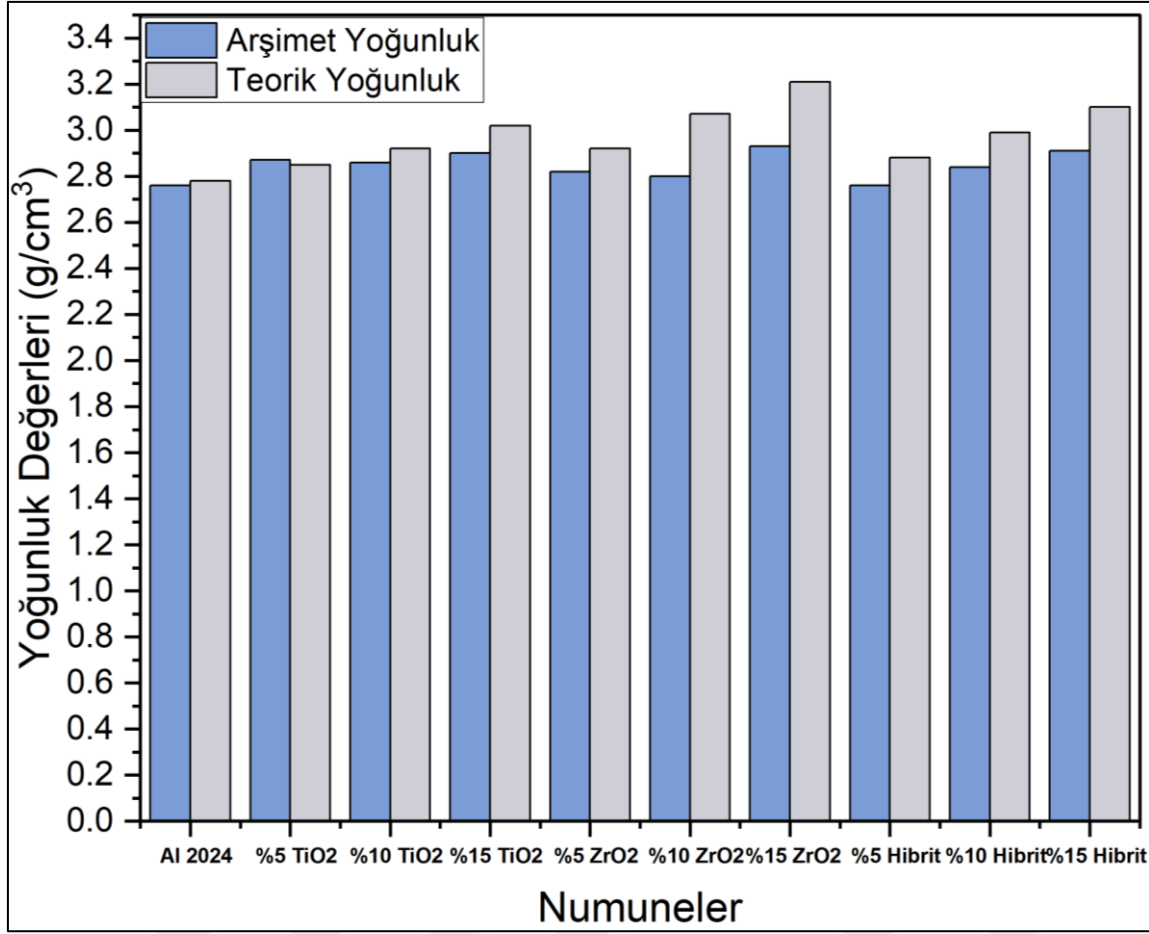


4. DENEYSEL VE TEORİK BULGULAR

Bu tez kapsamında AA2024 matrisli TiO_2 , ZrO_2 , hibrit takviye elemanlı kompozit/hibrit numuneler ve takviye malzemesiz AA2024 kompozit numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Phy-X/PSD programı ile numunelerin radyoaktif geçirgenlik özellikleri teorik olarak hesaplanmıştır. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin Arşimet prensibi ile yoğunluk ölçümü, sertlik, çapraz kırılma, EDS, SEM, optik mikroskop cihazları kullanılarak deneysel süreci tamamlanmıştır. Tamamlanan test süreci sonucunda elde edilen bulgular tartışılmak üzere bu başlık altında incelenecektir.

4.1. Yoğunluk Ölçümleri

Teorik yoğunluk, üretilen malzemelerin mükemmel olduğunu, içerisinde gözeneklerin ve kusurların olmadığını varsayar. Ancak hibrit/kompozit numunelerin üretimi sırasında kullanılan (AA2024, TiO_2 , ZrO_2) malzemelerin toz malzemeler olması sebebi ile içerisinde gözenekler bulunmaktadır. Bu sebeple numunelerin üretimi sırasında sıcak pres kullanılmıştır. Sıcak presleme işlemi esnasında toz malzemeler basınç ve sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Numuneler içerisinde bulunan gözeneklilik oranının düşmesi ve dolayısıyla daha küçük alana daha yoğun malzeme girmesinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Kompozit/hibrit numunelerin teorik ve deneysel yoğunluk değerleri Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



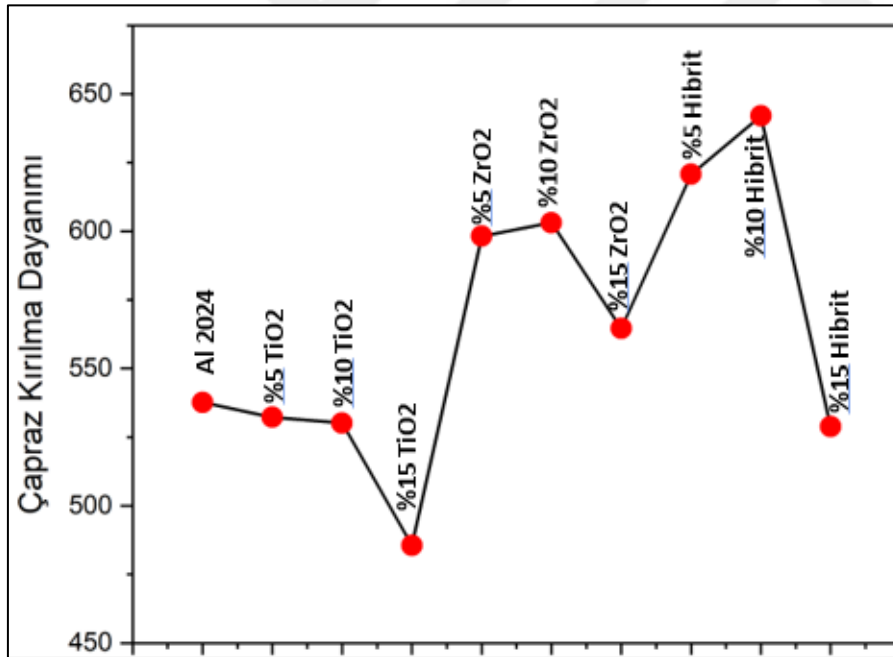
Şekil 4.1. Numunelerin teorik ve Arşimet prensibi ile ölçülmüş yoğunluklarının kıyaslanması

Üretimi gerçekleştirilen bütün numunelerin Arşimet yoğunluk değerleri, teorik yoğunluk değerlerinden düşük çıkmıştır. AA2024 matris malzemesinin içerisine farklı oranlarda (%5, %10 ve %15) eklenen takviye elemanları (TiO₂ ve ZrO₂) ile AA2024 kompozit malzemesinin yoğunluk değerlerinde artışlar yaşanmıştır. Üretimi gerçekleştirilen numuneler içerisinde %15 ZrO₂ kompozit malzemesi yaklaşık 3.21 g/cm³ teorik yoğunluk ve 2.93 g/cm³ arşimet yoğunluk değeri ile en yüksek yoğunluğa sahip malzeme olmuştur. Kullanılan tozların parçacık boyutlarının, yoğunluk değerlerinin, preslenebilirliklerinin farklı olması sebebi ile kompozit içerisinde takviye oranları aynı olsa dahi her bir malzemenin nihai yoğunlukları birbirinden farklılık göstermektedir. En düşük yoğunluk ölçümü 2,76 g/cm³ Arşimet yoğunluk değeri ile takviye malzemesi içermeyen AA2024'te gözlemlenmiştir. Hibrit kompozitlerde ise TiO₂ ve ZrO₂ katkılı numunelerin sahip olduğu yoğunluk değerlerinin ortasında değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Teorik yoğunluk değerleri malzemenin porozitenin varlığını dahil edilememesinden dolayı gerçek yoğunluk

değerlerinden daha yüksek hesaplanır [56]. Bu sebeple numunelerin Arşimet yoğunluk değerleri teorik yoğunluk değerlerine göre daha düşük olarak hesaplanmıştır.

4.2. Çapraz Kırılma Test Sonuçları

Her bir numune için şekil değiştirilebilirlik ve kırılma dayanımları çapraz kırılma testi ile ölçülmüştür. Test aşaması tamamlanan numuneler arasından oluşturulan grafikler incelendiğinde maksimum çapraz kırılma dayanımı yaklaşık olarak 642 MPa ile %10 oranında hibrit takviye elemanı kullanılmış AA2024 matrisli kompozitler sergilemiştir. Şekil 4.2’de verilen grafik incelendiğinde her bir katkı oranı arasında en yüksek çapraz kırılma dayanımı gösteren numuneler %10 ve %5 oranında hibrit takviye elemanı içeren numuneler olmuşlardır. Bu sırayı sırasıyla ZrO₂ ve TiO₂ takviye elemanlı numuneler takip etmektedir.



Şekil 4.2. Üretilen numunelerin çapraz kırılma dayanım sonuçları

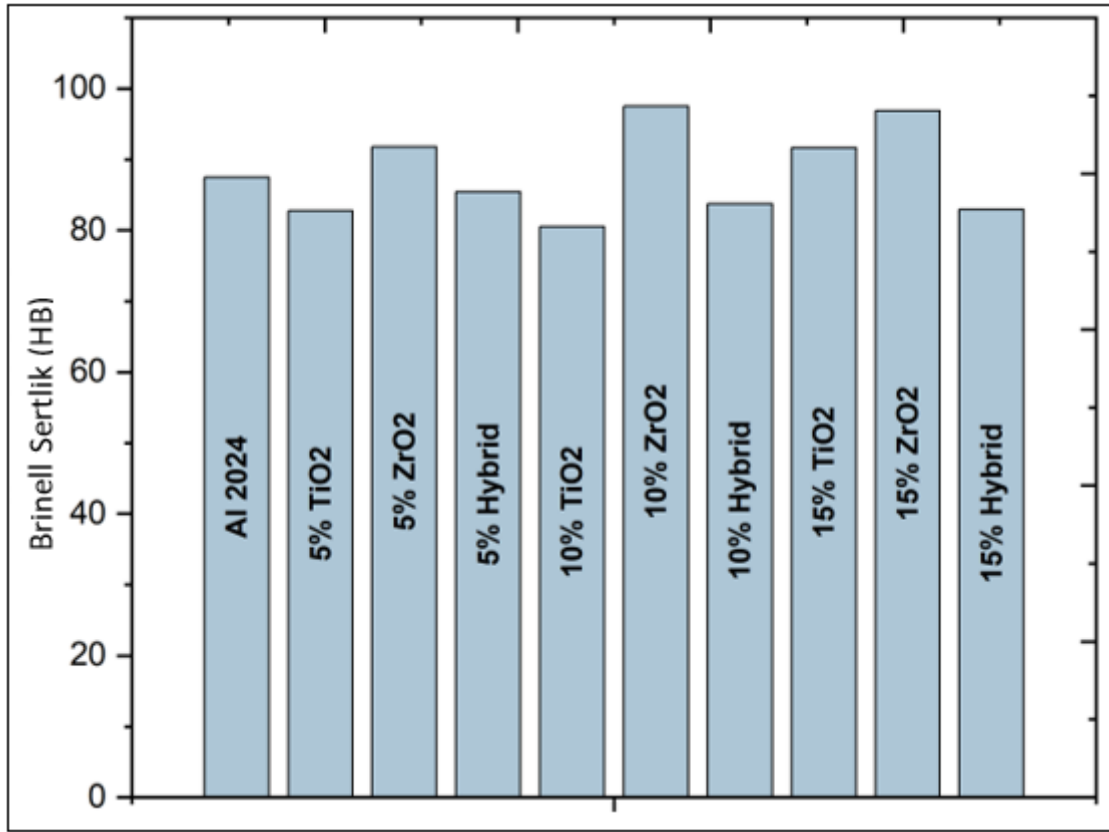
Numunelerin sertlik değerlerine bağlı olarak üç nokta eğme test sonuçları farklılık göstermektedir. ZrO₂ malzemesi TiO₂'ye göre sertlik değeri yüksek bir malzemedir. Bu sebeple çapraz kırılma dayanımı TiO₂ takviyeli numunelere göre daha yüksektir. Genel anlamda %10 oranında takviye elemanı içeren numuneler kendi takviye eleman grubunda en iyi çapraz kırılma dayanımı gösteren numuneler olmuşlardır. En yüksek çapraz kırılma

dayanımı 642 MPa ile %10 hibrit takviyeli kompozitlerde gözlenirken, en düşük çapraz kırılma dayanımı 485.57 MPa ile %15 TiO_2 parçacık takviyeli kompozitlerde gözlemlenmiştir. Takviye elemanları incelendiğinde takviyesiz AA2024 alaşıma kıyasla ZrO_2 'nin sertlik değeri yüksek bir malzeme olması ZrO_2 içeren numunelerde dayanıklılığı artırmıştır. Bununla birlikte TiO_2 malzemesi kendi başına yeterli dayanım göstermese dahi ZrO_2 ile bir araya geldiğinde hibrit/kompozit numunelerin iyi bir kırılma dayanımı göstermesine sebep olmuştur.

Numunelerin sonuçları kıyaslandığında %15 oranında takviye elemanı içeren numuneler kendi grubunda en düşük dayanıma sahip numuneler olmuşlardır. Bunun sebebi kompozit malzeme içerisindeki parçacık miktarının artmasına bağlı olarak malzeme gözenekliliğinin de artmış olması sonucu malzeme dayanımının düşmesidir. Çapraz kırılma mukavemeti, malzemenin sertlik değerleri ile bağlantılıdır. Sertliği yüksek olan malzemelerin aynı zamanda çapraz kırılma direncinin de yüksek olması beklenir [74]. Bu nedenle, ZrO_2 parçacıkları içeren malzemeler TiO_2 ile güçlendirilmiş MMC'lerden daha iyi çapraz kırılma direnci göstermiştir. Hibrit kompozit numunelerin göreceli yoğunluk sonuçları ZrO_2 ile güçlendirilmiş MMC'lerden daha iyidir. Bağlı yoğunluk arttıkça gözeneklilik miktarı azalır. Bununla birlikte malzemenin dislokasyon oluşumuna karşı dayanımı da artmaktadır [75]. Sonuçta Hibrit MMC numunesinin, ZrO_2 ile güçlendirilmiş MMC'lerden daha iyi çapraz kırılma mukavemeti ile sonuçlandığını göstermektedir.

4.3. Brinell Sertlik Ölçüm Sonuçları

Numuneler üretimleri tamamlandıktan sonra sertlik ölçüm cihazında Brinell sertlik ölçüm metodu kullanılarak ölçümleri alınmıştır. Her bir numunenin orta hizasından eşit aralıklar olacak şekilde 5 nokta belirlenip bu noktalar üzerinden sertlik değerleri alınmıştır. Şekil 4.3'te katkısız ve takviye elemanı içeren numunelere ait sertlik değerleri, bu numunelerin 5 noktada ölçülen sertlik değerlerinin ortalamasıdır. Grafiğe bakıldığında en yüksek sertlik değeri %10 ZrO_2 katkılı AA2024 alaşım üzerinde ölçülürken en düşük sertlik değeri %10 TiO_2 katkılı AA2024 alaşımında gözlemlenmiştir. TiO_2 ve ZrO_2 arasında gözlemlenen sertlik değeri farklılıkları sebebiyle hibrit numunelerde ortalama sertlik değerlerinin gözlemlenmesiyle sonuçlanmıştır.

