



**SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Alumix-231 MATRİSLİ
B₄C/ SiC/Al₂O₃ TAKVİYELİ MALZEMELERİN MİKROYAPISAL VE
RADYOAKTİF ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Leili ESLAM JAMALGOLZARI

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2021

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.

Leili ESLAM JAMALGOLZARI

24/12/2021

SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Alumix-231 MATRİSLİ
B₄C/SiC/Al₂O₃ TAKVİYELİ MALZEMELERİN MİKROYAPISAL VE RADYOAKTİF
ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Leili ESLAM JAMALGOLZARI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2021

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Alumix 231 matrisli Al₂O₃, SiC ve B₄C parçacık takviyeli kompozit malzemeler ve takviye elemanı içermeyen Alumix-231 bloklar toz metalürjisi yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi olarak Alumix-231 ve ağırlıkça %10 takviye elemanı Al₂O₃, SiC ve B₄C seramik parçacıkları ayrı ayrı kullanılmıştır. Takviye elemanı ve matris tozları 3 boyutlu karıştırıcıda 30 dakika süreyle karıştırılmıştır. Karışım tozlar tek eksenli basınç altında preslenerek toz metal blok numuneler elde edilmiştir. Üretilen numunelerin Arşimet prensibi kullanılarak yoğunluk değerleri tespit edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemelerin optik mikroskop, SEM ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemelerin ve takviye elemanı içermeyen Alumix-231'in, radyasyon zırhlama özellikleri teorik olarak PSD programı ile deneysel olarak ise Co-60 ve Cs-137 radyasyon kaynakları kullanılarak incelenmiştir. Bu malzemeler için deneysel ve teorik olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Teorik ve deneysel hesaplamalar sonucunda, gama radyasyonuna karşı en düşük zırhlayıcı özelliğe sahip malzeme Alumix-231+%10 B₄C kompozit malzemesi iken, gama radyasyonuna karşı en yüksek zırhlayıcı özelliğe sahip malzeme Alumix-231+%10 Al₂O₃ kompozit malzemesi olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 20213
Anahtar Kelimeler : Alumix-231, kompozit, radyasyon zırhlaması
Sayfa Adedi : 64
Danışman : Doç. Dr. Uğur GÖKMEN

MICROSTRUCTURAL AND RADIOACTIVE SHIELDING ANALYSES OF ALUMIX-
231 AND ALUMIX-231 REINFORCED WITH B₄C/SiC/ Al₂O₃ PARTICLE
PRODUCED THROUGH HOT PRESSING

(M. Sc. Thesis)

Leili ESLAM JAMALGOLZARI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2021

ABSTRACT

In this thesis, Al₂O₃, SiC and B₄C particle reinforced composite materials with Alumix 231 matrix and Alumix-231 blocks without reinforcement elements were produced using powder metallurgy method. In the production of composite material, Alumix-231 used as matrix material and 10% by weight of reinforcement element Al₂O₃, SiC and B₄C ceramic particles were used separately. The reinforcement element and matrix powders were mixed in a 3D mixer for 30 minutes. Powder metal block samples were obtained by pressing the mixed powders under uniaxial pressure. Density values of the produced samples were determined by using Archimedes principle. Optical microscope, SEM and EDS analyzes of the produced composite materials were carried out. The radiation shielding properties of composite materials and Alumix-231 not containing reinforcement elements were investigated theoretically using the PSD software, and experimentally using Co-60 and Cs-137 radiation sources. The experimental and theoretical results for these materials were compared with each other. As a result of the theoretical and experimental calculations, it was determined that Alumix-231+10% B₄C composite material has the lowest shielding property against gamma radiation, while Alumix-231+10% Al₂O₃ composite material has the highest shielding property against gamma radiation.

Science Code : 20213
Key Words : Alumix-231, composite, radiation shielding
Page Number : 64
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Uğur GÖKMEN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca mesleki bilgi birikimi ile yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, danışman hocam Doç. Dr. Uğur GÖKMEN'e ve radyasyon alanındaki bilgi ve tecrübeleri ile bilgi daracığımı aydınlatan Prof. Dr. Sema Bilge OCAK'a sonsuz teşekkür eder, saygı ve şükranlarımı sunarım. Üniversite içerisinde ve haricinde her türlü desteğini esirgemeyen bölümümüz doktora öğrencilerinden Zübeyde ÖZKAN'a teşekkür ederim. Bu zamana kadar hiçbir maddi ve manevi fedakârlıktan kaçmayarak, hep yanımda olan aileme teşekkürü borç bilir saygılar sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. MALZEME VE METOT	25
2.1. Kullanılan Malzemeler.....	25
2.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi	25
2.2.1. Tozların karıştırılması	25
2.2.2. Karışım tozların preslenmesi.....	26
2.2.3. Sinterleme	27
2.3. Kompozit Numunelerin Yoğunluk Ölçümleri.....	28
2.4. Metalografik İncelemeler.....	28
2.5. Numunelerin Mikro Yapı İncelemeleri ve Analizleri	29
2.6. Teorik Çalışmalar	31
2.7. Deneysel Çalışmalar.....	31
2.7.1. Radyasyon geçirgenlik testleri	31
3. DENEYSEL SONUÇLAR.....	33
3.1. Yoğunluk Sonuçları.....	33

	Sayfa
3.2. Numunelerin Optik Mikroskop Sonuçları	34
3.3. Radyasyon Teorik Hesaplama Sonuçları	36
3.4. Deneysel Radyasyon Sonuçları	40
3.5. SEM Sonuçları.....	44
3.6. EDS Analiz Sonuçları	46
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	53
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviyeler	12
Çizelge 2.1. Üretimde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri.....	25



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Dağınık faz şeması.....	4
Şekil 1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	4
Şekil 1.3. Takviye tipine göre kompozit malzemeler	6
Şekil 1.4. Çekirdeğin kararlı hale geçişi	14
Şekil 1.5. Radyasyon tiplerinin şematik görünümü	14
Şekil 1.6. Gama ışıması	16
Şekil 1.7. Fotoelektrik olay	18
Şekil 1.8. Compton Saçılması.....	19
Şekil 1.9. Çift oluşum	20
Şekil 3.1. Alumix-231/ SiC/B ₄ C/Al ₂ O ₃ numunelerin yoğunluk sonuçları	33
Şekil 3.2. Alumix-231 optik mikroskop görüntüleri; a)x200 b)x500 c)x1000	35
Şekil 3.3. Alumix-231+%10 Al ₂ O ₃ optik mikroskop görüntüleri; a)x200 b)x500 c)x1000	35
Şekil 3.4. Alumix-231+%10 SiC optik mikroskop görüntüleri; a)x200 b)x500 c)x1000	35
Şekil 3.5. Alumix-231+%10 B ₄ C optik mikroskop görüntüleri; a)x200 b)x500 c)x1000	36
Şekil 3.6. LAC grafiği.....	37
Şekil 3.7. MAC grafiği.....	38
Şekil 3.8. HVL grafiği	39
Şekil 3.9. TVL değeri.....	39
Şekil 3.10. Serbest Yol Mesafesi	40
Şekil 3.11. Co-60 ve Cs-137 için LAC grafiği	41
Şekil 3.12. Co-60 ve Cs-137 için MAC grafiği	42

Şekil	Sayfa
Şekil 3.13. Co-60 ve Cs-137 için HVL grafiği	42
Şekil 3.14. Co-60 ve Cs-137 için TVL grafiği.....	43
Şekil 3.15. Co-60 ve Cs-137 için MFP grafiği	43
Şekil 3.16. Alumix-231'in SEM görüntüsü; a)x250 b) x500 c) x1000	44
Şekil 3.17. Alumix-231+%10 Al ₂ O ₃ 'in SEM görüntüsü; a) x250 b) x500 c) x1000	45
Şekil 3.18. Alumix-231+%10 B ₄ C'ün	45
Şekil 3.19. Alumix-231+%10 SiC 'ün.....	46
Şekil 3.20. Alumix-231'in SEM görüntüsü	46
Şekil 3.21. Alumix-231'in EDS görüntüsü; a) 1 noktası b) 2 noktası c)3 noktası	47
Şekil 3.22. Alumix-231+ % 10 Al ₂ O ₃ EDS görüntüsü; a) 1 noktası b) 2 noktası c)3 noktası	48
Şekil 3.23. Alumix-231+ % 10 B ₄ C'ün SEM görüntüsü	48
Şekil 3.24. Alumix-231+ % 10 SiC'ün SEM görüntüsü.....	49
Şekil 3.25. Alumix-231+ % 10 SiC 'in EDS görüntüsü; a) 1 noktası b) 2 noktası c) 3 noktası.....	49
Şekil 3.26. Alumix-231+ % 10 SiC'ün SEM görüntüsü.....	50
Şekil 3.27. Alumix-231+ % 10 SiC'in EDS görüntüsü; a) 1 noktası b) 2 noktası c) 3 noktası.....	51

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Yüksek enerjili karıştırıcı	26
Resim 2.2. Üretilen Kompozit Malzemeler	26
Resim 2.3. Hidrolik pres	27
Resim 2.4. Sinterleme fırını	27
Resim 2.5. Sartorius marka yoğunluk ölçme cihazı	28
Resim 2.6. ATM Saphir 330:Manyetik Çift diskli zımpara-parlatma cihazı.....	29
Resim 2.7. Zımparalama Cihazı.....	29
Resim 2.8. LEİKA DM 4000M Metal Mikroskobu.....	30
Resim 2.9. JEOL JEM 6060 LV Tarama Elektron Mikroskobu (EDS ünitesi mevcut) .	30

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

M	Ağırlık (kg)
V	Hız(m/s)
h	Planck Sabiti(J.S)
λ	Dalga Boyu(m)
E	Enerji (J)
θ	Açı($^{\circ}$)
μ	Lineer Soğurma Katsayısı(cm^{-1})
I	Malzemedan Geçen Fotonun Yoğunluğu
I_0	Malzemeye Giren Fotonun Yoğunluğu
τ	Fotoelektrik Oluşma Faktörü
σ	Compton Saçılma Faktörü
k	Çift Oluşum Olma İhtimali
ρ	Yoğunluk(g/cm^3)
t	Zaman(s)
m_s	Yaş Ağırlık(g)
m	Kuru Ağırlık(g)

Kısaltmalar

Açıklamalar

HVL	Yarı Değer Kalınlığı(cm)
LAC	Lineer Zayıflama Katsayısı(cm^{-1})
MAC	Kütle Zayıflama Katsayısı(cm^2/g)
MFP	Ortalama Serbest Yol Mesafesi (cm)
MMC	Metal Matrisli Kompozit
PM	Toz Metalürjisi
SPS	Kıvılcım Plazma Sinterleme
TVL	Onda Bir Kalınlık Değeri (cm)

1. GİRİŞ

Radyasyon kavramı 1896 yılında Henri Becquerel tarafından çok da önce olmayan bir tarih de keşfedilmiş olmasına rağmen günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüz de radyasyon tıpta, endüstri, akademik çalışmalar, tarım, elektrik üretimi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Fakat radyasyon birçok farklı alan da uygulama olanağı bulması ile beraberin de bazı ciddi olumsuzlukları ve endişeleri de beraberin de getirmiştir [1-3]. Radyasyonun var olduğu ortamlarda çalışan insanlarda, sızıntılar ve patlamalar sonucunda radyasyona maruz kalan kişiler de ciddi sağlık problemleri meydana gelmektedir [4-5]. Radyasyonun sebep olduğu ciddi problemlerin başında radyasyon yanıkları, kanser, ölüm ve genetik materyalin mutasyona uğraması gelmektedir. Bu sebepten dolayı radyasyon zırlaması günümüzde oldukça önemli bir hale gelmiştir [6-7].

Günümüzde belirli uygulamaların gereksinimlerini karşılamayan metal malzemelerin özelliklerini iyileştirmek için kompozit malzemeler üretilmektedir. Kompozit malzemelerin metal elementleri ile üretilen ürünlere göre bazı üstün özellikleri vardır. Kompozit malzemeleri metal malzemelerden üstün kılan özelliklerin başında hafiflik ve olağanüstü mekanik dayanım gelmektedir. Yüksek özgül elastik modülü, mukavemet, aşınma ve korozyon direnci ile hafif olmasının yanı sıra geleneksel üretim yöntemleriyle (döküm, ekstrüzyon, dövme, dövme, toz metalürjisi, vb.), kompozit malzemeler özellikle otomotiv, uzay ve savunma sanayi uygulamalarında kullanımı her geçen gün artmasını sağlamaktadır. Kullanılan metal malzemelerin arasında kolay üretilabilirlik ve düşük yoğunluklarından dolayı alüminyum metali oldukça önemli bir yere sahiptir. Alüminyum metali sahip olduğu avantajların yanı sıra ergime sıcaklığının ve mekanik dayanım düşük olması gibi oldukça önemli dezavantajlara da sahiptir [8] .

Alüminyum metalinin sahip olduğu dezavantajları ortadan kaldırarak daha iyi mekanik özelliklere sahip bir malzeme haline getirebilmek için diğer elementler ile alaşımlandırılarak farklı alüminyum alaşım serileri üretilmektedir. Üretilen bu alaşım serilerinden birisi de Alumix serisidir. Alumix serisinin ana elementi alüminyumdur. İçerisinde bulunan farklı alaşım elementlerine göre farklı Alumix isimleri almaktadır. Alumix-123 (Al, Cu, Mg, Si), Alumix-321 (Al, Mg, Cu), Alumix-231 (Al, Si, Mg, Cu) ve Alumix-431 (Al, Zn, Mg, Cu) Alumix serisi içerisinde en çok kullanılan alüminyum alaşımlarıdır [5,8].

Kompozit malzemeler matris ve takviye elemanlardan oluşmaktadırlar. Matris malzemeler takviye fazı bir arada tutarak kompozit malzeme üzerine uygulanan kuvveti takviye elemana eşit dağılmasını sağlamaktadırlar. Takviye elemanlar ise kompozit malzemeye uygulanan kuvvetin taşınması sağlayarak malzemenin dayanımı artırarak önemli bir rol oynamaktadırlar. Yaygın olarak kullanılan takviye elemanların başında MgO, SiC, W, Al₂O₃, C, B₄C, TiC, TiB₂, WC, grafen ve karbon nanotüp gibi seramik malzemeler gelmektedir [9].

Günümüzde geleneksel olarak, radyasyon zırhlayıcı malzemesi olarak beton ve kurşuna (Pb) malzemeleri kullanılmaktadır. Bu malzemeler iyi birer zırhlayıcı malzeme olmaları yanın da dezavantajları ve sınırlamalara sahiptir. Pb, düşük mekanik mukavemete, toksik madde üretme, düşük erime noktasına ve uzun süre maruz kalma ile üretilen ısı artışından dolayı radyasyon sızıntısına sebep olmaktadır. Beton malzemesi ise yüksek radyasyon enerjilerinde içerisinde var olan su moleküllerin buharlaşması ile sahip olduğu mekanik dayanım değerin oldukça düşük değerlere inmesi ve yüksek ağırlığa sahip olmasından dolayı günümüzde kullanılan radyasyon zırhlayıcı malzeme ihtiyacını doğurmuştur[10].

Yapılan bu tez çalışmasında günümüzde radyasyon zırh malzemesine yeni bir alternatif sunarak iyonlaştırıcı radyasyon etkileşiminin bir sonucu olarak önemli hasarları önlemek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda da Alumix-231 metal matrisinin hafifliğinden ve Al₂O₃, B₄C, SiC seramik malzemelerin sağladığı üstün mekanik özelliklerinden faydalanarak hem radyasyon zırhlamasında hem de mekanik değerleri yüksek olan bir kompozit malzeme üretmek amaçlanmıştır. Hem teorik hem de deneysel çalışmalar ile üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemelerin radyasyon geçirgenlik değerleri analiz edilerek malzemenin radyasyon zırhlaması sonrasında mikro içyapısında meydana gelen değişiklikler SEM analizleri ile ortaya konulmuştur.