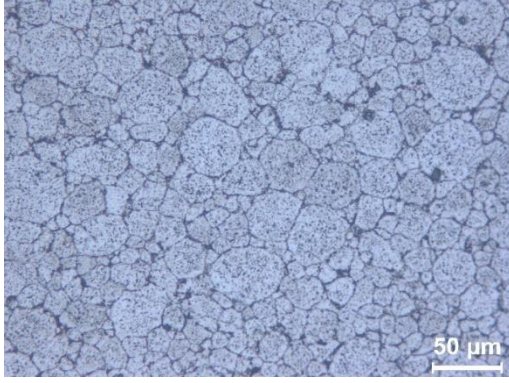


Şekil 4.3. Brinell Sertlik ölçüm sonuçları

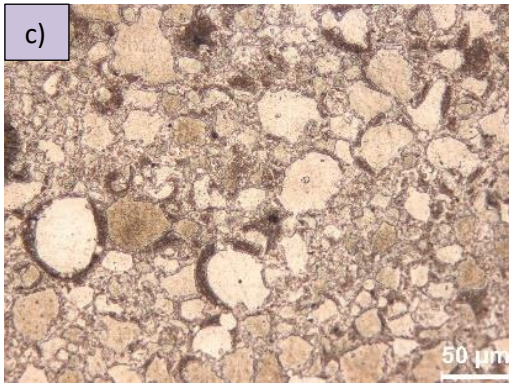
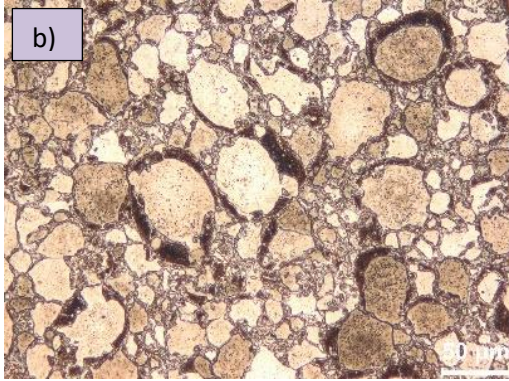
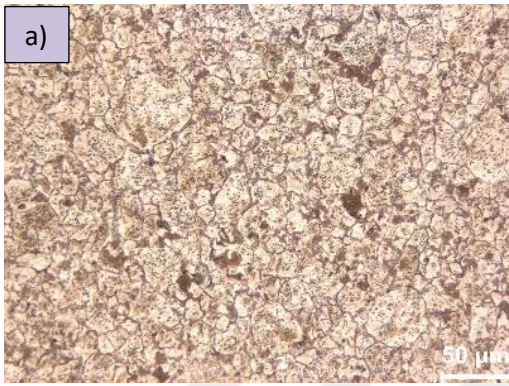
ZrO₂ katkılı kompozitler diğer takviye elemanlarının bulunduğu numunelere göre daha yüksek sertlik yapısında gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ZrO₂ malzemesinin yapısı gereği TiO₂'ye göre daha sert bir malzeme olmasındandır [17].

4.4. Optik Mikroskop Görüntü Sonuçları

Bakalite alma, zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerinden sonra optik mikroskop aracılığı ile elde edilen optik görüntüleri Resim 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.

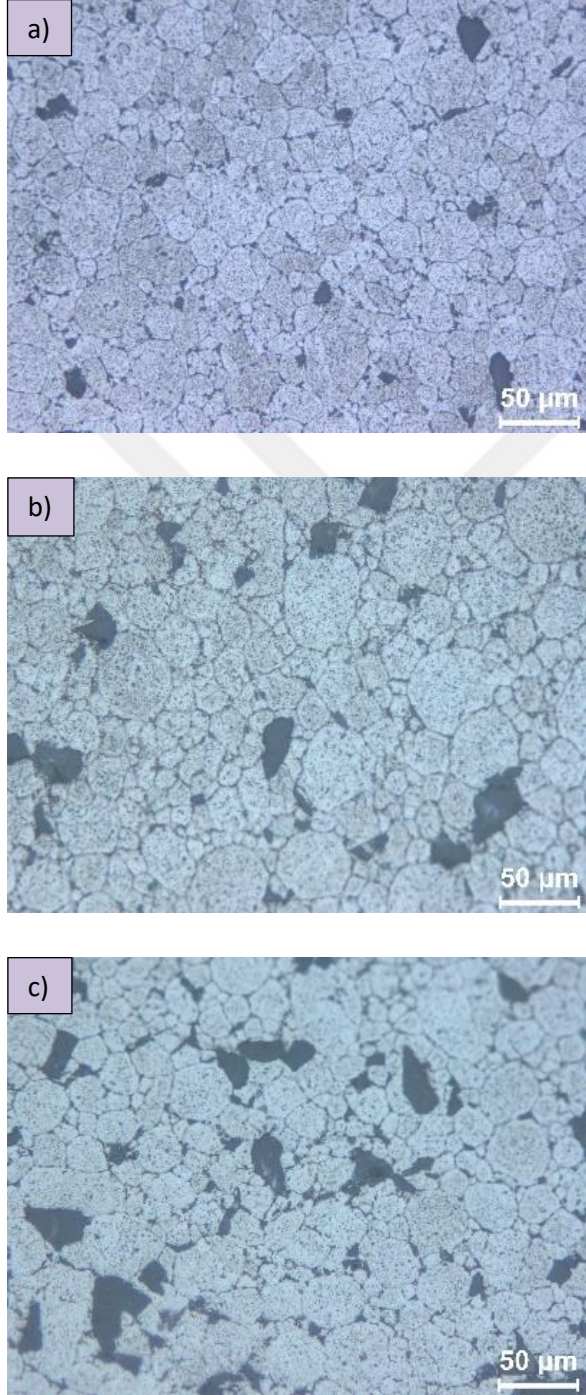


Resim 4.1. Takviye elemanı dahil edilmemiş AA2024 alaşımına ait optik görüntüler

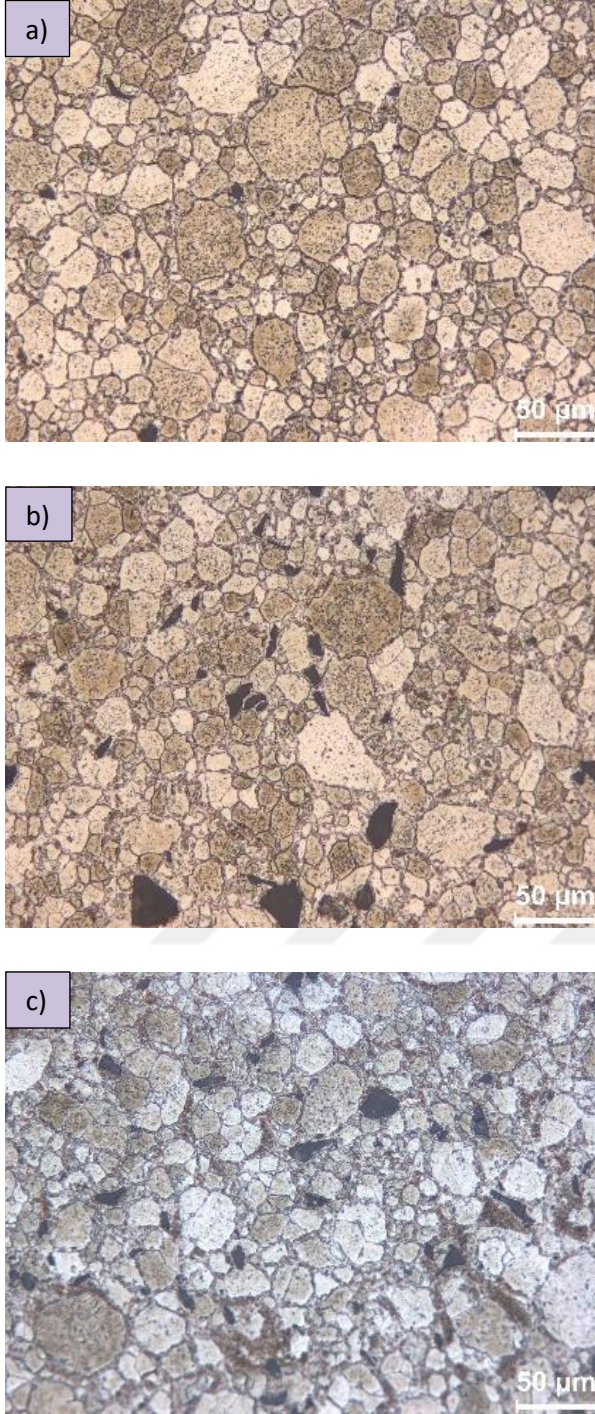


Resim 4.2. TiO_2 katkılı numunelere ait optik görüntüler a) %5 TiO_2 katkılı AA2024 b) %10 TiO_2 katkılı AA2024 c) %15 TiO_2 katkılı AA2024

Resim 4.2-4.4'te bulunan takviye elemanı içeren ve içermeyen tüm numuneler x100 oranında büyütülerek incelenmiş ve görüntüler elde edilmiştir.



Resim 4.3. ZrO₂ katkılı numunelere ait optik görüntüler a) %5 ZrO₂ katkılı AA2024
b) %10 ZrO₂ katkılı AA2024 c) %15 ZrO₂ katkılı AA2024



Resim 4.4. Hibrit katkılı numunelere ait optik görüntüler a) %5 Hibrit katkılı AA2024

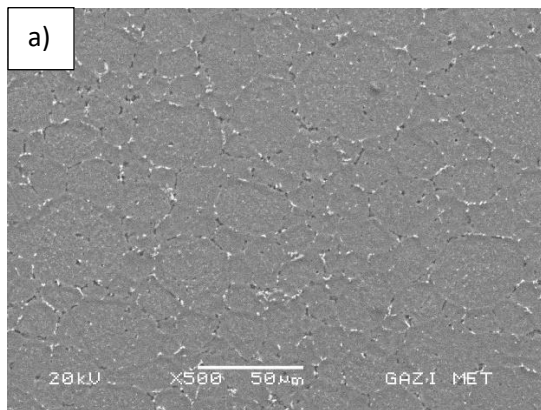
b) %10 Hibrit katkılı AA2024 c) %15 Hibrit katkılı AA2024

Resim 4.2-4.4 incelendiğinde takviye malzemelerinin matris içerisinde homojen dağılımı görülmektedir. Takviye malzemesinin matrise dahil edilme oranı arttıkça yüzey gözenekliliği artmıştır. Optik görüntülerde toz sınırlarının birbirine yaklaştığı görülmektedir. Yer yer sinterleme işleminin yetersiz kalması sonucu tane büyümlerinin

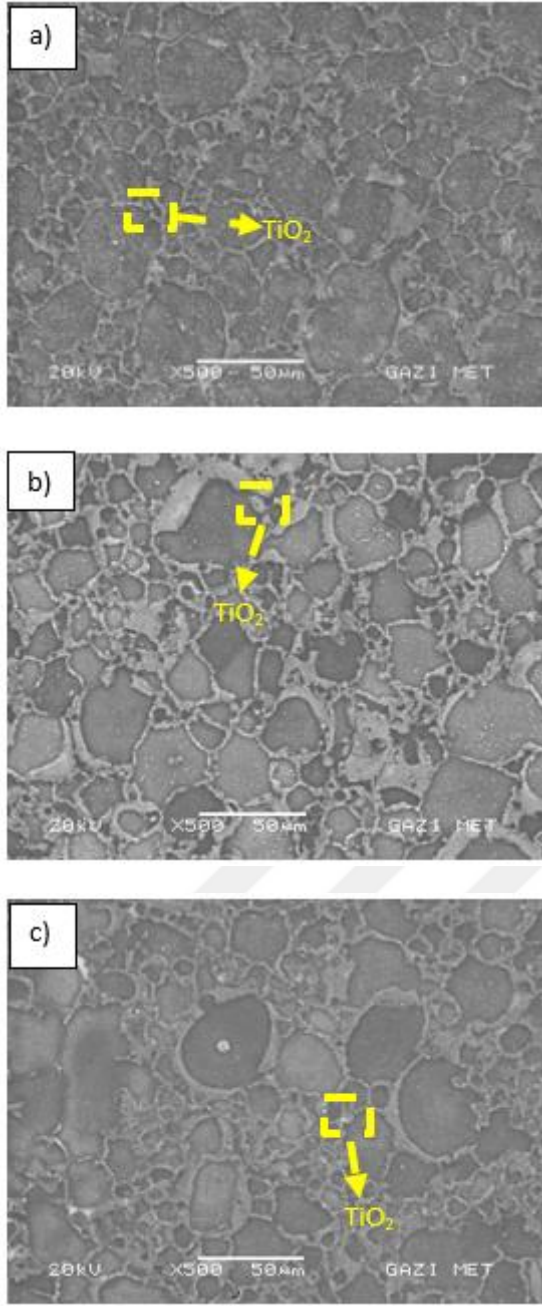
meydana geldiği gözlemlenmiştir. Maksimum oranda gözenekliliğin gözlemlendiği numuneler %15 oranında ZrO_2 içeren numunelerdir. Gözeneklilik oranı numunelerin Arşimet ve teorik yoğunlukları kıyaslanarak bağıl yoğunluk değerine göre yorumlanabilir. Teorik yoğunluk değerine kıyasla arşimet yoğunluğunun çok daha düşük gözlemlendiği numunelerin bağıl yoğunluk değeri düşüktür. Bu durum numune içerisinde gözeneklenme olduğunu gösterir [36]. ZrO_2 takviyeli numuneler takviye elemanına bağlı olarak diğer numunelere kıyasla daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Bununla birlikte hesaplanan teorik yoğunluğa kıyasla çok daha düşük Arşimet yoğunluk değeri elde edilmiştir. Gözeneklilik oranı ZrO_2 katkılı numunelerden sonra sırasıyla en çok hibrit ve TiO_2 katkılı numunelerde ve katkı oranı ile doğru orantılı olacak şekilde görülmüştür. TiO_2 takviye elemanı içeren numunelerin optik görüntülerinde tane boyutlarında küçülme görülmektedir. TiO_2 parçacıklarının tane sınırında yer alması ile tane büyümesinin önüne geçilmiştir [16]. ZrO_2 parçacıkları optik görüntülerde ayırt edilebilirdir. Parçacık ve matris fazı arasında oluşan ara yüzey fazları ıslatılabilirlik durumunun yetersiz kaldığı durumlarda tane büyümeleri gözlemlenmiştir.