Tarihçe

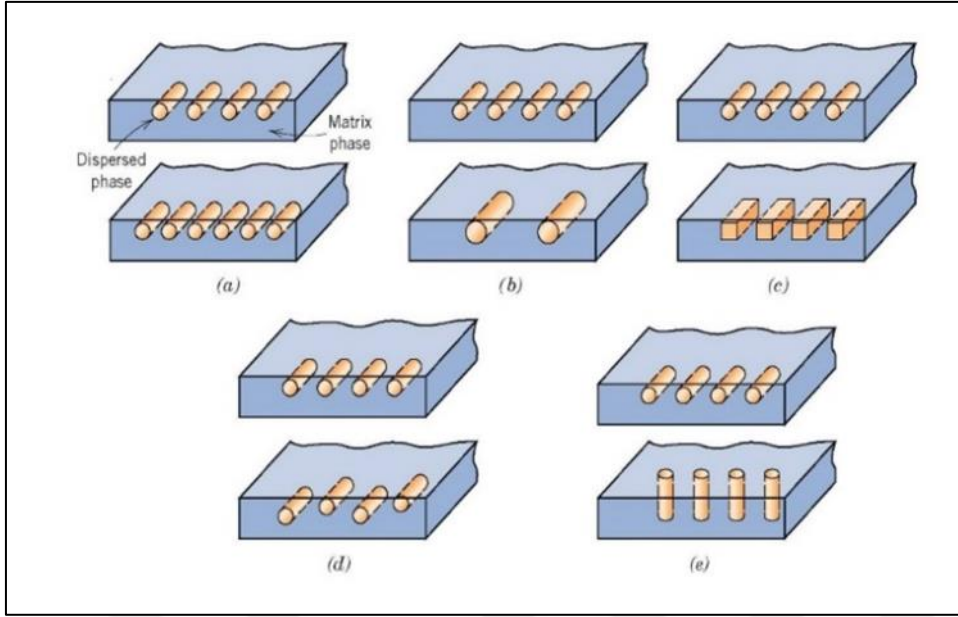
M. Ö. 3400 yıllarında ilk defa Irak'ta kontrplak yapmak üzere ahşap şeritler birbirinin üzerine farklı açılarda yapıştırıldı. M. Ö. 2181 senesinde Mısırlılar, papirüs ve diğer malzemelerin kombinasyonunu kullanarak ölmüş insanların yüzlerinden alçı ile alınmış maskeler yapmaya başlamışlardır. M. S. 1200 yılında ise Moğollar, o günlerde eşsiz ve etkili olan kemik, bambu, ahşap, sığır tendonları, boynuz ve ipek gibi malzemeleri kullanarak

kompozit yaylar yapmaya çalışmışlardır. 1900'lerde polyester, fenolik ve vinil gibi çeşitli plastik türler ortaya çıkmıştır. 1903 yılında ise Owens Corning tarafından cam elyaflar üretilip ilk kez sanayileşmesi sağlanmıştır. 1936'da doymamış polyester reçineler üretilmiş, 1961'de ise ilk karbon fiber ticari olarak temin edilebilir hale gelmiştir.

Kompozit malzeme

Günlük hayat da kullandığımız her eşya kompozit malzeme olarak sayılabilir. Kompozit malzemeler, hayatı daha kolay bir hale getirmek için üretilmektedirler. Bu malzemeler olmadan depreme dayanıklı binalar ve kurşungeçirmez yeleklerin yapılması mümkün değildir. Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla öğeden oluşan ve daha yüksek fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olan malzemelerdir. Kompozit malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, yapılarında bulunan her öğenin özelliklerinden tamamen farklı olarak ortaya çıkmaktadır. Kompozit malzemelerin oluşumunda üç farklı öğe kullanılmaktadır. Bunlar; takviye, çekirdek ve matristir. Takviye materyalleri, lifler ve yarı kristal polimerler olmak üzere iki gruba ayrılırlar [11-12]. Bunlar ana yapının gücünü arttırmaktadırlar. Çekirdek, malzemelerin başka bir ortamla birlikte veya sonradan sinterlenmesi ile elde edilerek sandviç yapının ortaya çıkmasına neden olur. Matrisler, organik ve organik olmayan matris olmak üzere iki gruba ayrılır [13]. Organik Matrisler, doğada kolaylıkla bulunan malzemelerdir. Organik olmayan matrislerin yapı taşları ise doğada bulunmaz. Metalürji de kompozit malzemelerin üç grubundan ikisinin matris diğerini takviye (dağınık faz) oluşturur. Dağınık faz, süreksiz olarak kabul edilmekle birlikte farklı boyutları olan parçacıklar, ızgaralar veya tellerden oluşmaktadır. Matris malzemeler, takviye fazların pozisyonlarını korumak üzere destek verir. Bu malzemeler, geniş uygulama alanlarına sahip olmaları nedeniyle büyük tasarlanma potansiyeli elde edilerek günümüzde modern dünyada daha fazla kullanılabilir olmalarına yol açılmıştır. Matris fazın seçimi tamamen uygulanma alanına bağlıdır. Çoğu zaman takviye faz, matris fazdan daha serttir [5].

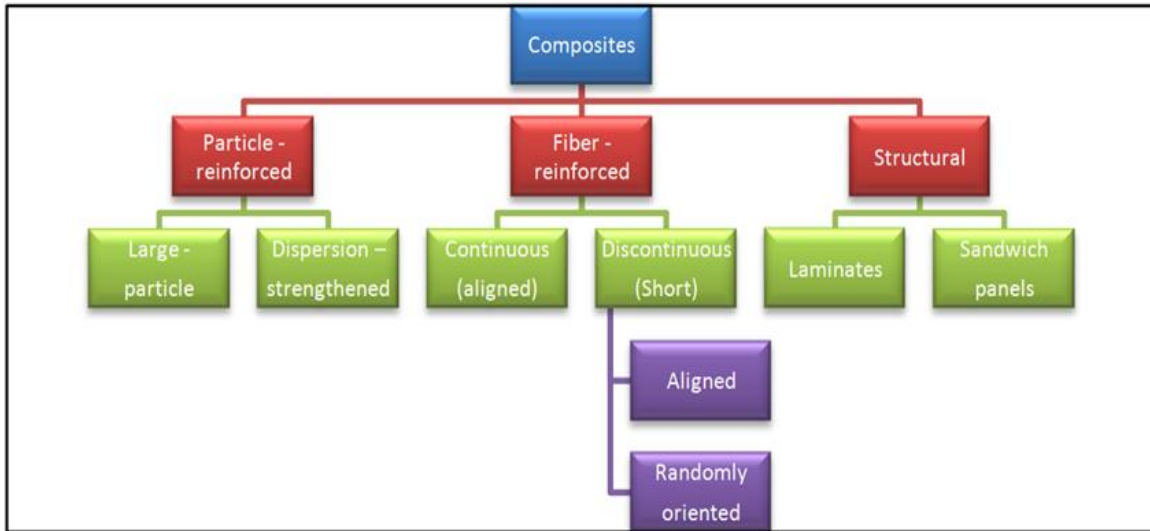
Takviye ve matris fazlar bir kompozit malzemenin kurucu unsurlarıdır. Takviye fazı yerinde tutmak ve yükü ikincil fazla paylaşmak üzere dağıtmak, eldeki malzemeyi daha sert hale getirmek için yapılması gerekenler farklı olmaktadır. Örneğin takviye lif veya seramik, matris ise bir polimer veya ona benzer bir materyal olabilmektedir.



Şekil 1.1. Dağınık faz şeması[14]

Şekil 1.1’de dağınık faz da bulunan ve kompozitlerin özelliklerinde etkili olan parçacıkların şemasını göstermektedir: (a) yoğunluk (b) boyut (c) biçim (d)dağılım (e) uyum sağlama [14].

Şekil 1.2’de kompozit malzemelerin sınıflandırılmasını göstermektedir.



Şekil 1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması[15]

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere kıyasla daha fazla kullanımına yol açan bazı özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- Güç
- Korozyon Direnci
- Sertlik
- Aşınma Direnci
- Sıcaklığa bağlı davranış
- Uygulanabilirlik
- Isı Yalıtımı
- Yorulma Ömrü
- Isı İletkenlik
- Akustik Yalıtım
- Ağırlık

Kompozitler üç gruba ayrılabilir:

1. Metal Matrisli Kompozitler
2. Seramik Matrisli Kompozitler
3. Polimer Matrisli Kompozitler

Seramik matrisli kompozitler;seramik matrisin içerisine yerleştirilmiş seramik elyaflardan oluşmaktadır [16].

Metal matris kompozitler

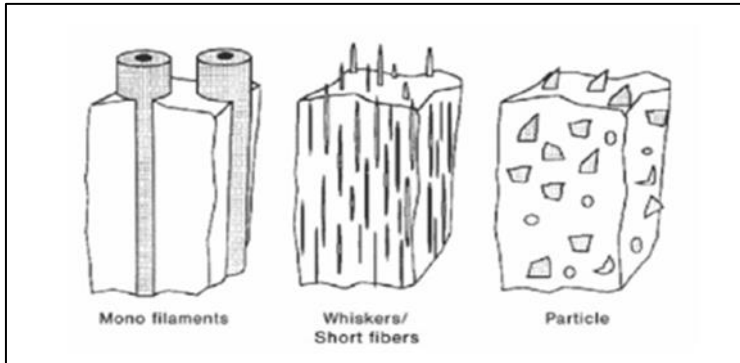
Metal matrisli kompozitler, en az iki bileşenden oluşan ve bileşenlerinden en az biri bir metal diğer bileşeni, seramik veya herhangi başka bir malzeme olabilen kompozit malzemelerdir. Bu malzemeler yüksek sıcaklıklarda çalışmak üzere üretilmektedir. Metal matrisli kompozitlerin yapısında, üç bileşen olduğu zaman, bu malzemeler hibrit kompozit malzemeolarak adlandırılmaktadırlar [17]. Matris, takviye içine gömülü olan tek parça bir kristal malzemedir. Matrisin yapısı sürekli olduğundan, malzemenin herhangi bir kısmına erişilebilir durumdadır. Metal matrisli kompozitlerin özellikleri, takviyenin hacimsel fraksiyonu, bileşen elemanları ve bileşenlerin nihai ürününü elde etmek için geçtiği süreç tarafından belirlenmektedir [18].Metal matris kompozitlerin bazı özellikleri şunlardır:

- Yüksek mukavemet
- Yüksek elastikiyet modülü
- Düşük yoğunluk
- Yüksek sıcaklık kararlılığı
- Sıcaklık değişimine ve şoklara karşı düşük hassasiyet
- Karmaşık ve pahalı üretim tekniği

- Yüksek iletkenlik (elektriksel ve termal)
- Yüksek süneklik ve katılaşma
- Düşük yorulma direnci

Tüm bu üstün özelliklerden dolayı, bu malzemeler otomotiv, havacılık ve uzay gibi farklı endüstri ve bilim alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Ticari açıdan bakıldığında, metal matrisli kompozitler, yüksek üretim maliyetleri nedeniyle polimer matrisli kompozitler kadar başarılı olmamaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi, metal matrisli kompozitler, üretiminde kullanılan teknikler ve malzemelerden dolayı yüksek fiyata sahiptirler, bu nedenle yüksek fiyatta daha ağır bastığı alanlarda kullanılmaktadırlar. Bu alanlara örnek olarak uzay gemisi veya diğer uçakların üretildiği endüstrileri gösterebiliriz. Takviye metal matris kompozitlerin de sertliğini, mukavemetini, termal iletkenliğini ve kararlılığını artırmak mümkün olabilir. Bu kompozitler polimer matrisli kompozitler ile karşılaştırıldığında, daha yüksek sıcaklıkta çalışabilirler ve yangına karşı dayanıklıdırlar fakat polimer matris kompozitlerden daha yüksek maliyete sahiptirler. Kompozit malzemelerde, takviyeler farklı amaçlar için kullanılabilir. Örneğin, düşündüğümüz hafiflik ise, takviye olarak hafif metaller kullanılabilir. Diğer taraftan sıcaklığında akma mukavemetinin ve gerilme mukavemetinin artmasına, yüksek sıcaklıklarda sürünme direncinin yükselmesine, yorulma mukavemetinin çoğalmasına, termal şokta direncin artmasına ve korozyon direncinin yükselmesine sebep olmaktadır. Metal matrisli kompozitler Şekil 1.3'de gösterildiği gibi yapılarında kullanılan takviye tipine göre, aşağıdaki gruplar halinde sınıflandırılmaktadır:

1. Sürekli takviyeli kompozitler(sürekli lifler ve filamentler)
2. Süreksiz takviyeli kompozitler (whiskerlar, kısa lifler ve parçacıklar)



Şekil 1.3.Takviye tipine göre kompozit malzemeler [19]

Takviye fazlar nitritler, karbürler ve oksitler olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Temel olarak, takviye fazlar, kompozitlerin mukavemet değerlerini parçacıkların çapına, parçacıklar arasındaki boşluğun derecesine, takviye fraksiyonunun boyutuna ve matris/ takviye arayüzüne bağlı olarak değiştirir [20]. Takviye malzemesi seçerken dikkat edilmesi gerekenler aşağıdaki gibi sayılabilir[21]:

- Elastik Modülü
- Kimyasal kararlılık
- Gerilme mukavemeti
- Termal Genleşme Katsayısı
- Maliyet
- Yoğunluk
- Termal kararlılık
- Boyut ve şekil

Metal matris, matris ve takviye parçacıklarını bir arada tutan ve enerjiyi veya stresi takviye malzemesine dağıtan bir yapıştırıcı gibi davranır. Bu nedenle, iyi bir kompozit malzeme elde etmek için, matris ve takviye arasında iyi bir kombinasyon olması gerektir. Dolayısıyla, bu iki unsur arasındaki uyumluluk çok önemlidir. Uyumluluğu artırmanın yollarından biri matrisi alaşım yapmaktır. Matrisi seçerken önemli dikkat edilmesi gereken şeylerden bazıları:

- Oksidasyon direnci
- Korozyon direnci
- Yoğunluk
- Güç
- Süneklik / Katılma Oranıdır

Matris olarak genellikle kullanılabilecek malzemelerden bazıları Al, Mg, Ni, Ti, Cu, Pb, Fe, Ag, Zn, Sn ve süper alaşımlardır.

Metal matrisli kompozitlerin yönlendirme rotaları:

Metal matrisli kompozitler için kullanılabilecek farklı işleme teknikleri vardır [22]. Uygulama alanına, takviye dağılımına ve kaliteye bağlı olarak teknik işleme yöntemlerinden

biri seçilebilir [23]. Metal matrisli kompozit malzemelerin yönlendirme yöntemleri arasında, metal matris kompozitlerin işlenmesinde uygulanabilecek üç ana rota mevcut olmaktadır:

1. Katı Hal İşlemi
2. Sıvı Hal İşlemi
3. In-situ İşlemi

Katı hal işlemi

Katı hal işlemede metal matris kompozitler, yüksek sıcaklık ve basınç altında aralarında meydana gelen karşılıklı difüzyon nedeniyle, metal matrisi elde edilerek ve dağınık faz rotaları aracılığıyla üretilmektedir.

- a) *Toz karıştırma ve konsolidasyon*: Metal tozu, sıvı süspansiyonda veya kuru bir ortamda seramik kristal flamanlar/kısa parçacıklar/lif ile karıştırılır. Karıştırıldıktan sonra, karışım soğuk sıkıştırma, kutulama, gaz giderme ve yüksek sıcaklık konsolidasyonu işlemi yapılmaktadır.
- b) *Difüzyon bağı*: Metal yüzeylerde bulunan ara difüzyon atomları, basınç altında metal matris ve lifler arasında bir bağ oluştururlar.
- c) *Fiziksel buhar biriktirme*: Biriktirmek için lifler, metalin yüksek seviye basıncından tekrar geçerler. Daha sonra üretilen buhar prosese sokulur ve daha sonra lif üzerinde bir kaplama elde etmek için yoğunlaşma meydana gelir.

Sıvı hal işlemi

- a) *Karıştırmalı döküm*: Sıvı metal, takviye partikülü ile karıştırılır ve karışım katılaşmaya bırakılır. Başka bir yöntemde, parçacıklar yarı katı halde metal alaşımı ile karıştırılabilir. Bu işlemde, erimiş parçacıkların düzenli dağılımı büyük önem taşımaktadır.
- b) *Sıkıştırmalı döküm*: Bu yöntemde erimiş metal açık bir kalıba dökülür. Daha sonra kalıp kapanır ve erimiş metal, kalıpların içindeki basınç altında katılaşır. Isı, kalıp ve erimiş metal arasında değişir, bu da daha az gözenekli ve iyi şekle sahip bir döküm ile sonuçlanır.
- c) *İnfiltrasyon*: Sıvı metal, lif / kristal flaman takviyeli malzemenin gözeneklerine nüfuz eder. Malzemenin şeklini ve bütünlüğünü korumak için silika ve metal bazlı karışımlar bağlayıcı olarak kullanılabilir.
- d) *Püskürterek biriktirme*: %5-10 metal ile yüzeyde gözenekli bir tabaka oluşturmak için kristal flaman /parçacık / kısa lif takviyesi karışıma enjekte edilir. Daha sonra çökeltiler tam yoğunluğa gelene kadar güçlendirilir [24].

In-situ işleme

Yerinde işleme, metal matriste takviye fazının oluşmasına neden olan kimyasal reaksiyonları içerir. Bu metot ile ürün, matris takviye arayüzünde termodinamik açılarından uyumlu hale getirilir. Böylece, takviye arayüzleri kirlenmediğinden, matris dispersiyon bağı daha güçlü bir şekilde oluşturulur [6].