4.5. SEM ve EDS Analizleri

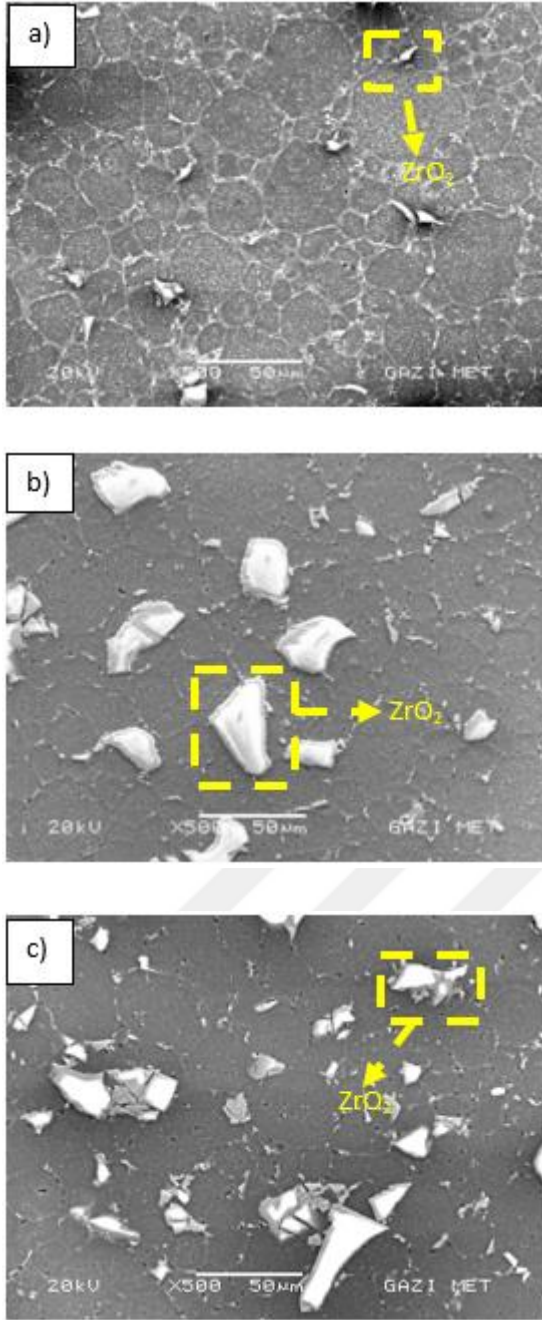
Malzeme dağılım tanımlamalarının doğru bir biçimde yapılabilmesi adına takviye elemanı içeren numunelerin SEM ve EDS görüntüleri elde edilmiştir. Resim 4.5'te görüldüğü üzere takviye elemanı içermeyen AA2024 malzeme içerisinde porozite yok denecek kadar az miktarda gözlemlenmektedir. Farklı katkı oranları içeren her numunenin SEM görüntüleri X500 oranlarında büyütülerek incelenmiştir.



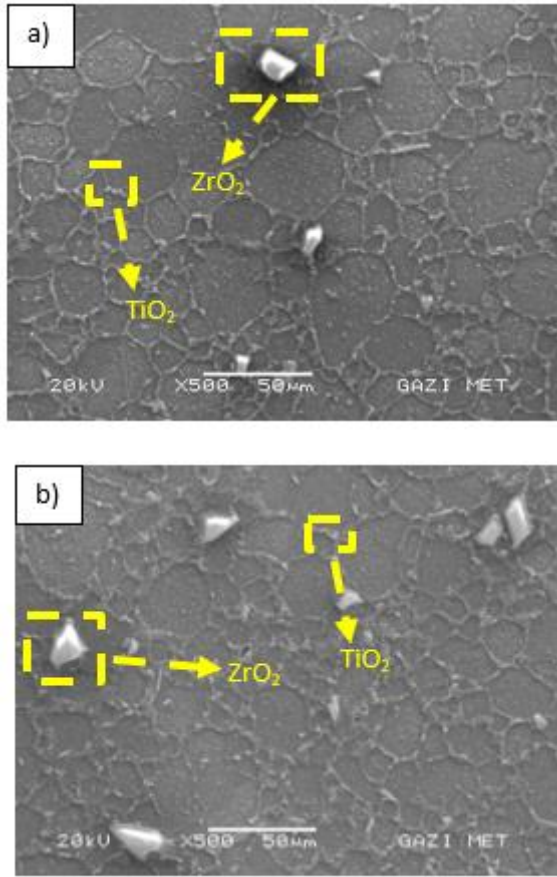
Resim 4.5. X500 oranında incelenen takviye elemanı içermeyen AA2024 alaşımın SEM görüntüleri



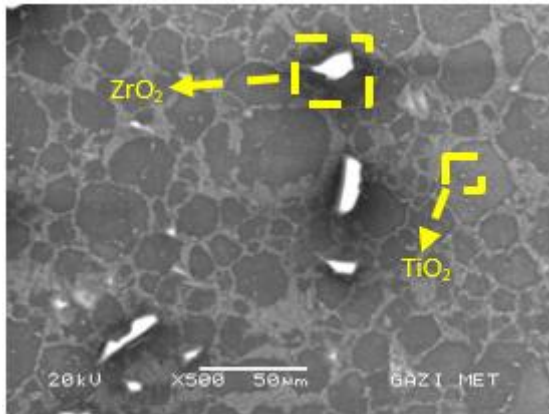
Resim 4.6. X500 oranında incelenen TiO₂ takviye elemanı içeren MMK'lerin SEM görüntüleri a) %5 TiO₂ takviye elemanı içeren numune b) %10 TiO₂ takviye elemanı içeren numune c) %15 TiO₂ takviye elemanı içeren numune



Resim 4.7. X500 oranında incelenen ZrO₂ takviye elemanı içeren MMK'lerin SEM görüntüleri a) %5 ZrO₂ takviye elemanı içeren numune b) %10 ZrO₂ takviye elemanı içeren numune c) %15 ZrO₂ takviye elemanı içeren numune



Resim 4.8. X500 oranında incelenen hibrit takviye elemanı içeren MMK'lerin SEM görüntüleri a) %5 hibrit takviye elemanı içeren numune b) %10 hibrit takviye elemanı içeren numune



Resim 4.9. X500 oranında incelenen %15 hibrit takviye elemanı içeren numuneye ait SEM görüntüleri

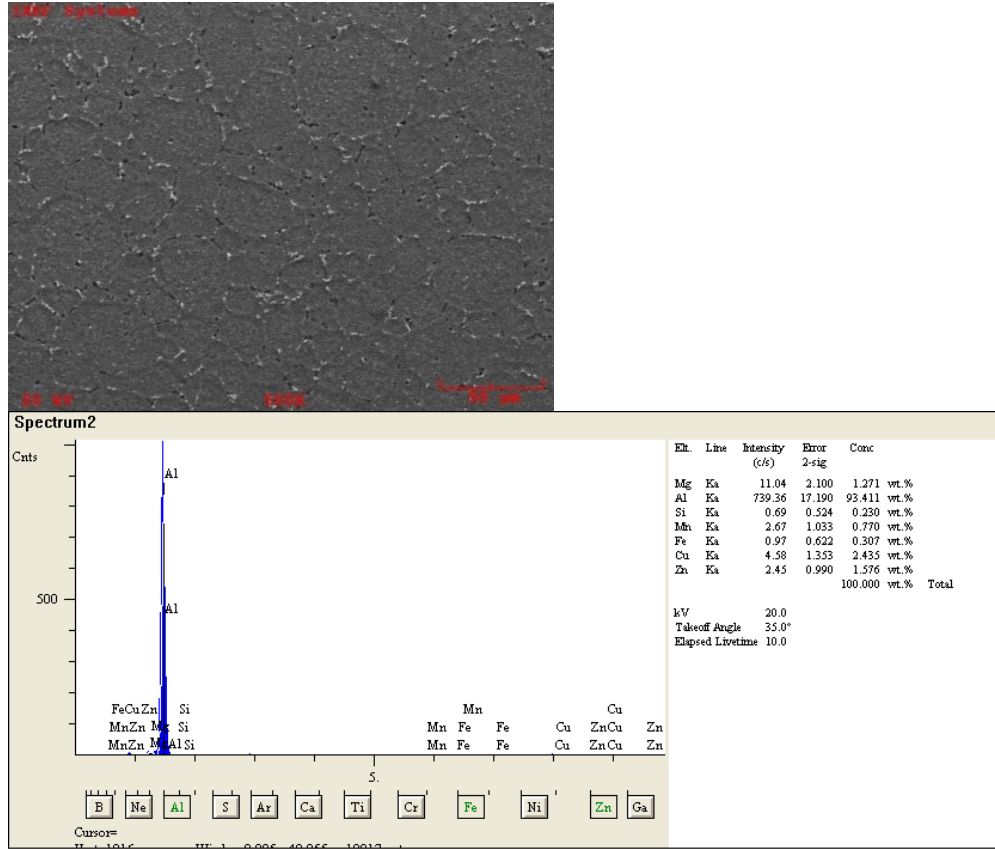
SEM görüntüleri incelendiğinde katkı oranından bağımsız olarak katkı elemanının matris ile uyumu görülmektedir. Görüntüler takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağıldığını göstermektedir. SEM görüntüleri numune yüzeylerinin bazı bölgelerinde

kısmen parçacık kümelenmelerinin olduğunu göstermektedir. Tamamlanan sıcak pres işleminin numune içerisindeki kümelenmeleri dağıttığı ve seramik takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımını sağladığı düşünülmektedir [37].

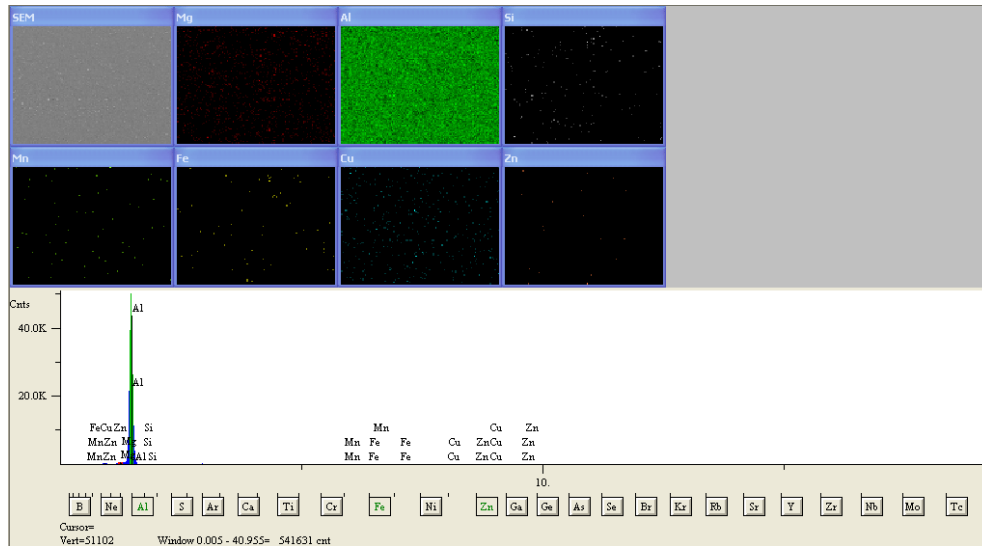
Şekil 4.6-4.9'daki SEM görüntüleri incelendiğinde, tane sınırları gözlemlenmektedir. TiO_2 parçacıkları numune içerisinde yayılım gösterirken ZrO_2 parçacıkları tane sınırlarında yer almıştır. Takviye elemanlarının artışıyla birlikte tane sınırlarının birbirine yaklaştığı gözlemlenmiştir.

TiO_2 katkılı metal matris kompozitler daha bütünleşmiş olarak gözlemlenirken ZrO_2 katkılı kompozitlerde matris fazı ve takviye fazı arasında yer yer boşlukların olduğu gözlemlenmiştir. Porozite oluşumunun sebebi matris fazının takviye fazında ıslatılabilir olması ile alakalıdır. SEM görüntülerinde özellikle ZrO_2 takviye elemanı parlak, köşeli ve poligonal yapıya sahip olmasıyla kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.

EDS analizi, toz metalurjisi yöntemiyle üretilen metal matris hibrit/kompozit numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. EDS analizinin yapılmasındaki temel amaç farklı oranlarda takviye elemanı içeren numunelerin içerdiği elementel yüzdeleri tayin etmektir. Matris elemanı olarak tercih edilen AA2024 alaşım ve takviye elemanları TiO_2 ve ZrO_2 'nin numune içerisindeki dağılımı, sıcak pres sonrası numunelerin içerdiği element oranları EDS analizi ile incelenmiştir. Resim 4.10'da ön alaşımlı takviye malzemesiz AA2024 içeren numune incelenmiştir.



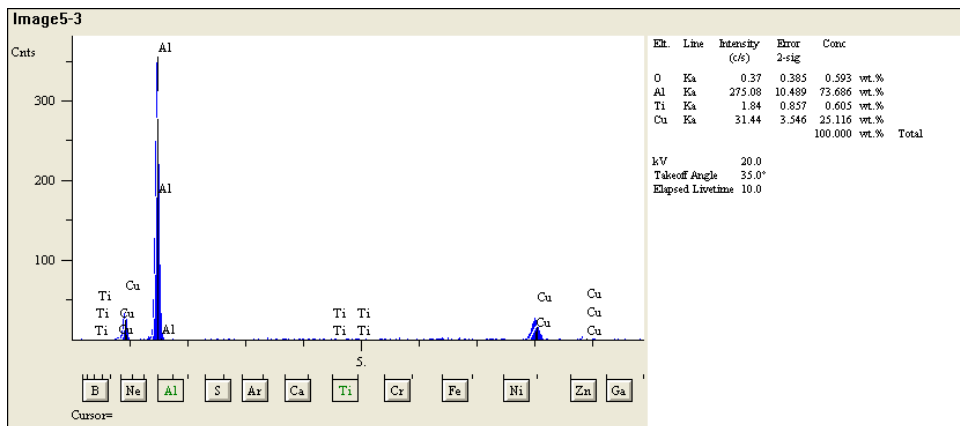
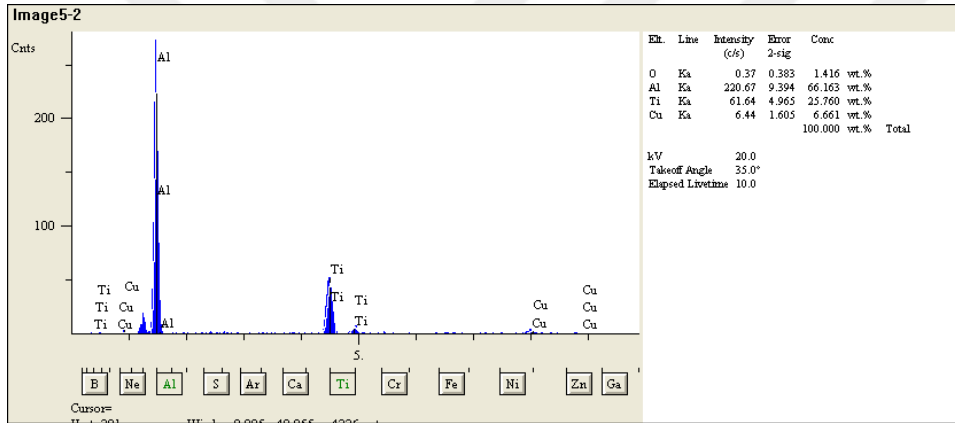
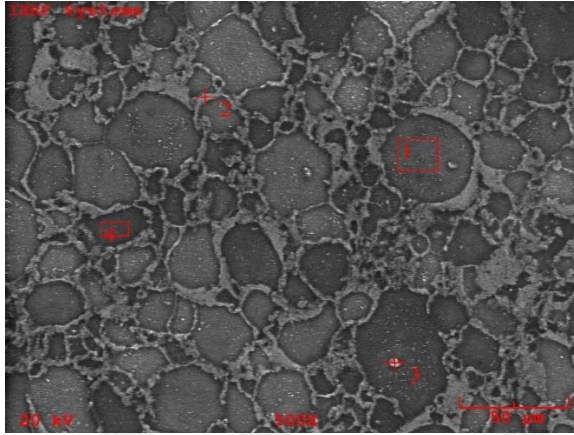
Resim 4.10. Takviye elemanı içermeyen AA2024 alaşım numunenin elementel incelenmesi