Al-bazlı metal kompozitler

Alüminyum yer kabuğunda en çok bulunan metaldir. Son derece reaktif olması nedeniyle saf Al doğa da nadiren bulunabilir. Alüminyumun 270'den fazla farklı mineral ile kombinasyonu bulunmaktadır [25]. Farklı malzemelerin kombinasyonu ile üretilen alüminyumun en önemli özelliklerinden biri, korozyona karşı yüksek direnç göstermesidir. Bu özelliği ile havacılık ekipmanlarının üretilmesine [26], ulaşım ve inşaat endüstrilerinde yeni malzemeler geliştirilmesine yardımcı olmuştur [27]. Al alaşımlarının, özelliklerini geliştirmek için Al'a diğer elementler eklenerek Al-bazlı metal kompozitler oluşturulur. Bu kompozitler, düşük yoğunluğa ve yüksek sertliğe sahip olduklarından en çok kullanılan metal matris kompozitleri arasındadır [19]. İki tip Al alaşımı vardır:

1- *İşlenik (Dövmeli) alaşımlar*: Bu grupta, her bir alaşım dört rakamdan oluşur. İlk rakam ana alaşım elemanını, ikincisi alaşımın varyasyonunu, üçüncü ve dördüncü rakamlar ise, aşağıda görüldüğü gibi sekiz gruba ayrılan, serideki spesifik alaşımı temsil eder [19-20]:

- 1000 serisi
- 2000 serisi
- 3000 serisi
- 4000 serisi
- 5000 serisi
- 6000 serisi
- 7000 serisi
- 8000 serisi

2- *Döküm alaşımları*: Bu alaşımlar, maliyet açısından verimli olan ve dövmeli alaşımlardan daha düşük gerilme mukavemetine sahip alaşımlardır. Döküm alaşımlarında, son iki

rakam minimum Al yüzdesini gösterir ve ondalık noktadan sonraki rakam ise döküm ve külçeyi gösteren 0 veya 1 olmaktadır. Bu gruptaki öğeler aşağıdaki gibidir [5,11]:

- 1xx. X serisi; minimum %99 alüminyumdan oluşur
- 2xx. X serisi; bakır
- 3xx. X serisi; silikon, bakır ve/veya magnezyum
- 4xx. X serisi; silikon
- 5xx. X serisi; magnezyum
- 6xx. X serisi; kullanılmayan seri
- 7xx. X serisi; çinko
- 8xx. X serisi; kalay
- 9xx. X serisi; diğer öğeler

Al metal matris kompozitler, saf Al ile karşılaştırıldığında daha yüksek aşınma direncine ve sertliğe sahiptir. Kompozitlere Al eklenmesi sertliği artırırken, Al yüzdesinin azaltılması elektrik iletkenliğini düşürür [28-29]. Al matris kompozitlerin avantajlarının yanı sıra, performanslarında önemli bir sınırlama olan düşük erime noktası (660°C) en büyük dezavantajıdır. Al metal matris kompozitler, farklı yöntemler ile elde edilebilmektedir. Mekanik alaşım, kompozitlerin yüksek sıcaklıklarda istikrarlı bir yapıya sahip olmasına yardımcı olan katı hal yöntemidir [30]. Bazen Al alaşımları takviye malzemelerinden elde edilir. Seramik parçacıklarla güçlendirilmiş alüminyum metal matris kompozitler, yüksek aşınma direncine sahiptirler ve otomotiv endüstrisinde fren üretimi vb. için kullanılabilir [31]. Dökme alaşımların aşınma direnci çok düşüktür, dövme alaşımlar ise yüksek aşınma direncine sahiptir [32]. Bu özellikler aynı zamanda Al matrisinin kompozit üretim yöntemine ve bileşenlerin fiziksel durumuna da bağlıdır. Örnek olarak, karıştırma döküm yönteminin uygulanması, özellikle döküm yarı katı durumda olduğunda, takviye elemanlarının dağılımını iyileştirmektedir. Ayrıca, toz formundaki takviye parçacığının eklenmesi sertliği artırır ve gözenekliliği azaltır[33]. Parçacıkların düzgün dağılımı mekanik özelliklerde önemli bir rol oynamaktadır [34].

Alüminyum Matris Kompozitler (AMK) ve Metal Matris Kompozitler (MMK) kristal flamanlar(viskerler), kısa lifler ve sürekli lifler gibi aynı tür takviyelere sahiptir. Kısa lifler sürekli takviye tipinden daha iyi izotropik özelliklere sahip olmaması nedeni ile süreksiz parçacıklar düzgün takviye dağıtılmış bir matrise sahip olma önemlidir [35]. Bu parçacıklar,

yüksek sürtünme ve aşınma direncine sahip olması gereken ürünlerin üretiminde kullanılırlar[36]. Hafif, yüksek aşınma direnci, bolluk, yüksek özgül modül ve düşük termal genleşme katsayısı gibi önemli avantajlar nedeniyle Al bazlı matris kompozitler en başarılı ve gelişmiş malzemelerden biri olarak kabul edilmektedir. Al malzemenin yüksek sıcaklıkta arayüzey kimyasal reaksiyonu ve matris ile takviye arasındaki ıslanabilirlik eksikliği, Al bazlı matris kompozitlerinin üretilmesinde en büyük sorun olarak düşünülmektedir. Al etkileşime girdiği madde ile arasındaki reaksiyon olasılığını azaltmak için çeşitli çözümler uygulanmaktadır. Takviye kaplama, matris bileşiminin modifikasyonu, takviye ve bu süreçte yer alan parametreler üzerinde bazı özel işlemlerdir [37]. Arayüzün özellikleri, metal matris kompozitlerin özellikleri üzerinde göz alıcı bir etki yaratmaktadır. Bu özellikler, takviye ve matris arasındaki arayüzey bağının gücüne bağlıdır. Bunların arasındaki bağ güçlü olduğunda, yükün matristen takviye malzemeye dağılımı daha yüksek oranda gerçekleşebilir. Takviye ve matris atomlarının arasında iyi temas olduğunda, iyi bir kimyasal bağlanma elde edilebilir.

Al metal matrisli kompozitlerin çoğunluğu sıvı hal teknikleri ile üretmek mümkündür. Seri üretim teknikleri, seri üretimlerde kullanılmaktadır. Genelde AMK'ler karıştırma döküm yöntemi ile üretilir. Bu teknikte, matris ve takviye karıştırıldıktan sonra dökülür. Takviye parçacıklar matris içinde homojen olarak dağıtılması gerektiğinden, AMMK'nin dökümü sırasında karıştırma uygulanmalıdır. Döküm yöntemleri sırasında takviye parçacıkların homojen bir dağılımına sahip olan ürünün üretilmesi büyük önem taşımaktadır. Toz metalürjisinin uygulanması, daha düşük maliyet ve daha az enerji tüketimi ile çok homojen ürünlere sahip olmamıza yardımcı olabilir [38].

Takviye malzemeleri

Takviye malzemeler, metallerin aşınma direncini iyileştirir. Takviye malzemeler iki ana gruba ayrılmaktadır. 1-Kristal flamanalar, parçacıklar ve pullar 2-lifli materyaller. Takviye malzemelerin çoğunluğu daha sağlam olduğu için liflidir. Lifli materyallerin fiyatları düşük olduğu için piyasada daha yaygın kullanılmaktadır. Çoğunlukla tekstilde kullanılan pamuk gibi selülozik lifler ve cam elyafları polimerler üretiminde iyi bir takviye malzemesi olarak kullanılabilir. Seramik takviye malzemelerin aşınma direncini artırır [39-40]. Takviye elemanları ayrıca malzemenin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Genelde takviye malzemesinin özel bir miktar eklenmesiyle belirli sıcaklık altında güç ve sertlik artış

göstermekte olup kompozit yüzeyinde daha az çukur tespit edilmektedir. Ancak, yaşlanma sertleşmesi takviye parçacığından bağımsızdır [41-42]. Sertliğe ek olarak, kompozitlere takviye eleman eklenerek çekme mukavemeti artırılabilir [43]. Ayrıca, takviye kullanarak PM'DE (odaklanmış rotamız) kompozit elde etmek diğer rotalardan daha kolaydır. Takviye malzemesinin seçimi, uygulamaya, üretim yöntemlerine ve malzemenin maliyetine bağlıdır. Buna ek olarak, takviye parçacığının morfolojisi, kompozitlerin çökelme kinetiğini de etkiler [44]. Çizelge 1.1'de bazı parçacık tipleri hakkında bilgi verilmiştir.

Çizelge 1.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviyeler [45]

Tip	En-Boy Oranı	Çap (μm)	Örnekler
Parçacık	1-4	1-25	SiC, BN, WC, B ₄ C, Al ₂ O ₃
Kısa lif veya Viskeri	10-10000	1-5	Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ + SiO ₂ , C, SiC
Sürekli lif	>10000	3-150	SiC, C, Al ₂ O ₃ , B, W, NB-Ti, NB ₃ Sn

B₄C düşük özgül ağırlık, yüksek sertlik, yüksek elastik modül ve iyi kimyasal stabiliteye sahip olması nedeniyle Al MMK'ler için bir takviye elemanı olarak kullanılmaktadır [46]. B₄C'ün varlığında, MMK'lerin mikro sertliği ve kırılma mukavemeti daha yüksek olmaktadır [47].