Resim 4.11. AA2024 alaşımının element içeriğinin detaylı görseli

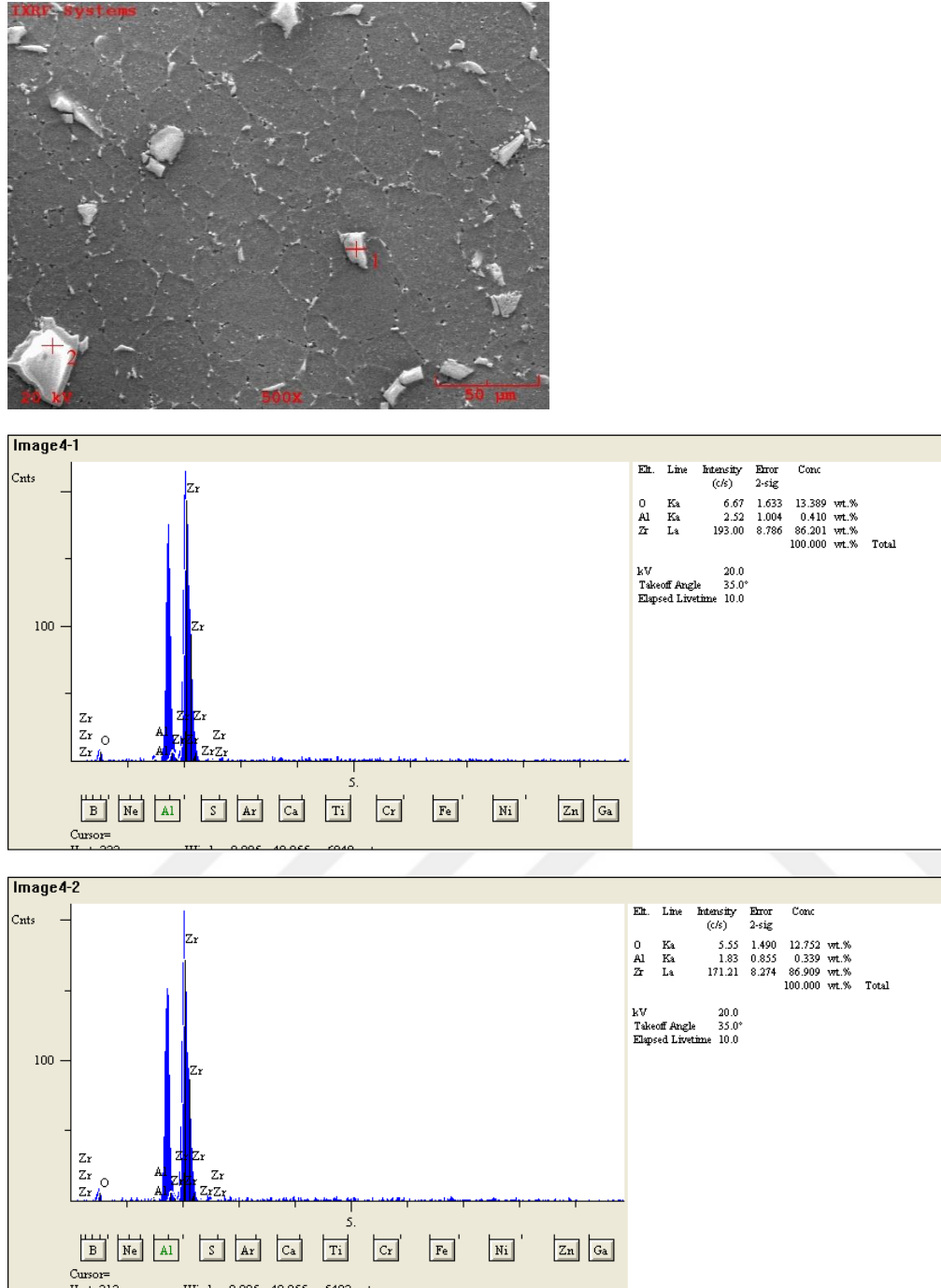
Resim 4.11'deki EDS analiz sonuçları incelendiğinde, alüminyum oranı %93.41 ile istenen ölçüde yoğun olarak gözlemlenmiştir. Alüminyumdan sonra ikinci olarak numunede en çok gözlemlenen element yaklaşık %2.44 oran ile bakır olmuştur. Bu sırayı takip eden

elementler %1.58 oranında zirkonyum ve %1.27 oranında numune içerisinde gözlemlenen magnezyumdur.



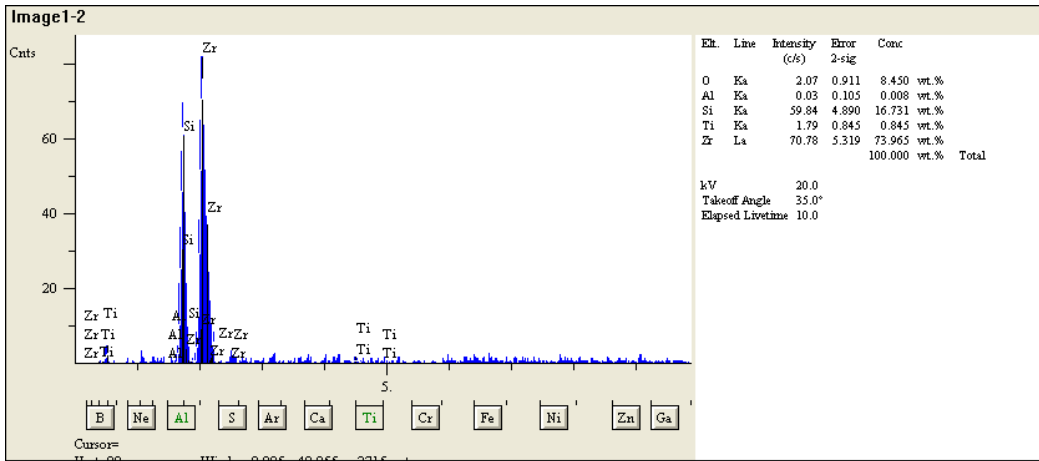
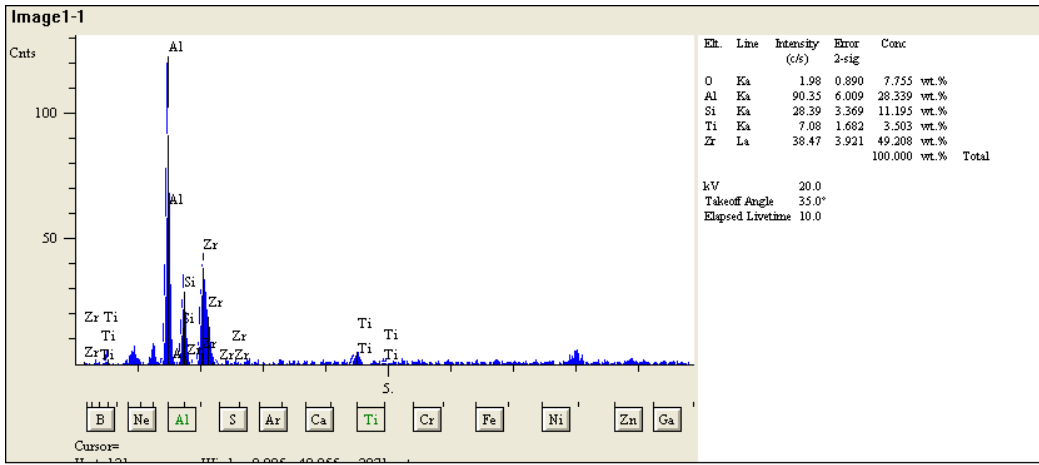
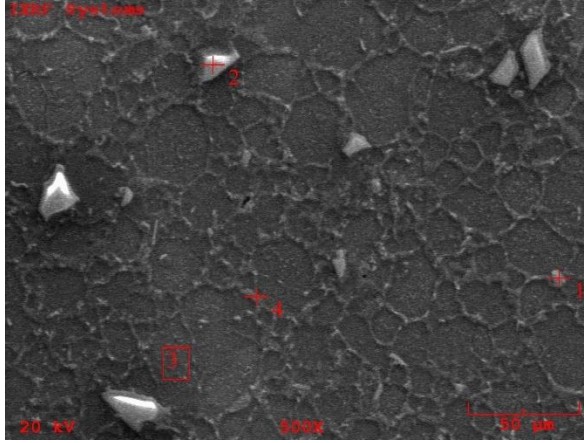
Resim 4.12. %10 TiO₂ katkılı metal matris kompozit numuneye ait EDS görüntüsü

Resim 4.12’de TiO₂ parçacıklı numunenin elementel oranı incelenmiştir. Yer yer topaklaşmalar gözlemlense dahi matris ve takviye fazının homojen dağıldığı söylenebilir.



Resim 4.13. %10 ZrO₂ katkılı metal matris kompozit numuneye ait EDS görüntüsü

Resim 4.13’de ZrO₂ parçacıklı numunenin elementel oranı incelenmiştir. Görüntü üzerindeki 1 numaralı nokta ZrO₂ parçacığını belirgin bir şekilde gösterir. Parçacık boyutu ve matris malzemesinin ıslatabilirliği sebebiyle ZrO₂ parçacıkları ve TiO₂ parçacıklarının matris ile uyumu farklılık göstermektedir.



Resim 4.14. %10 Hibrit katkılı metal matris kompozit numuneye ait EDS görüntüsü

Resim 4.14 hibrit parçacıklı MMK numunelerin EDS analizi ile elementel analizini göstermektedir. 1 numaralı alan incelendiğinde TiO_2 ve ZrO_2 parçacıkları gözlemlenmektedir. 1 numaralı alanda alaşım ve takviye elemanlarının ara faz oluşturduğu belirlenmiştir. 2 numaralı alanda ise alüminyum alaşım oranı yok denecek kadar azdır,

bununla birlikte ZrO_2 baskın olacak şekilde takviye elemanlarının karışımı gözlemlenebilir.

Her bir takviye elemanının matris içindeki elementel durumunun gözlemlenebilmesi adına %10 oranında takviyelendirilmiş kompozit numunelerin EDS görüntüsü incelenmiştir. Sonuçta spesifik olarak belirlenmiş noktalar üzerinden matris ve takviye faz dağılımı incelenmiştir.

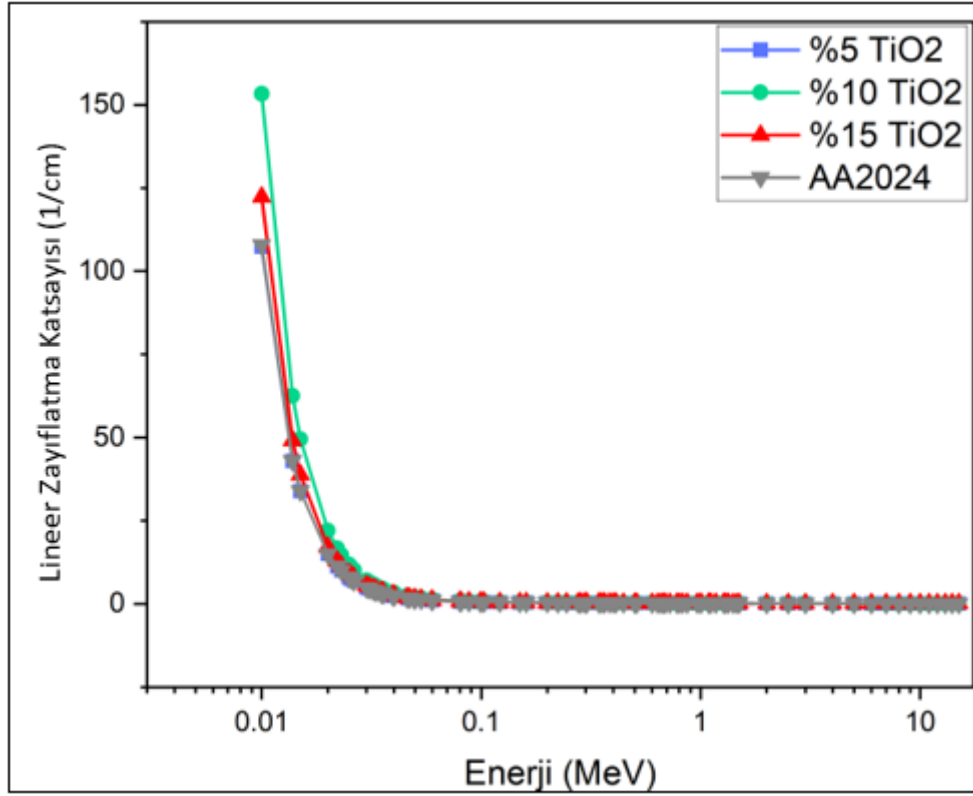
EDS görüntülerinin elde edilme süreci numunenin yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarptığında bu çarpışmadan dolayı, numune yüzeyinden bazı elektronlar kopması ile başlar. Eğer bu elektronlar içteki çekirdeğe yakın orbitallerden koparılmışlarsa atomlar kararlılıklarını kaybeder. Tekrar kararlı hale gelebilmek için dış orbitallerdeki elektronlar iç orbitallerdeki boşlukları doldururlar. Dış orbitallerdeki elektronların enerjileri iç orbitallerdeki elektronların enerjilerinden yüksek olduğu için fazla enerjiyi ışıma yolu ile kaybeder. Açığa çıkan X-ışını sayesinde elektronik alıcılar monitör üzerinde pikler oluşturur. Bu sayede elementel analiz tamamlanır [38].

Resim 4.10-4.14 incelendiğinde SEM görüntülerinde belirlenen noktalara gönderilen taramalı elektronlar sayesinde numune elementel dağılımı analiz edilmiştir. Bu sayede numunelerin içeriği incelenmiştir.

4.6. Radyasyon Geçirgenlik Test Sonuçları

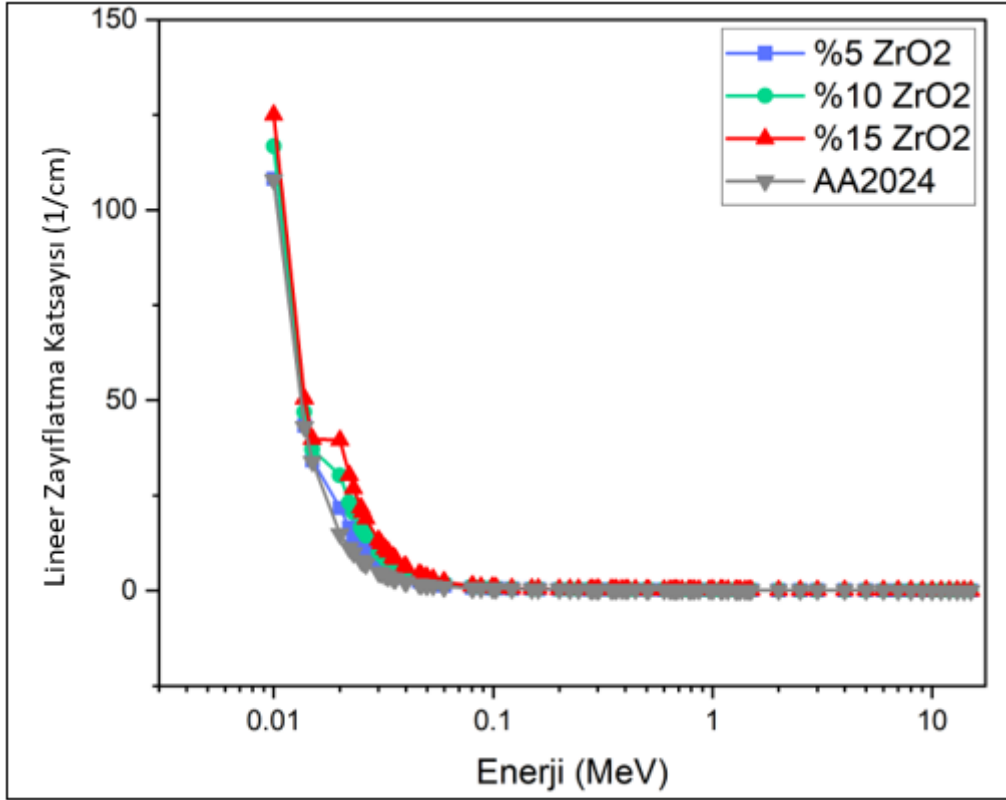
Kompozit malzemelerin teorik radyasyon geçirgenliklerini ölçmek üzere numunelerin yoğunluk değerleri teorik olarak hesaplanmıştır. İlk olarak numunelerin LAC değerleri hesaplanmıştır. Lineer zayıflatma katsayısı, bir fotonun birim uzunluk başına olası etkileşim ihtimalini inceler. Takviye elemanına göre gruplandırılan doğrusal zayıflatma katsayıları incelendiğinde Şekil 4.4'te bulunan %10 TiO_2 takviye malzemesi içeren MMK'ler en yüksek zayıflatma katsayısına sahip kompozit malzemeler olmuştur. Fotoelektrik olayın ($E < 0,512$ MeV) baskın olarak meydana geldiği $2,21 \cdot 10^{-2}$ (^{47}Ag) enerji seviyesinde %5 $TiO_2 + AA2024$ $11,258 \text{ cm}^{-1}$, %10 $TiO_2 + AA2024$ $16,625 \text{ cm}^{-1}$ değerini alırken %15 $TiO_2 + AA2024$ $12,908 \text{ cm}^{-1}$ değerlerini almaktadırlar. AA2024 malzemesinin içerisine eklenen TiO_2 beraber kompozit malzemenin yoğunluk değerinin artmasına rağmen AA2024 içerisinde var olan alaşım elementlerin azalması ile beraber atom

numarasında meydana gelen azalmasından dolayı %15 TiO₂ takviyeli kompozit malzemelerin LAC değerleri %10 takviyeli TiO₂ kompozit malzemeden daha düşük çıkmıştır.



Şekil 4.4. %5, %10 ve %15 oranlarında TiO₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin doğrusal zayıflatma katsayıları

ZrO₂ takviyeli kompozit malzemeler ise $2,21 \cdot 10^{-2}$ (⁴⁷Ag) enerji seviyesinde artan ZrO₂ takviye oranların da $16,551 \text{ cm}^{-1} < 23,174 \text{ cm}^{-1} < 30,297 \text{ cm}^{-1}$ değerlerini almıştır. ZrO₂ takviyeli kompozit malzemelerin TiO₂ takviyeli kompozit malzemelerden farklı olarak artan takviye oranlarında lineer artışın yaşanmasının sebebi AA2024 içerisine eklenen ZrO₂ seramik malzemesinin atom numarasının AA2024'in alaşım elementlerinden daha yüksek atom numarasına sahip olmasıdır.

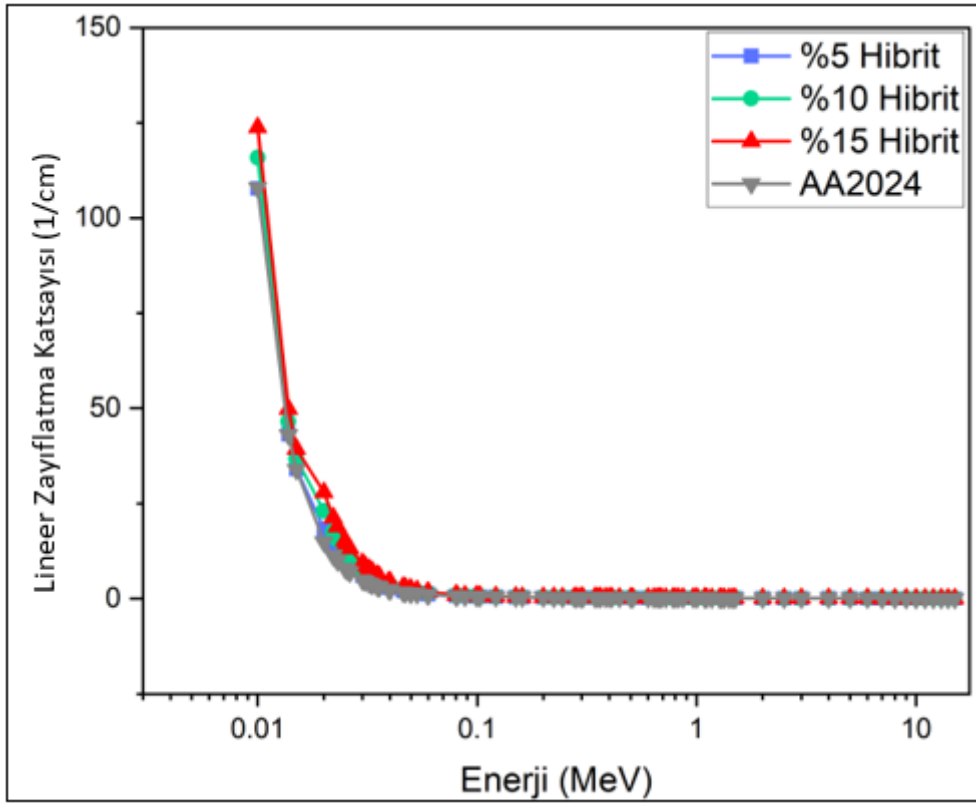


Şekil 4.5. %5, %10 ve %15 oranlarında ZrO₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin lineer zayıflatma katsayıları

ZrO₂ ve TiO₂ takviyeli hibrit kompozit malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları ZrO₂ takviye elemanı içeren numunelere yakın değerler almıştır.

Üretimi gerçekleştirilen numuneler arasında en düşük LAC değerine sahip malzeme AA2024 numunesidir.

Temelde LAC grafiğine bakıldığında logaritmik olarak artış gösteren enerji değeri karşısında lineer zayıflatma katsayısı tüm numuneler için geçerli olacak şekilde azalmıştır.

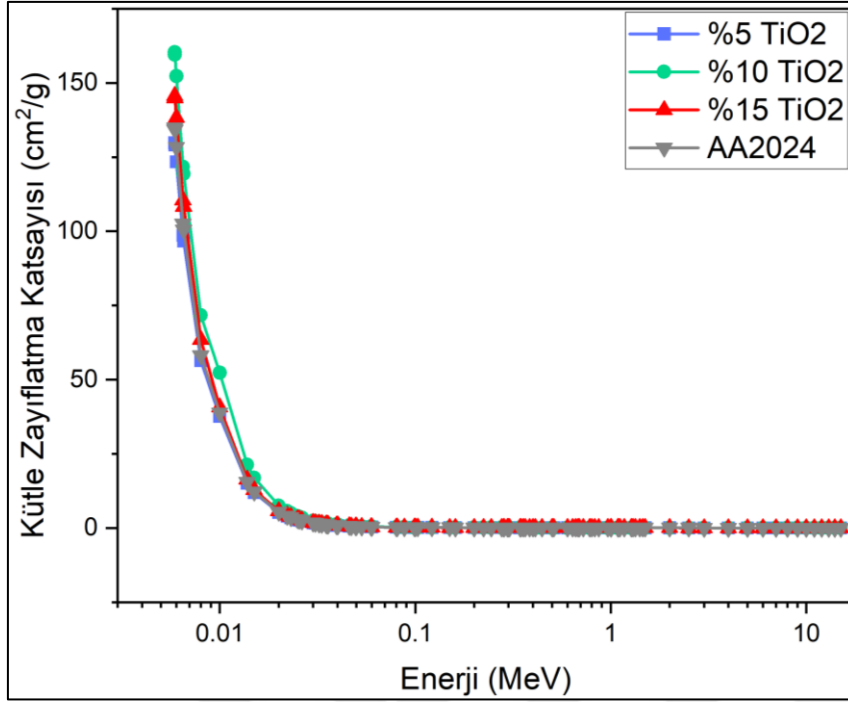


Şekil 4.6. %5, %10 ve %15 oranlarında hibrit takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin doğrusal zayıflatma katsayıları

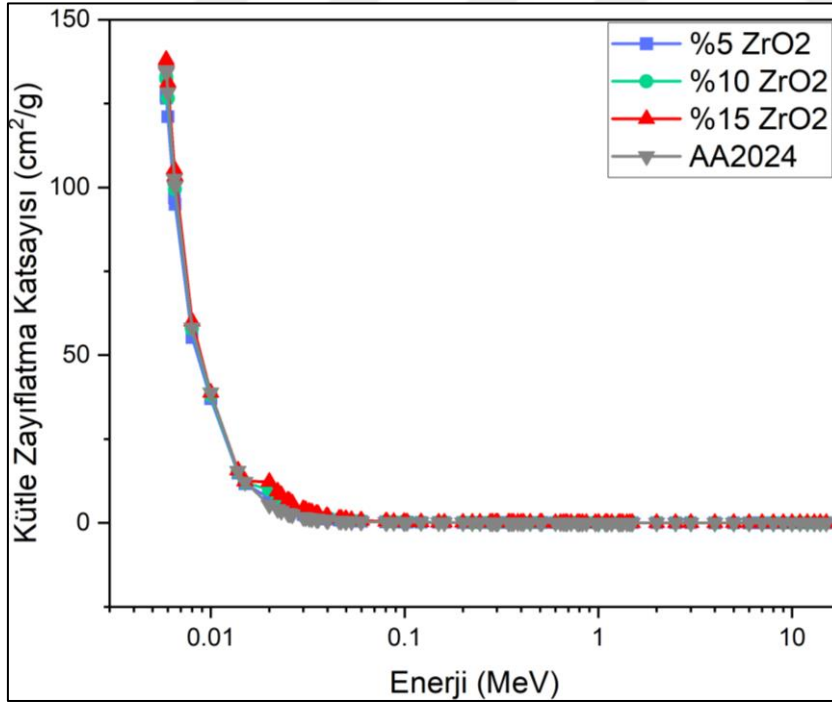
Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da sırasıyla TiO_2 , ZrO_2 ve hibrit katkılı metal matris kompozit malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları enerji oranının artmasına bağlı olarak incelenmiştir. Lineer zayıflatma katsayısı en yüksek elde edilen değer %10 oranında TiO_2 takviye elemanı içeren metal matris kompozit numuneler olmuştur. Bu sırayı %15 hibrit takviyeli kompozit ve %15 ZrO_2 oranında takviye elemanı içeren kompozit numuneler takip etmektedir. Lineer zayıflatma katsayısının en yüksek elde edildiği değerler %10 oranında takviye malzeme içeren numunelerde gözlemlenmiştir. Katkı oranına göre bu sıralamayı %5 ve %15 oranında katkı malzemesi içeren numuneler izlemiştir.

Gama zırh malzemesi seçiminde dikkat edilen parametreler başında zırh malzemesinin atom numarası ve yoğunluk değeri gelmektedir. Parametreler takviye elemanları sayesinde artırılmıştır.

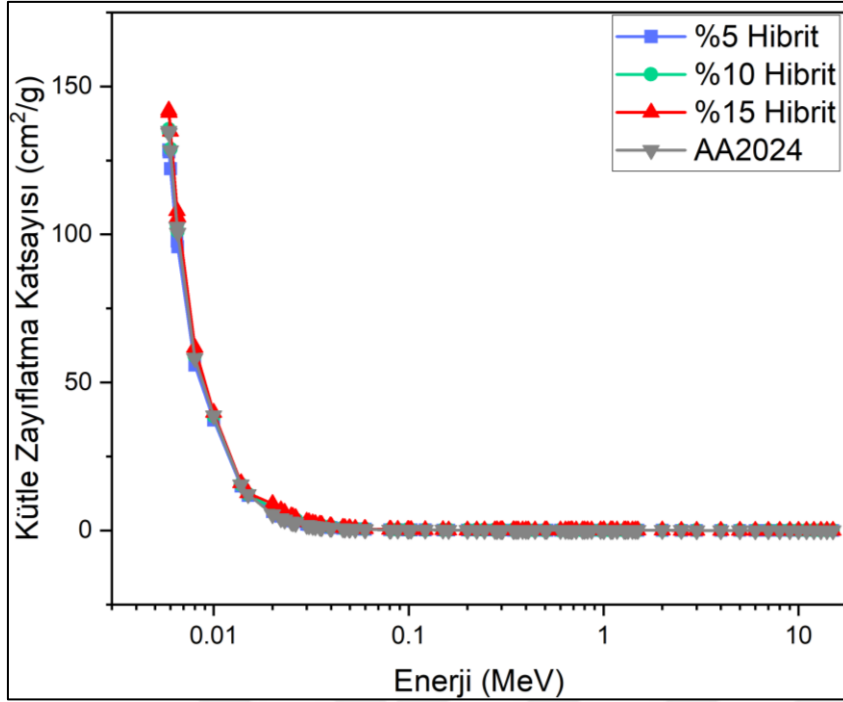
Kütle zayıflatma katsayısı, lineer zayıflatma katsayısının malzeme yoğunluğuna bölünmesi sonucu elde edilen değerlerdir. Şekil 4.21, 4.22 ve 4.23 sırasıyla TiO_2 , ZrO_2 ve hibrit katkılı metal matris kompozit numunelerin kütle zayıflatma katsayıları gösterilmektedir.