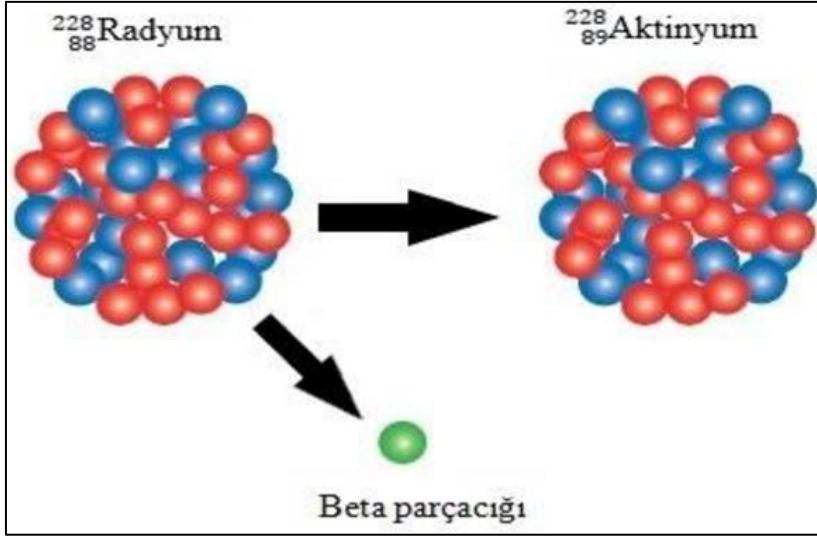
[48]'de, B₄C'ün etkisi yapay sinir ağları kullanılarak incelenmiş olup (yüksek doğruluk seviyeleri nedeniyle) ve B₄C'ün parçacık boyutundaki artışın yoğunluğu azalttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, en iyi sonucu elde etmek için %10 B₄C kullanılmasıyla birlikte 5 saat frezeleme önerilmiştir. Öte yandan, MMK'lerin mekanik özelliklerini arttırmak için B₄C'den farklı takviye parçacıklarda kullanılabilir. TiC çok pahalı olduğundan dolayı sadece havacılık, deniz ve savunma uygulamalarında olduğu gibi güvenliğin çok önemli olduğu durumlarda kullanılan bir takviye malzemesidir (erime noktası çok yüksek olduğu için). TiC termodinamik olarak stabildir ve kompozitlerin sertliğini ve aşınma direncini artırmaktadır. Mixed Casting de, Al-TiC kompozit üretiminde TiC 'ün uygulanabileceği bir yöntemdir ve elde edilen sonuçlara göre TiC'in artmasıyla ısınma oranı, sürtünme katsayısını da azaltır [49-50]. TiB, sıcak presleme, kıvılcım plazma sinterleme ve vakum sinterleme teknikleri kullanılarak uygulanabilen başka bir takviye elemanıdır. Bu üç teknik arasında SPS (Spark Plasma Sintering - Kıvılcım Plazma Sinterleme), Ti-TiB işlenmesinde en iyi sonuçları elde edilmektedir. TiB partikülünün artmasıyla sertlik, elastik modülü ve temas sertliğinde artış

olmaktadır [51]. Al_2O_3 , kullanılan başka bir takviye elemanıdır. Kompozitlerin termal iletkenliği farklı miktarlarda Al_2O_3 eklenerek artırılabilir [52]. Al_2O_3 kristal filamanları takviye partikülü olarak, toz metalürjisi rotası kullanıldığında, oda sıcaklığı ve daha yüksek sıcaklıklarda daha iyi mekanik ve spesifik özellikler gösterdiği ispatlanmıştır [31]. Aynı zamanda, Al_2O_3 parçacıklarının miktarının artırılması sözü geçen özelliklerin geliştirilmesini sağladığını göstermiştir [54]. İncelenen bir başka takviye parçacık ise SiC 'dür [55]. SiC 'ün hacmini arttırarak sertliğin de arttığı ve parçacıkların dağılımının homojen olduğu saptanmıştır, bu da bir avantaj olarak kabul edilmektedir [56-57]. Uygulama tekniğinin sonuçlarında önemli bir rol oynadığını, ama genel olarak ana elemanlara SiC eklendiğinde sertlik değerinin arttığını ve gözenekliliğini azaldığını saptamışlardır.

Takviyelendirme metalürji biliminde çok önemli bir rol oynamaktadır ve doğru malzemeyi seçmek de oldukça önemlidir [58]. Tüm takviye parçacıkların arasında B_4C en etkili olanlardan biri olduğu kanıtlanmıştır [59].

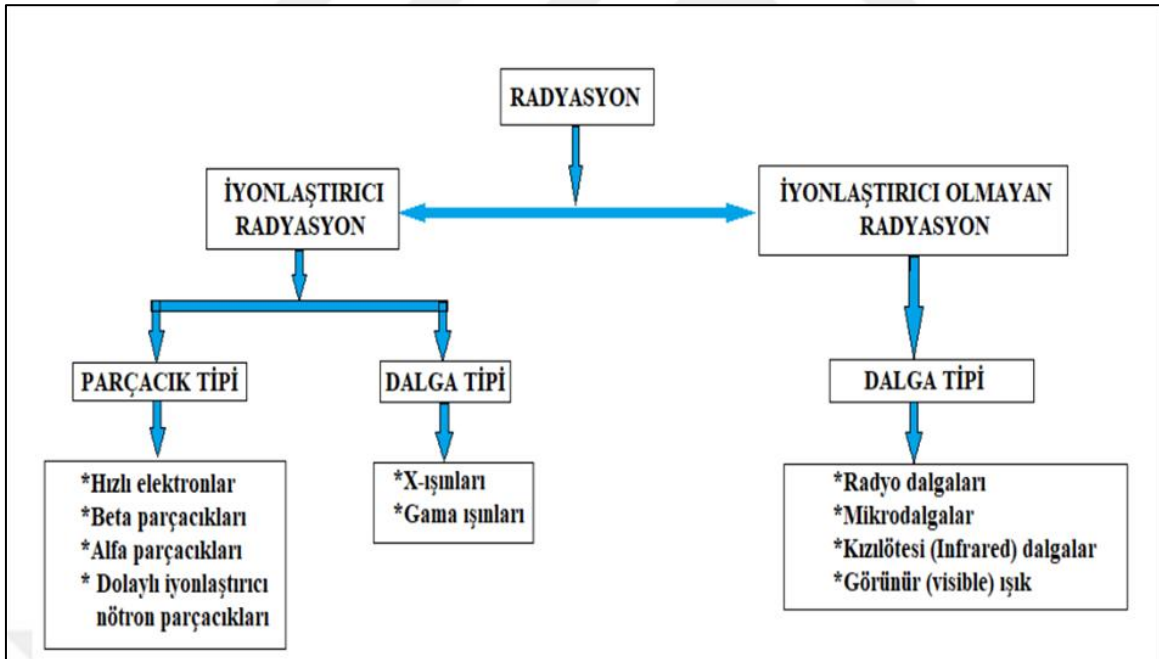
Radyasyon

İlk kez 1896 yılında Fransız fizikçi H.Becquerel doğa da radyasyonlu bir maddenin olduğu keşif etmiştir. Radyasyon kaynakları, 1989 yılında radyasyon Pierre Curie ve Marie Curie' nin keşfinden sonra tıpta, sanayide, tarım ve farklı alanlarda kullanılmaya başlamıştır. Radyoaktif çekirdeklerini kararlı hale getirmek için dışarıya salınan elektromanyetik dalgalar veya parçacık boyunda ki fazla enerjiye radyasyon denilir. Maddenin çekirdeğindeki nötron ve protonların oranı 1'e yakın veya 1 değilse atomlar kararsızdırlar ve kararlı hale gelmek için enerjilerini çeşitli yollarla kayıp ederek kararlı hale geçmeye çalışırlar. Sonuçta ortaya çıkan enerjiye radyasyon denir. Şekil 1.4'da kararsız Radium çekirdeği bozulması sırasında kararlı hale gelen Aktinyum çekirdeğine değişimi gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Çekirdeğin kararlı hale geçişi [60]

Radyasyonu, iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ayırarak şematik görünümü şekil 1.5’de gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Radyasyon tiplerinin şematik görünümü[60]

İyonlaştırıcı radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyonlar büyük bir enerjiye sahip oldukları için, maddeye girerken maddenin atomlarından elektronların koparılırlar. İyonlaştırıcı radyasyonlar dalga ve parçacık

tipine bağılı olarak iki gruba ayrılırlar. Bu gruplar kütlesi olan parçacıklar (alfa, beta, proton ve nötron) ve yüksek enerjiye sahip olan elektro manyetik dalgalarıdır.

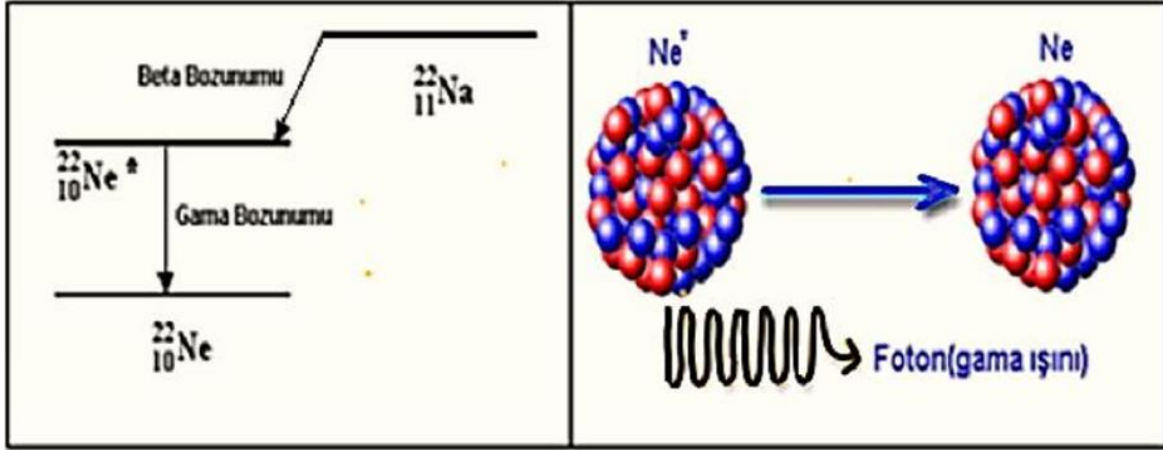
Rutherford tarafından α -parçacıkları 1903 yılında bulunmuştur. İki defa iyonlaşmış pozitif yüklü helyum çekirdekleridir. Enerjileri 4-8 MeV arasında değişmektedir. Radyoaktif atomdan α -parçacıkları, atoma bağılı olarak ışık hızının 1/10-1/15'i kadar hızla yayınlanırlar. β -parçacıklarına göre daha az giricidirler. Radyoaktif maddelerin kimyasal, elektrik ve ısı olayları genelde α -parçacıklarının oluşumuyla ilgilidir.

β -parçacıkları, madde içinde aldıkları mesafe α - parçacıklarından fazla olan iyonlaştırıcı parçacıklar olup, ışık hızına yakın hızla hareket ederler. Beta parçacıkları, radyonüklidler tarafından oluşturulan ve yayınlanan, yüksek enerjili negatif veya pozitif yüklü elektronlardır.

Çekirdekdeki enerji fazlalığı, $E = mc^2$ ye göre çekirdek civarında bir m kütlesi meydana getirir. m kütlesi, çekirdekdeki fazla yükü alır ve dışarıya beta partikülü olarak çıkar.

Çekirdekdeki enerji, nötron fazlalığından ileri geliyorsa - yüklü betalar (negatron), proton fazlalığından ileri geliyorsa + yüklü betalar (pozitron) çıkar. β -parçacıkları, radyoaktif çekirdeklerinden bazen tek başına, bazen gama ışınlarıyla birlikte yayınlanır. Negatif β -parçacıkları, elektronlarla özdeş olup yayınlandıktan sonra enerjilerini kaybederek serbest elektron haline geçerler. Pozitronların ortamdaki serbest bir elektronla buluşmadan önceki ömürleri mikro saniye mertebesinde. Pozitron ortamdaki bir elektron tarafından çekilerek elektronu nötrleştirir ve iki anihilasyon (yok olma) fotonu meydana gelir. Beta parçacığının bir ortamla etkileşme ihtimali az olmakla beraber erişme uzaklığı, aynı enerjideki bir alfa parçacığına göre çok daha fazladır.

P. Villard tarafından 1900 yılında keşfedilen γ -ışınları, 10^{-10} m ve 10^{-14} m dalga boyuna sahiptirler. Gama ışınlarının dalga boyları kısa olmakla, radyoaktif bir çekirdek β veya α parçacıkları yayınladıktan sonra, çekirdek uyarılmış halde kalır ve bu çekirdekte yüksek enerji oluşur. Bu çekirdeğin kararlı olması için enerjiyi yaymak zorundadır ve bu yayılma gama ışının yayılması ile elde edilmektedir. Gama ışınları bir madde ile etkileşime girmeden önce enerji yayılması olmamaktadır. Yüksek enerjili gama ışınları birkaç cm kalınlıktaki kurşundan geçerler. γ ışınları meydana getirdikleri elektronlarla iyonizasyon yaparlar. Şekil 1.6'da gama ışının yayılma süreci aşağıdaki şekilde göstermektedir.



Şekil 1.6. Gama ışıması [61]

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonların enerjisi az olduğu için maddedeki penetrasyon değeri ve madde üzerinde bıraktıkları iz imkânı çok az olmaktadır. Bu radyasyonlara örnek olarak radyo dalgaları, mikro dalgaları ve görünen ışınlar verilebilir.

Radyasyondan koruma

Radyasyon her hangi bir maddeye etki ettiğinde büyük zararlar verirler. Bu yüzden radyasyonun madde üzerindeki etkilerinden koruyabilme için bazı tedbirlerinin alması gerektir. Radyasyondan korunma yöntemlerinde zaman, mesafe ve zırhlama öne çıkan parametrelerdir.

Zaman: Hastanede görüntüleme cihazlarının bulunduğu veya nükleer santral gibi radyasyon alanlarda çalışan insanların bedenlerinde hasarlar, radyasyondan aldıkları doz ile radyasyona maruz kalma zamanına bağlıdır. Radyasyon kaynağından alınan doz miktarı, çalışanın radyasyonun var olduğu ortamda bulunduğu zamanın ve radyasyonun hızının çarpısı ile hesaplanır. Radyasyon kaynağının olduğu ortamında ne kadar az vakit geçilirse maruz kalınan radyasyon miktarı da o kadar az olmaktadır [62].

Mesafe: Radyasyon olduğu oranda çalışanların radyasyon kaynağı ile arasındaki mesafe oldukça önemlidir ve bireylerin aldıkları doz, mesafenin karesi ile ters olarak

hesaplanmaktadır. Çalışan radyasyon kaynağına olan mesafeleri arttıkça orada çalışan insanların radyasyona maruz kalma olasılıkları da azalmaktadır.

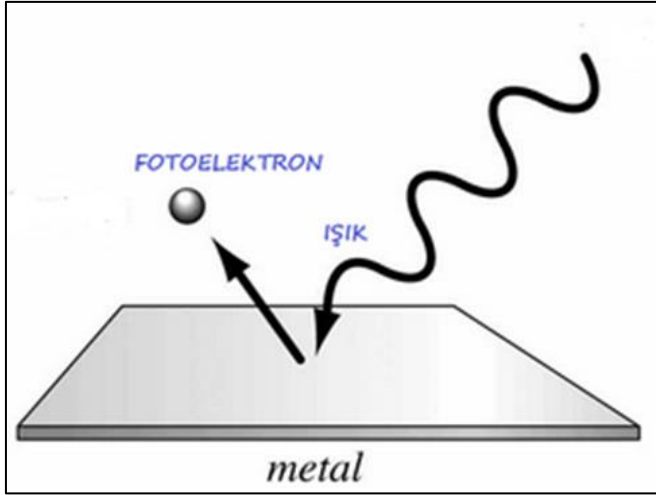
Zırhlama: Radyasyondan korunma yollarının birisi, radyasyonun miktarını azaltan malzemelerin kullanmasıdır. Radyasyonun var olduğu ortamlar da çalışan insanların radyasyondan korumaları için bazı radyasyon tutucu malzemeler kullanmaları radyasyon zırhlaması olarak adlandırılmaktadır. Zırhlamanın etkisi, zırhlama malzemelerin yoğunluklarına bağlıdır. Malzeme ne kadar yoğun ise radyasyondan koruma ihtimalide o kadar yüksek olmaktadır.

Gama radyasyonunun madde ile etkileşmesi

Madde ile gama radyasyonun etkileşmesi, madde atomlarının elektronları veya çekirdeğin mevcut alanı ile meydana gelmektedir. Gama radyasyonunun madde ile etkileşmesi, düşük enerjiden yükseğe doğru fotoelektrik olay, compton saçılması ve çift oluşumu olayları meydana gelir.