Şekil 4.7. %5, %10 ve %15 oranlarında TiO₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin kütle zayıflatma katsayıları



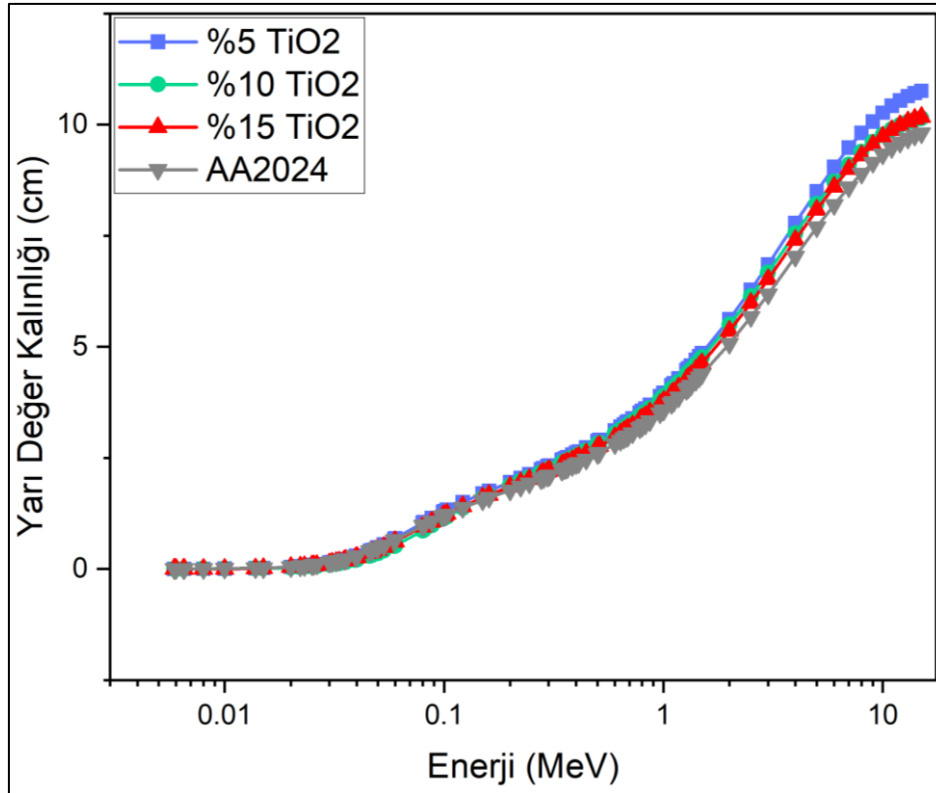
Şekil 4.8. %5, %10 ve %15 oranlarında ZrO₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin kütle zayıflatma katsayıları



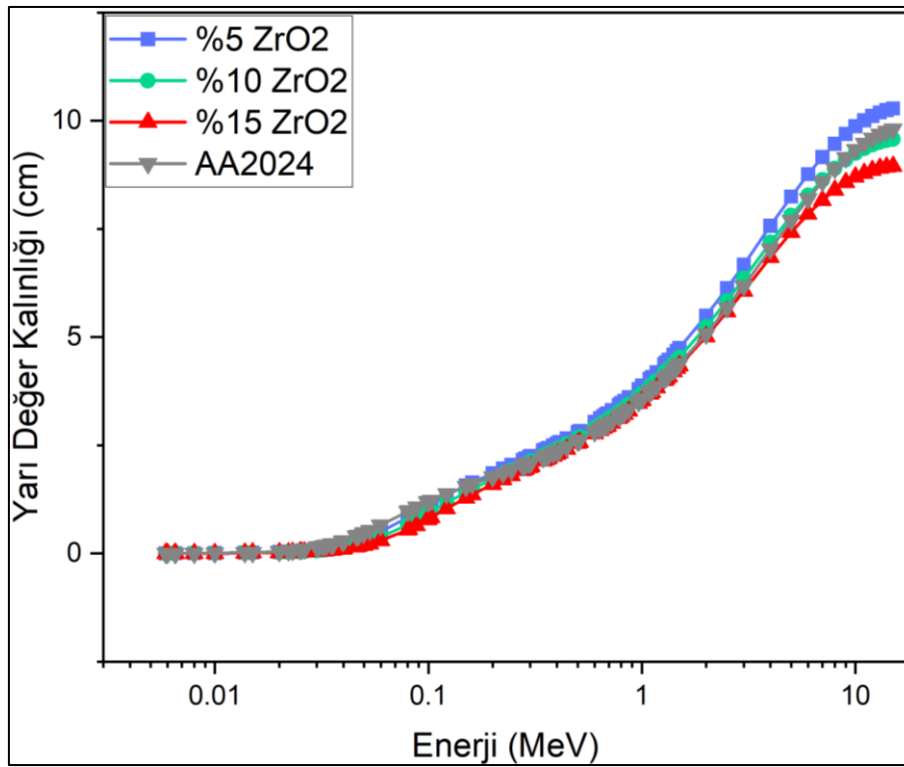
Şekil 4.9. %5, %10 ve %15 oranlarında hibrit takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin kütle zayıflatma katsayıları

Numunelerin teorik yoğunluklarının hesaplamalara dahil edilmesiyle LAC değerlerinden farklı sonuçlar elde edilse dahi yoğunluk ile orantılı sonuçlar grafikte gözlemlenmektedir. Her bir katkı oranında hesaplanan numunelerin kütle zayıflatma katsayıları incelendiğinde en yüksek MAC değerine sahip numune %10 oranında TiO_2 içeren kompozit numuneler olmuştur. Bu sırayı %15 oranında TiO_2 , %15 oranında hibrit ve %15 oranında ZrO_2 içeren numuneler takip etmektedir. Katkı oranları birbiri ile kıyaslandığında sırasıyla en yüksek MAC değerleri %15, %10 ve %5 oranında katkı malzemesi içeren numuneler olmuştur. ZrO_2 takviyeli kompozit malzemelerin LAC değerlerinde olduğu gibi MAC değerinin üretilen malzemeler içerisinde en yüksek değer almasının nedeni ZrO_2 takviyeli kompozit malzemelerin yoğunluk değerlerinin daha yüksek çıkmasıdır.

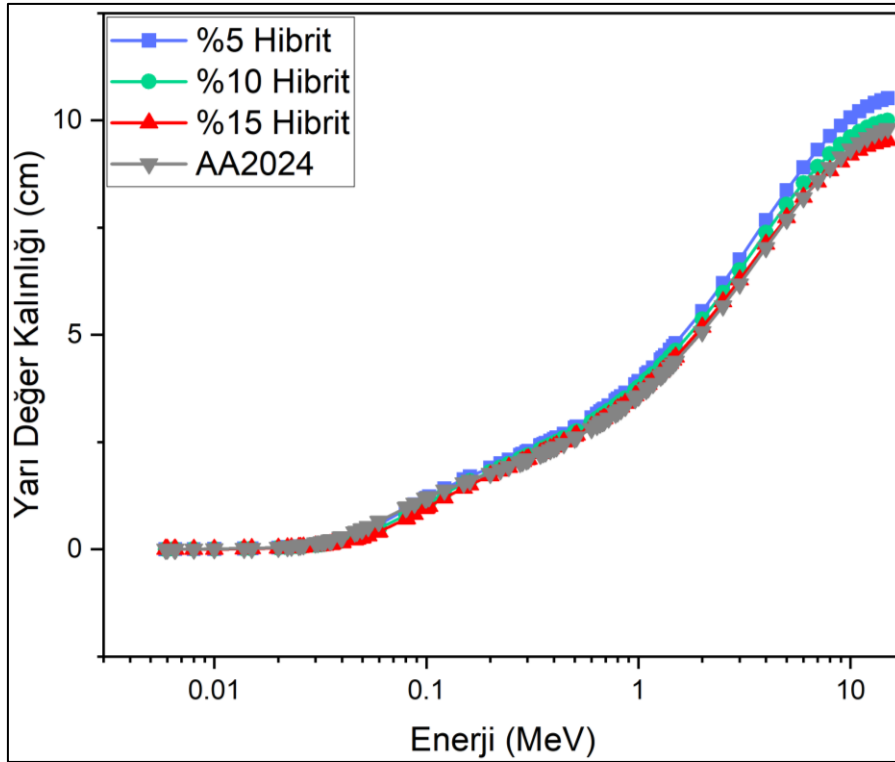
Compton saçılmasının baskın olduğu (0,512 MeV-1,02 MeV) enerji bölgesinde numunelerin MAC değerlerinde daha az dalgalanmalar görülmektedir. Çift oluşumun meydana geldiği ($E > 1,02$ MeV) enerjilerde ise MAC değerlerindeki dalgalanmalar minimum seviyeye inerek kararlı hale geçmektedirler.



Şekil 4.10. %5, %10 ve %15 oranlarında TiO₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin yarı değer kalınlıkları



Şekil 4.11. %5, %10 ve %15 oranlarında ZrO₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin yarı değer kalınlıkları



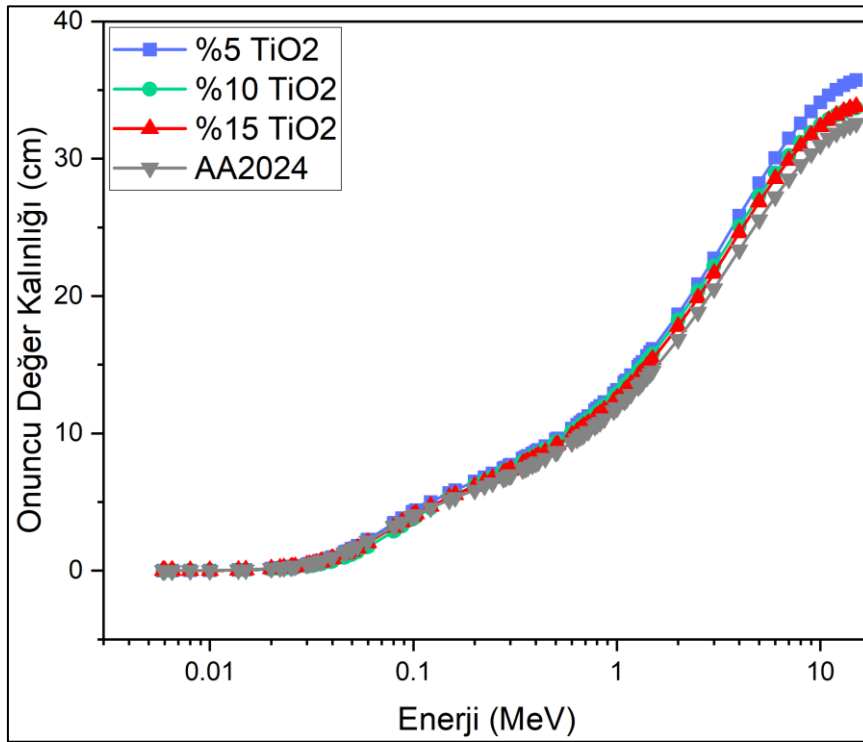
Şekil 4.12. %5, %10 ve %15 oranlarında hibrit takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin yarı değer kalınlıkları

Numunelerin yarı değer kalınlıkları ve onda bir değer kalınlıkları numunelerin zırlama özellikleri hakkında bilgi verirler. Zırh malzemesinin üretim sürecinde kalınlık tercihini etkiler. Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12 her bir takviye elemanı için farklı katkı oranları içeren numunelerin yarı değer kalınlıklarını göstermektedir.

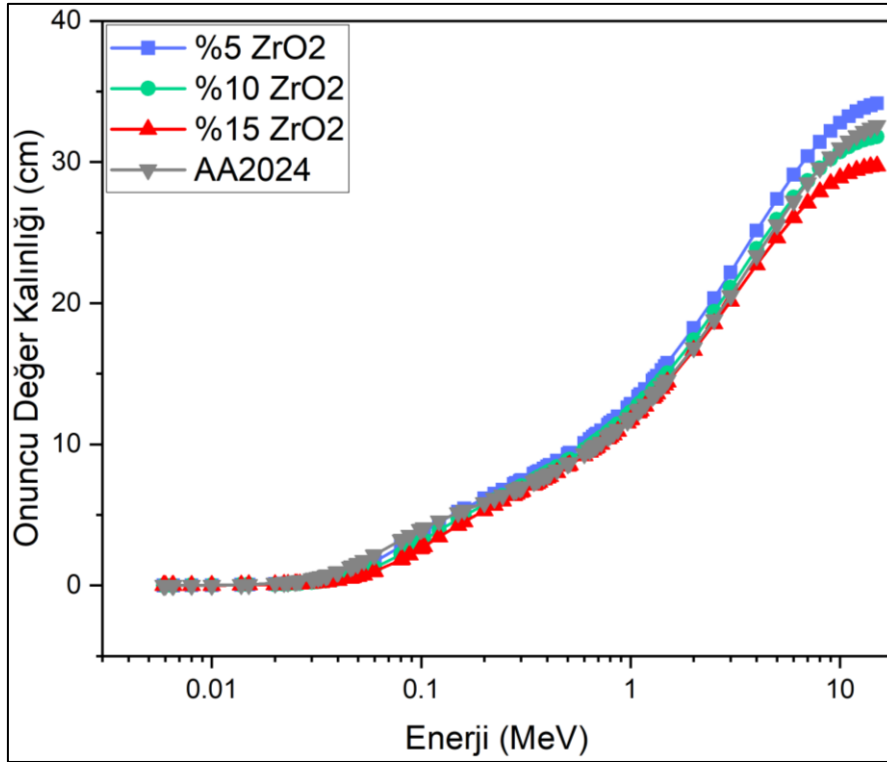
Grafikler incelendiğinde enerji oranının artmasıyla birlikte HVL değerlerinin de artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12 incelendiğinde en yüksek yarı değer kalınlığına sahip numunelerin %5 oranında takviye elemanı içeren numuneler olduğu görülmektedir. Bunun yanında %15 oranında takviye elemanı içeren kompozitlerin diğer oranlarda elde edilen numunelere göre düşük HVL değeri ile daha fazla zırh özelliği gösterdiği görülmektedir. Yarı değer kalınlığı en düşük olan kompozit malzemeler %15 oranında ZrO_2 takviye elemanı içeren MMK'lerdir. Gelen foton enerjisinin yarıya düşürülmesi için en fazla malzeme kalınlığı 13 cm ile %5 oranında TiO_2 parçacıkları içeren kompozitler olmuştur. Bu sıralamayı %5 oranında hibrit ve %5 oranında ZrO_2 parçacık takviyeli numuneler takip etmektedir. Yarı değer kalınlığı en düşük numuneler %15 oranında takviye malzemesi içeren numunelerdir. Elde edilen en düşük yarı değer

kalınlığı yaklaşık olarak 8 cm kalınlık değeri ile %15 oranında ZrO_2 takviyeli numunelerdir.

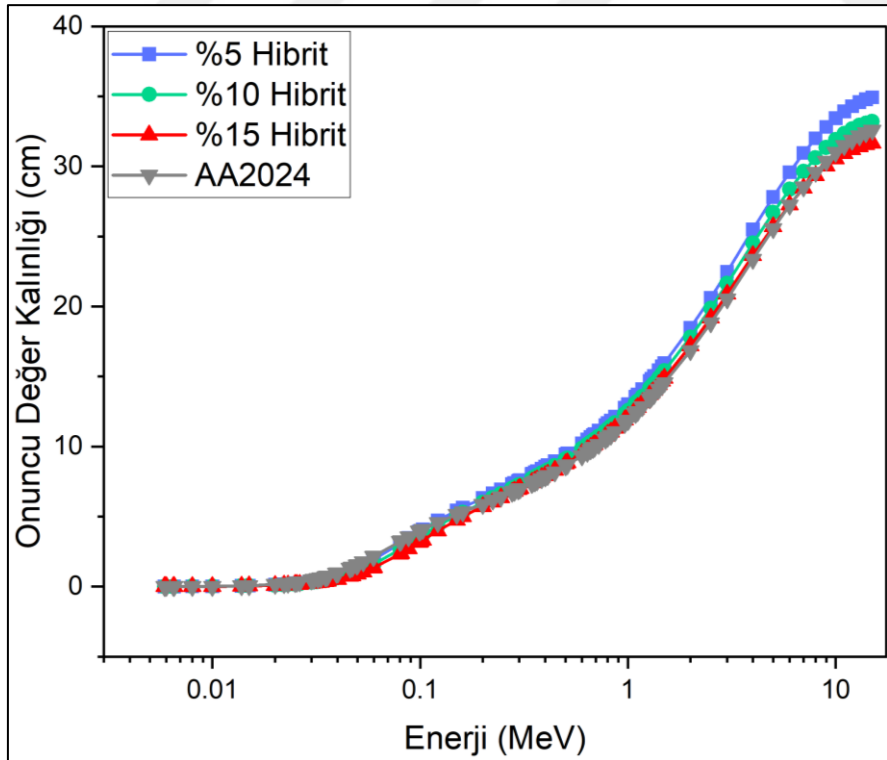
Onda bir değeri kalınlıkları Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'e bakıldığında HVL değeri ile orantılı sonuçlar göstermektedir. Onda bir değeri kalınlığı temelde radyasyon şiddetini onda bir değeri düşürmek için ihtiyaç duyulan kalınlığı göstermektedir.



Şekil 4.13. %5, %10 ve %15 oranlarında TiO_2 takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin onuncu değeri kalınlıkları



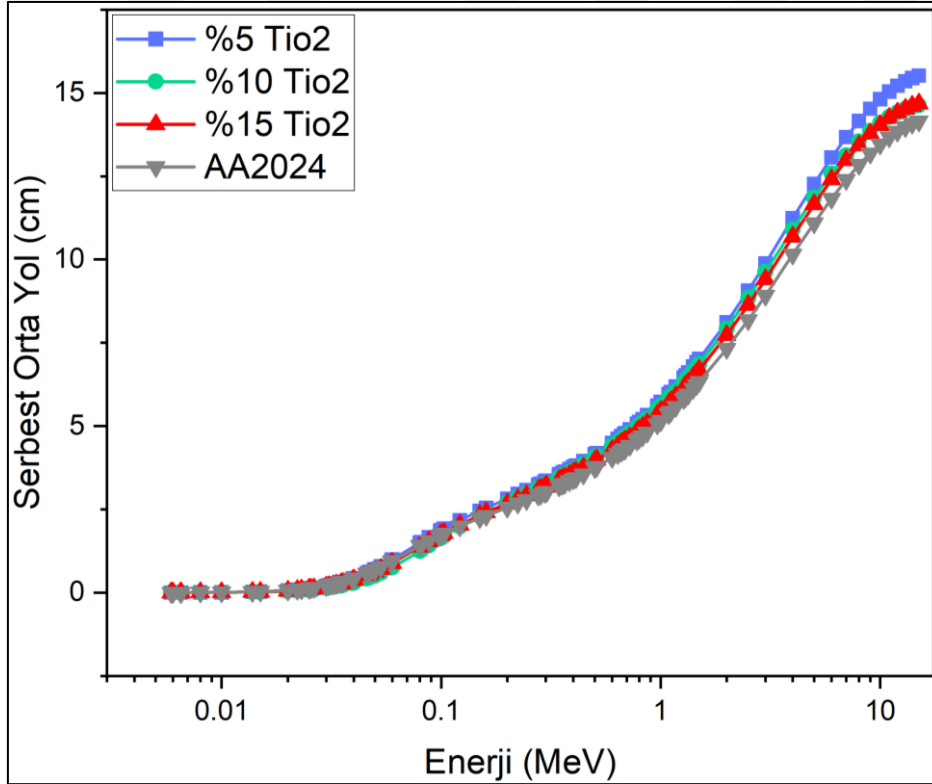
Şekil 4.14. %5, %10 ve %15 oranlarında ZrO₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin onuncu değer kalınlıkları



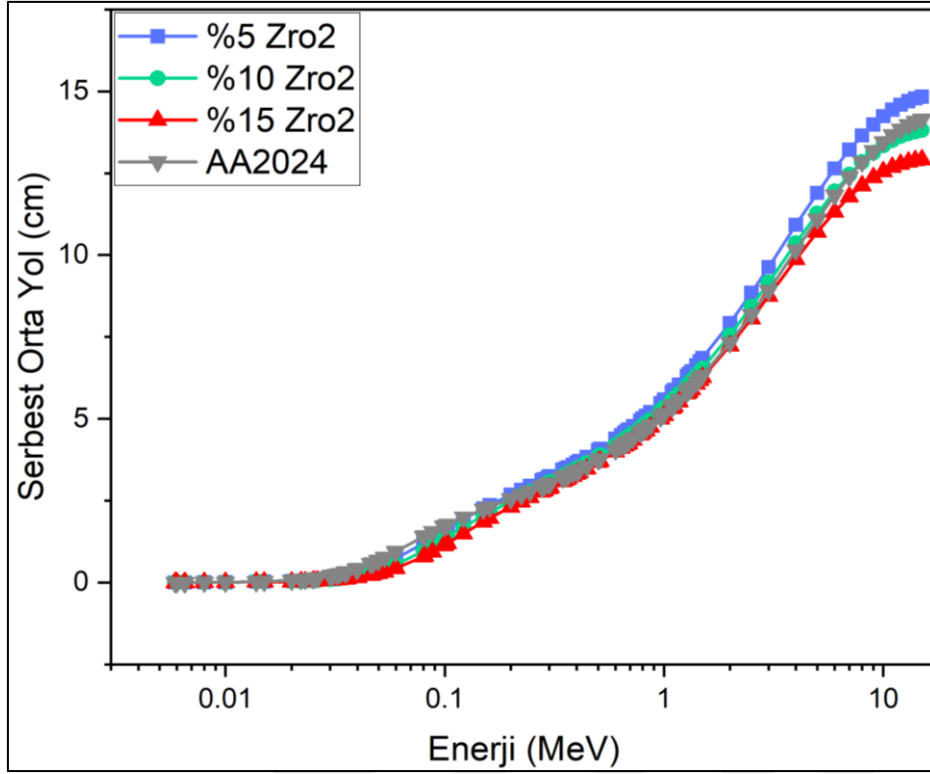
Şekil 4.15. %5, %10 ve %15 oranlarında hibrit takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin onuncu değer kalınlıkları

Numunelerin TVL değerleri incelendiğinde, radyasyon enerjisinin onda bir değerine düşmesi için yaklaşık olarak 29 cm ile en az kalınlığa ihtiyaç duyan numune %15 oranında ZrO₂ takviye elemanı içeren kompozit numuneler olmuşlardır. En fazla kalınlık değerine ihtiyaç duyan numune ise yaklaşık 38 cm onda bir değer kalınlığı ile %5 oranında TiO₂ içeren kompozit numuneler olmuştur.

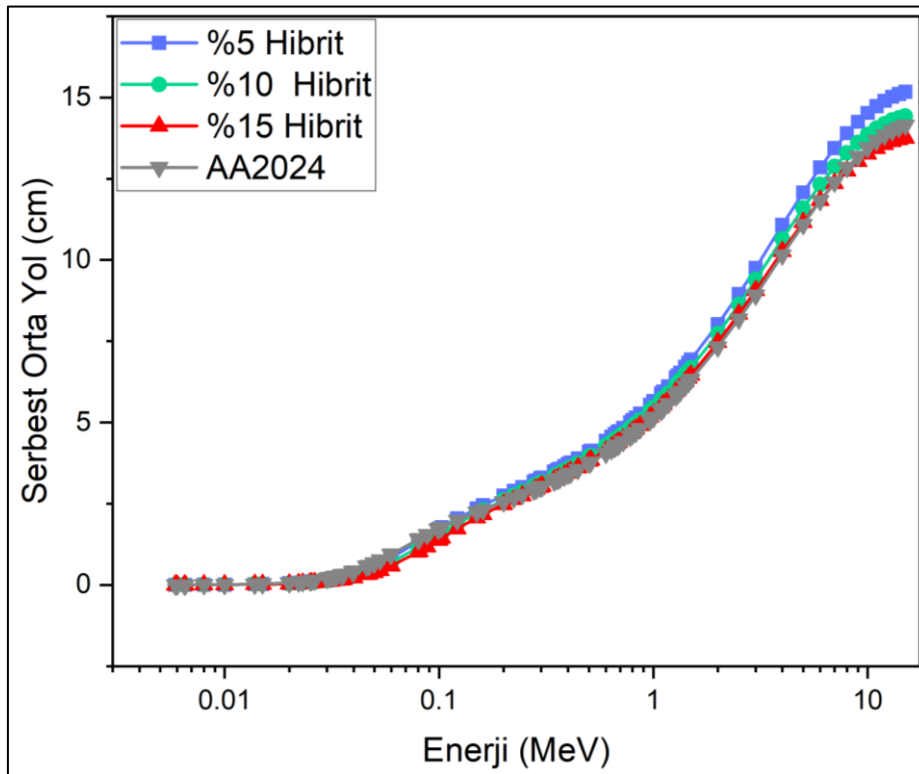
Serbest orta yol, radyasyonun etkileşime girmeden malzeme içerisinde serbest halde ilerlediği yola denir. Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18 malzemeye gönderilen radyasyon enerjisinin farklı oranlarda takviye elemanı içeren kompozit numuneler içerisinde etkileşime henüz girmeden ilerlediği yolu ifade etmektedir.



Şekil 4.16. %5, %10 ve %15 oranlarında TiO₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin serbest yol mesafesi



Şekil 4.17. %5, %10 ve %15 oranlarında ZrO₂ takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin serbest yol mesafesi



Şekil 4.18. %5, %10 ve %15 oranlarında hibrit takviye elemanı bulunduran metal matris kompozitlerin serbest yol mesafesi

MFP grafiklerine bakıldığında enerji ile doğru orantılı olarak ortalama serbest yol değerlerinin de arttığı görülmektedir. Düşük enerji bölgelerinde iki etkileşim arası fotonun alacağı ortalama yol daha az ölçülürken, çift oluşum ve Compton saçılmasının gerçekleşebileceği daha yüksek enerji aralıklarında mesafe giderek artmıştır. En düşük MFP değeri 12.5 cm ile %15 ZrO₂ katkılı kompozit numunelerde gözlemlenirken en yüksek ortalama serbest yola sahip numune 17 cm ile %5 TiO₂ katkılı kompozit numune olmuştur.

Metal matris kompozitlerin teorik olarak incelenen radyasyon zırh özelliklerine bakıldığında en iyi zırh özelliği sağlayan numunenin %15 ZrO₂ takviye malzemesi içeren metal matris kompozitler olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında %5, %10 ve %15 oranlarda takviye elemanı (TiO_2 , ZrO_2 ve hibrit) içeren AA2024 metal matris kompozit/hibrit numuneler üretilmiş, deneysel ve teorik olarak malzeme özellikleri incelenmiştir. Numune üretim yöntemi olarak toz metalurjisi yöntemi tercih edilmiştir. Toz metalurjisi yöntemi malzemelerin homojen dağılım sağlaması açısından avantajlı bir yöntemdir. Sıcak pres işlemi kullanılarak çift aşamalı tek yönlü pres yöntemi ile üretim süreci tamamlanmıştır. Üretimi tamamlanan malzemelerin yoğunluk, çapraz kırılma dayanımı, mikroyapı özellikleri SEM, EDS yöntemleri ile incelenmiştir ve sertlik değerleri ölçülmüştür. Deneysel çalışmaların ardından teorik olarak her bir malzemenin gama radyasyon geçirgenlik özellikleri Phy-X/PSD programı aracılığı ile incelenmiştir. Çalışmaların tamamlanmasının ardından elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir:

Toz halindeki matris ve takviye fazlarının yoğunlukları teorik olarak hesaplanmıştır. Üretimi tamamlanan numunelerin gerçek yoğunlukları Arşimet yoğunluk ölçüm tekniği ile tamamlanmış ve yoğunluğu en fazla olan metal matris kompozit 2.93 g/cm^3 yoğunluk değeri %15 ZrO_2 takviye elemanı içeren numunelerde gözlemlenmiştir. En düşük yoğunluk ise 2.76 g/cm^3 ile takviye elemanı içermeyen AA2024 numunelerde gözlemlenmiştir. Metal matris kompozit numuneler arasında teorik ve Arşimet yoğunluk değerleri birbirine en yakın numuneler %5 oranında TiO_2 içeren kompozitlerdir. Bunun sebebi yapı içerisinde diğer takviye elemanlarına kıyasla daha az boşluk oluşumunun gözlemlenmesidir.

Bakalite alındıktan sonra parlatma işlemleri tamamlanan numuneler optik mikroskop altında incelendiğinde takviye elemanı oranının artışıyla paralel olarak porozite artışı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde takviye elemanının malzeme yapısı da gözeneklilik oranında artışa veya azalmaya sebep olabilmektedir. Tez kapsamında TiO_2 ve ZrO_2 malzemeleri takviye elemanı olarak tercih edilmiştir. Optik görüntülere bakıldığında TiO_2 'nin ZrO_2 'ye kıyasla matris fazı içerisinde daha iyi yayılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Görüntülerde sinterleme işleminin yetersiz kaldığı yerlerde tane büyümeleri gözlemlenmiştir.

Çapraz kırılma dayanımı ölçülen numunelerde en yüksek dayanım gösteren kompozit 642 MPa ile %10 hibrit katkılı numuneler olmuştur. Tüm katkı oranları kıyaslandığında her kategoride en yüksek dayanımı hibrit katkılı MMK'lar göstermiştir. Bu sıralamayı ZrO₂ ve sonrasında TiO₂ takip etmektedir. Genel anlamda katkı oranlarındaki artış malzeme dayanımında bir düşüşe sebep olmuştur. Bunun sebebi takviye fazı ile matris fazı arasında gözenekliliğin artması sonucu kırılma dayanımının düşmesidir.

Mikroyapı incelemelerini gerçekleştirmek üzere elde edilen SEM ve EDS görüntüleri incelenmiştir. SEM görüntülerine bakıldığında her bir katkı oranı için matris fazı ve takviye fazının arasında uyum görülmektedir. Takviye elemanları arasında TiO₂ fazı malzeme içerisinde yayılım gösterirken, ZrO₂ parçacıkları tane sınırlarında konuşlanmıştır. EDS görüntüleri malzeme içeriğini tayin etmek üzere elde edilmiştir. EDS görüntülerinde ZrO₂ malzemesi ile matris fazı arasında yer yer boşluklar gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin fazların ıslatılabilirliği ile alakalı olduğu düşünülmektedir.

Brinell sertlikleri farklı oranlarda takviye elemanı içeren numuneler için ölçülmüştür. Numunelerin ortalama sertlik değerlerine göre en yüksek sertliğe sahip kompozit malzeme 97.5 HB ile %10 ZrO₂ katkılı kompozitlerdir. %10 ve %15 oranında ZrO₂ içeren numuneler arasında sertlik sonucunun değişim göstermediği gözlemlenmiştir. Numuneler birbiri ile kıyaslandığında en yüksek sertlik değerlerinin ZrO₂ katkılı kompozit numunelerde ölçüldüğü görülmüştür. Bu sıralamayı hibrit ve TiO₂ katkılı MMK'lar takip etmektedir.

Teorik olarak numunelerin radyasyon geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. Tüm numuneler için çalışılan enerji aralığı $5.89 \cdot 10^{-3}$ MeV ve 15 MeV'dir. Bu enerji aralığında LAC ve MAC değerleri enerji artışına bağlı olarak azalmıştır. En yüksek LAC değeri %10 TiO₂ katkılı AA2024 matrisli kompozitler olmuşlardır.

Numunelerin HVL ve TVL değerleri malzemelerin zırh özelliklerinin incelenebilmesi adına önemlidir. MMK'lerin yarı değer kalınlıklarına bakıldığında en az kalınlık değerine ihtiyaç duyan kompozit malzeme 8 cm kalınlıkla %15 ZrO₂ takviye malzemesi içeren AA2024'tür. Yarı değer kalınlığı en fazla olan kompozit numune 13 cm kalınlık ile %5

TiO₂ parçacık takviyeli numunelerdir. HVL değerleri %10 ve %5 oranlarda takviye elemanı içeren kompozit numunelerde yakın sonuçlanmıştır. %15 oranında takviye elemanı içeren numuneler görece daha iyi zırh özelliklerine sahiptir. Onda bir kalınlık değerleri HVL değerleri ile paralel olarak sonuçlanmıştır. TVL değeri en düşük kompozit numune 29 cm kalınlık ile %15 ZrO₂ parçacık takviyeli numuneler olmuştur.

Grafikler incelendiğinde enerji artışına bağlı olarak MFP değeri de artmaktadır. Düşük enerji bölgelerinde katedilen mesafe az olsa da Compton saçılması ve çift oluşumun gerçekleştiği yüksek enerji değerlerinde MFP değeri artış göstermiştir. MFP değeri en düşük 12.5 cm ile %15 ZrO₂ parçacık takviyeli MMK'lerde gözlemlenmiştir. En yüksek MFP değeri 17 cm'lik mesafe ile %5 TiO₂ parçacık takviyeli MMK'lerde görülmüştür.

Sonuçta ZrO₂ sertlik değeri yüksek olması sebebiyle dahil olduğu malzemenin kırılma dayanımını düşürmüş olsa dahi gösterdiği iyi zırhlanabilirlik özellikleri sayesinde ön plana çıkmaktadır. Hibrit kompozit malzemeler en yüksek kırılma dayanımına sahip MMK'lerdir. Mikroyapı gözlemlmelerine göre seçilmiş takviye fazları matris fazları ile uyum göstermiş ve çoğunlukla malzeme içerisinde homojen dağılım göstermişlerdir.

5.2. Öneriler

Artan takviye oranlarında malzemelerin ıslanabilirliğini azaltmaktadır. ZrO₂ ve TiO₂ seramik malzemelerin AA2024 içerisindeki ıslanabilirliğini artırmak için matris malzemesine, takviye elamanlara ve sıcak prese uygun bir bağlayıcı ile karıştırılabilir.

ZrO₂ ve TiO₂ seramik toz malzemeleri kendilerine uygun olacak bir kaplama işlemine tabi tutularak yüzey enerjileri düşülerek AA2024 matris ile olan ıslanabilirlikleri artırılarak porozite değerleri düşük, mekanik özellikleri daha yüksek kompozit/hibrit malzemelerin üretimi tekrardan geliştirilebilir.

Kompozit malzemelerin bağl yoğunluk değerlerini artırmak için pres numunelere uygulanan pres basıncında artırılarak tekrardan yeni deneysel çalışmalar gerçekleştirilebilir.

AA2024 içerisine eklenen ZrO_2 ve TiO_2 seramik tozların yerine atom numarası daha yüksek seramik malzemeler eklenerek yeni üretilecek kompozit/hibrit malzemenin LAC, MAC değerleri artırılarak HVL, TVL ve MFP değerleri azaltabilir.



KAYNAKLAR

1. Kalemtaş, A. (2014). Metal matris kompozitlere genel bir bakış. *Putech & Composites*, 12, 18-30.
2. Gökçe, A., Findik, F., ve Kurt, A. (2017). Alüminyum ve Alaşımlarının Toz Metalurjisi İşlemleri. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*. 58, 21-47.
3. Sur, G. ve Kayabaşı, İ. (2019). Hafif Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretim Sisteminin Tasarım, İmalat ve Performansının İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7, 63-79.
4. Gokmen, U. (2021). Investigation of radiation-associated deformation in the electrical properties of metal polymer semiconductor. *Physica Scripta*. 96, 1-9.
5. Coşkun, Ö. (2011). İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 1, 13-17.
6. Henriques, V. A. R., Campos, P. P., Cairo, C. A. A. and Bressiani, J. C. (2005). Production of Titanium Alloys for Advanced Aerospace Systems by Powder Metallurgy. *Materials Research*, 8, 443-446.
7. Karabulut, Ş., Gökmen, U. ve Çinici, H. (2016). Study on the mechanical and drilling properties of AA2039 composites reinforced with Al₂O₃/B₄C/SiC particles. *Composites Part B*. 93, 43-55.
8. Vasanthakumar, P., Sekar, K. and Venkatesh, K., (2019). Recent developments in powder metallurgy based aluminium alloy composite for aerospace applications. *Materials Today: Proceedings*. 18, 5400-5409.
9. Damghani, M., Ersoy, N., Piorkowski, M. and Murphy, A. (2019). Experimental evaluation of residual tensile strength of hybrid composite aerospace materials after low velocity impact. *Composites Part B*. 179, 107-120.
10. Xu, S., Bourham, M. and Rabiei, A. (2010). A novel ultra-light structure for radiation shielding. *Materials and Design*. 31, 2140-2146.
11. Kim, J., Seo, D., Lee, B. C., Seo, Y. S. and Miller, W. H. (2014) Nano-W Dispersed Gamma Raddiation Shielding Materials. *Advanced Engineering Materials*. 16, 1083-1089.
12. Gökmen, U. (2021). Gamma and neutron shielding properties of B₄C particle reinforced Inconel 718 composites. *Nuclear Engineering and Technology*. 53, 1-13.
13. Kalemtaş, A. (2015). Seramik Metal matris kompozitler. *Putech & Composites*, 6, 20-26.

14. İnternet: Kompozit Nedir? Kompozit Malzemeler ve Özellikleri. URL: <https://insapedia.com/kompozit-nedir-kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri/>, Son Erişim Tarihi: 05.10.2022
15. İnternet: Fazlı Kompozitler. URL: http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blogpage_47.html, Son Erişim Tarihi: 07.10.2022
16. Kessler, M. R., (2012). Polymer Matrix Composites: A Perspective for a Special Issue of Polymer Reviews. *Polymer Reviews*. 229-233.
17. Mortensen, A. and Llorca, J., (2010) Metal Matrix Composites. *Annual Review of Materials Research*. 40, 243-270.
18. Ohnabe, H., Masaki, S., Onozuka, M., Miyahara, K. and Sasa, T., (1999) Potential application of ceramic matrix composites to aero-engine components. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 30(4), 489-496.
19. Toptan, F., (2006). *Alüminyum Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi ile Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
20. Akkurt, A. (2005). Ticari Saf Alüminyum ve Al-6061 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Aşındırıcı Su Jeti ile Kesilmesi Uygulamalarında Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. *Politeknik Dergisi*. 8(1), 69-79.
21. Güler, C. (2012). *Alüminyum Matrisli SiC Takviyeli Kompozit Malzemenin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
22. Yurdakul, M., Özbay, O. ve İç, Y. T., (2002). Havacılık Alanında Kullanılan Alüminyum Alaşımların Seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(2), 1-23.
23. İnternet: Alüminyum Alaşımlar. URL: <https://seykoc.com.tr/icerik/2024?dil=tr>, Son Erişim Tarihi:05.11.2022
24. Çolak, N. Y. ve Turhan, H. (2016). Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Al-Si/B₄C Kompozit Malzemenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28 (2), 259-266.
25. İnternet: Metal tozların üretimi ve toz metalurjisinin uygulanması. URL: <https://kar-tes.com.tr/blog/genel-bilgiler/toz-metalurjisi-nedir/>, Son Erişim Tarihi: 05.11.2022
26. Sürücü, A. M. ve Subaşı, S. (2021). Nanomateriyallerin Kompozit Malzemelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. *El-Cezeri*, 8 (1), 182-194.

27. İnternet: Radyasyon nedir. URL: afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-nedir, Son Erişim Tarihi: 12.11.2022
28. İnternet: Meriç, N. Alfa Işımları. URL: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/25475/mod_resource/content/3/D%282%29_ALFA%20I%C5%.pdf. Son Erişim Tarihi: 10.10.2022
29. Gehrels, N. and Meszaros, P., (2012) Gamma-Ray Bursts. *Science*. 337(6097), 932-936.
30. İrim, Ş. G. (2018). *Nano-Bor Katkılı kompozitlerin Nötron ve Gama Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
31. Jamalgolzarı, L. E. (2021). *Sıcak presleme yöntemi ile üretilen Alumix-231 matrisli B4C/ SiC/ Al2O3 takviyeli malzemelerin mikroyapısal ve radyoaktif zırlama özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
32. Eisenberger, P., and Reed, W. A. (1972). Gamma-Ray Compton Scattering: Experimental Compton Profiles for He, N₂, Ar and Kr. *Physical Review A*. 5, 2085.
33. İnternet: Demirtaş, C. Compton Etkisi Nedir ve Nasıl Meydana Gelir. URL: https://fizikolog.net/fizik_ansiklopedisi/compton_efekti.html, Son Erişim Tarihi: 17.11.2022
34. İnternet: Meriç, N., Gama ve X-Işımları. URL: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/25490/mod_resource/content/1/D%284%29_GAMMA%20VE%20X-I%C5%9EINLARI.pdf, Son Erişim Tarihi: 10.10.2022
35. Ergün, A. (1996). *Gamma Işımlarının Koherent ve İnkoherent Saçılma Tesir Kesitlerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
36. Üllen, N. B. ve Karabulut, G. (2020). Gözenekli metalik malzeme üretiminde gözenek oranı ve küresellik arasındaki ilişkinin incelenmesi. *International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology*. October 07-09, 2020.
37. Gökmen, U. (2016). Sıcak Ekstrüze Edilmiş Al 2024 Matrisli B₄C/Al₂O₃ Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. *Journal of Polytechnic*. 19(4), 445-453.
38. Mazumdar, S. (2001). *Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering*. Berlin. Taylor and Francis Group (First Edition)
39. İnternet: Kimyasal Biyolojik Radyolojik Nükleer Tehditler (KBRN). URL: <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-nedir>, Son Erişim Tarihi: 12.09.2022.

40. Erdoğan, M., (2017). İyonlaştırıcı Radyasyon ve Korunma Yöntemleri. *Selcuk University Journal of Science Faculty*. 43(2), 139-147.
41. Şakar, E., Özpolat, Ö. F., Alım, B., Sayyed, M. I. and Kurudirek, M. (2020). Phy-X / PSD: Development of a user friendly online software for calculation of parameters relevant to radiation shielding and dosimetry, *Radiation Physics and Chemistry*, 166, 108496.
42. Özkan, O. (2020). Investigation of the Radiation Shielding Properties of Black Pine Wood Impregnated with Boric Acid. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*. 20. 200-207.
43. Cınıcı, H., Gokmen, U., Kırmızı, G. ve Çamkerten, R. (2017). Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretilmiş B4C Takviyeli AA 7xxx Matrisli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemelerin Çapraz Kırılma Dayanımının Belirlenmesi. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 5. 383-383.
44. Shahrum, A., Sabah, B. and Kamal, A. A. (2011). Fatigue Crack Growth Simulation of Aluminium Alloy under Cyclic Sequence Effects. *Aluminum Alloys, Theory and Applications*. 31, 3449-3456.
45. Coşkun, K. (2002). *Hadde Alüminyum Alaşımların Uçaklarda Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
46. Küçük, N. (2004). *Gamma-Işını Yığılma Faktörlerinin Çok Elementli Ortamlarda İncelenmesi*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
47. Baltaş, H. (2006). *YBaCuO ve BiPbSrCaCuO Süperiletkenlerinin Soğurma Katsayılarının İncelenmesi*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
48. Kurt, H. (2010). *Alüminyum-Alümina Kompozit Malzeme Üretiminde Karıştırma Tekniğinin Kompozitin Aşınma Davranışı Üzerine Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
49. Battiston, R., Burger, W. J., Calvelli, V., Musenich, R., Choutko, V., Datskov, V. I., Torre, A. D., Venditti, F., Gargiulo, C., Laurenti, G., Lucidi, S., Harrison, S. and Meinke, R. (2012). Active Radiation Shield for Space Exploration Missions. *SIDS-Pubblicazioni Laboratori Nazionali di Frascati*. 1209-1907.
50. Pul, M., (2010). *Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
51. Llamas, H. J., Aplin, K. L. and Berthoud, L. (2022). Effectiveness of Martian Regolith as a Radiation Shield. *In Planetary and Space Science*. 218, 105517.

52. Ayvaz, M., ve Cetinel, H., (2015) Farklı Matris Kompozisyonları ve Takviye Oranları için Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 10(1), 45-54.
53. Yıldız, H., ve Eral, G. (2004). Kompozit Malzemelerin Sürünme Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 10(3), 359-366.
54. Daneshvar, H., Milan, K.G. and Sadr, A. (2021). Multilayer radiation shield for satellite electronic components protection. *Sci Rep* 11, 20657.
55. Ozan, S., Karaoğlu, S. ve İpek, R. (2012). Partikül Takviyeli Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozitlerin Difüzyon Kaynak Kabiliyetlerinin İncelenmesi. *TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi*. 53(1). 45-53.
56. Topçu, İ., Dikici, M. ve İpek, C., (2018). Seramik Takviyeli Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozitlerin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*. 1(1). 477-487.
57. Hu, G., Hu, H., Yang, Q., Yu, B. and Sun, W. (2020). Study on the design and experimental verification of multilayer radiation shield against mixed neutrons and γ -rays, *Nuclear Engineering and Technology*, 52(1), 178-184.
58. Gökmen, U., Özkan, Z., Taşçı, U. and Ocak, S. B. (2022) Investigation of radiation shielding by adding Al_2O_3 and SiO_2 into the high-speed steel composites: comparative study. *Physica Scripta*. 97(5).
59. Siddesha, S., Jagannath, T. D., Punith, T. R. and Rakshith, N. S. (2016). Effects of Fabrication of Aluminium 2024/ TiO_2 Metal Matrix Composite. *International Journal of Innovative Research & Development*. 11(5), ISSN 2278-0211.
60. Gökmen, U., Özkan, Z. and Ocak, S. B. (2021). Impact of the gamma and neutron attenuation behaviors on the functionally graded composite materials. *Physica Scripta*. 96(12).
61. Karaşoğlu, M. ve Karaoğlu, S. (2014). Toz metalurjisi ile üretilen alüminyum matrisli kompozitlerde Proses ve Malzeme Değişkenlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi. *TMMOB Mühendis ve Makine Dergisi*. 55, 17-23.
62. Şahin, O. (2018). *TiB₂ ve B₄C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilebilirliğinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
63. Akhtar, S., Saad, M., Misbah, M., and Sati, M. (2018). Recent Advancements in Powder Metallurgy: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 5. 18649-18655.

64. Cadani, E., Dotta, M., Forni, D. and Kaufmann, H. (2017). Tensile Behaviour of Commercial Aluminium Alloys Used in Armour Applications at High Strain Rate. *International Conference on Dynamic Fracture of Ductile Materials, Trondheim/Norway*, 197, 168-175.
65. Guttikonda, M., Dey, A., Pandey, K., and Maity, S. (2018). Fabrication of metal matrix composites by powder metallurgy: A review. *AIP Conference Proceedings*. 1952, 020041.
66. Joel, J., and Xavier, M. A. (2018). Aluminium alloy composites and its machinability studies; a review. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 13556-13562.
67. Srivivas, P. D., and Charoo, M. S. (2018). Aluminum metal matrix composites a review of reinforcement; mechanical and tribological behavior. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(4), 117-122.
68. Karadoğan, Z.I., (2019). *Ni, Fe, Co Tabanlı Süper Alaşımların Radyasyon Zırhlama Kabiliyetlerinin Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
69. Aslan, M., Ergul, E., Kaya, A., Kurt, H. I. ve Yılmaz, N. F., (2020). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Al-MgO Kompozitlerin Özelliklerine Sinterleme Sıcaklığının Etkisi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(3), 1131-1139.
70. Lee, S. W., Morillo, C., Olivares, J. L., Kim, S. H., Sekino, T., Niihara, K. and Hockey, B. J. (2003). Tribological and Microstructural Analysis of Al₂O₃/TiO₂ Nanocomposites to Use in the Femoral Head of Hip Replacement. *Wear*. 255(2003), 1040-1044.
71. Bülbül, F. (2014). Sert ve Yumuşak Kaplamalar. Ordu Üniv. *Bilim Teknolojileri Dergisi* 4(2), 32-41.
72. İnternet: What is the Photoelectric Effect. URL: <https://www.scienceabc.com/pure-sciences/what-explain-photoelectric-effect-einstein-definition-exmample-applications-threshold-frequency.html>, Son Erişim Tarihi: 05.11.2022
73. Martiny, A., Campos, A. P. C., Sader, M. and Pinto, M. A. L. (2008). SEM/EDS analysis and characterization of gunshot residues from Brazilian lead-free ammunition. *Forensic Science International*. 177(2008), 9-17.
74. Kim, Y., Jo, H., Allen, J. L., Choe, H., Wolfenstine, J. and Sakamoto, J. (2016). The effect of relative density on the mechanical properties of hot pressed cubic Li₇La₃Zr₂O₁₂. *The American Ceramic Society*. 99 (4), 1367-1374.
75. Bin, J., Zejun, W. and Naiqin, Z. (2006). Effect of pore size and relative density on the mechanical properties of open cell aluminum foams. *Scripta Materialia*. 56, 169-172.



Gazili olmak ayrıcalıktır