Fotoelektrik olay

Belirli bir frekansı olan fotonun, soğurucu ortamdaki bağlı elektron tarafından soğurularak belirli bir kinetik enerjiye sahip bir elektronun yayınlanmasına fotoelektrik olay denir. Şekil 1.9'da metal malzemedan elektronun kopması olayı ve ayrılan elektronlar gösterilmiştir. Fotoelektrik soğurma olayının meydana gelebilme olasılığı radyasyon enerjisinin 0.5 MeV den az ve etkileşime girdiği maddenin atom numarasının yüksek olduğu durumlarda artmaktadır. Fotoelektrik soğurma ihtimali $Z^5/E_\gamma^{7/2}$ dir. Foton, sahip olduğu enerji ile metalden elektron ayırır, fotoelektrik olay sırasında fotonun tüm enerjisi soğurulur.



Şekil 1.7. Fotoelektrik olay[60]

Eşitlik 1.1’de gelen gama radyasyonun fotoelektrik soğurmasında Einstein fonksiyonu olarak formüle edilmiş hali verilmektedir:

$$h\nu = W + \frac{1}{2}mv^2 \quad (1.1)$$

Metalin üzerine gelen fotonun enerjisi (W), elektrik alanında çekirdekten elektronun ayırmak için gerekli enerji veya iş fonksiyonu olarak tanımlanır. $\frac{1}{2}mv^2$ koparılan elektronun kinetik enerjisidir. h Planck sabitidir ve değeri $6,63 \times 10^{-34} J.S$ dir. $h\nu = W$ olursa fotoelektronların hızları sıfır olmaktadır. O zaman minimum ν_0 frekansı olmaktadır ve bundan daha az bir radyasyon miktarında fotoelektrik olayı elde edilmemektedir. Bu nedenle, Eşitlik 1.2’de verilen denklem:

$$h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2}mv^2 \text{ veya } h(\nu - \nu_0) = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1.2)$$

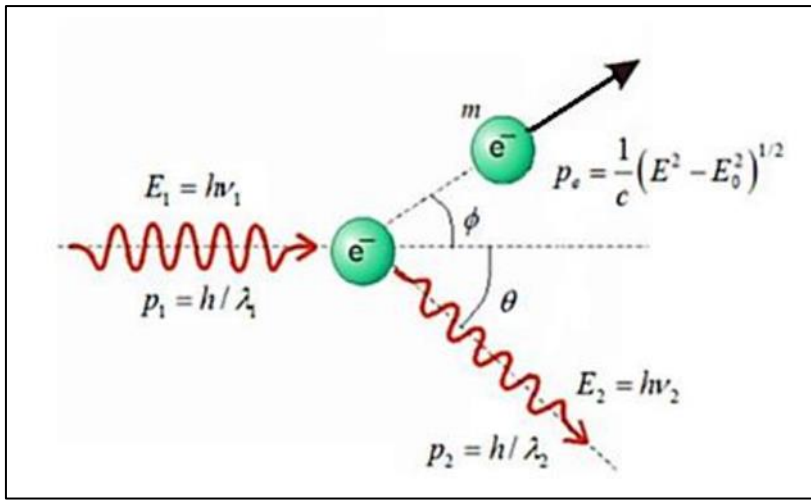
Olur ve ν_0 eş frekansı ifade etmektedir.

Compton saçılması

Fotonun madde ile etkileşmesinde en iyi anlaşılan mekanizmalardan birisi compton saçılmasıdır. Bu olay, fotonun serbest bir elektronda esnek saçılmasıdır. Elektronlar madde içinde bağlı durumdadır. Eğer fotonun enerjisi, elektronun bağlanma enerjisinden yüksek ise, bağlanma enerjisi göz ardı edilip elektronun serbest olduğu düşünülür. Serbest bir elektron üzerine $h\nu$ enerjili, $\frac{h\nu}{c}$ momentumlu foton düştüğünde, foton θ açısı altında daha

düşük frekansta saçılmaktadır. P momentumuna sahip elektron ise ortamdan yayınlanmaktadır. Fotonun saçılma açısı, fotondan elektrona aktarılan enerji miktarına bağlıdır. Compton olayına enerji ve momentum korunumu kanunlarını uygulayarak bağıntılar elde edilir.

Compton saçılmasında E enerjisine sahip bir foton madde üzerine gönderildiğinde maddeden bir elektron kopararak daha düşük bir enerji olan E' olarak yüksek bir dalga boyunda saçılma uğrarlar. Şekil 1.8'de comptonsaçılması şematik olarak açıklanmaktadır.



Şekil 1.8. Compton Saçılması [61]

Şekil 1.8'de enerji ve momentum korunmasından hareketle yayılan fotonun enerjisinin tespit için gerekli olan formül Eşitlik 1.3'de verilmiştir.

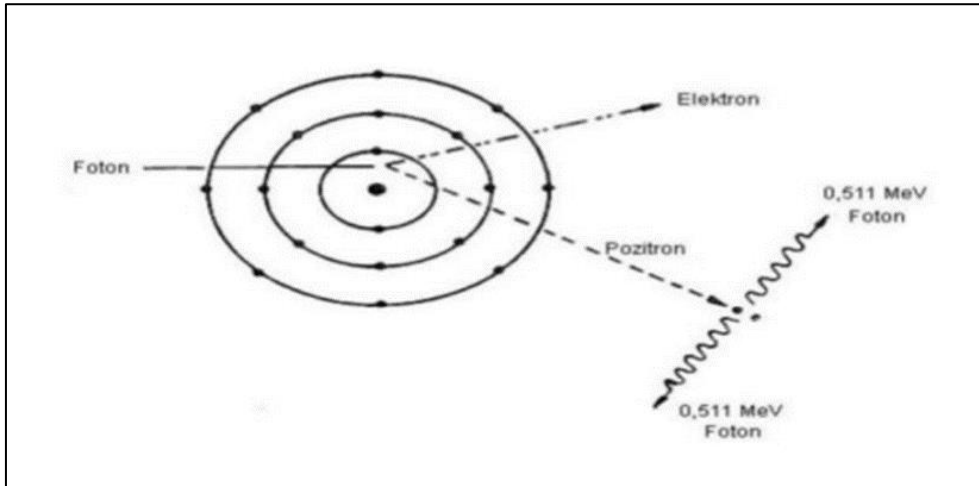
$$E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (1.3)$$

Eşitlik 1.3'de verilen, E' yayılan elektronun enerjisini, θ yayılım açısını ve $m_0 c^2$ elektronun sabit kütle enerjisi tanımlamaktadır. Eşitlik 1.4'de ise gelen ve saçılan dalga boyu arasındaki farkı göstermektedir. Gelen fotonun dalga boyuna ve enerjisine bağlı değildir.

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda' = \frac{h}{m_0 c (1 - \cos \theta)} \quad (1.4)$$

Çift oluşum

Çift oluşumun tesir kesiti Z^2 ile değişmektedir. Foton enerjilerinin 10 MeV den büyük olduğu durumlarda enerji kaybı mekanizmalarında çift oluşumu baskın olmaktadır. Yüksek enerjilerde (>100 MeV), elektron-pozitron çifti tesir kesiti azalmaktadır. Oluşan pozitronlar madde içerisinde ilerlerken elektronlar gibi iyonlaşmaya başlar ve enerjilerini kaybederler. Pozitron kinetik enerjisinin çoğunu kaybettikten sonra bir elektron yakalayarak pozitronyum olarak isimlendiren hidrojen benzeri bir atom meydana getirir. Hidrojen atomunun aksine pozitronyum atomu kararsızdır ve 10^{-10} sn yarı-ömre bulunmaktadır. Pozitronyum atomu bozunduğunda iki foton meydana getirmektedir. Yok, olma işlemi, zıt yönlü eşit enerjili iki foton meydana getirir. Fotonların her biri için enerji-momentum korunumunun sağlanması için 0.511 MeV' lik enerjiye sahip olması gerekir. Eğer atoma gelen γ -ışığın enerji 2×0.511 MeV = 1,022 den büyük olursa çift oluşum olayının meydana gelme olasılığı artmaktadır. Bu miktar enerji bir çift elektron-pozitronu elde etmek için minimum gerekli enerji miktarıdır. Gelen γ ışını 1,022 MeV den büyük olduğu zaman ekstra olan enerji kinetik enerji olarak partiküller tarafından paylaşılır. 1,022 MeV den büyük olan γ ışınlarının çift oluşum olayı Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Çift oluşum [64]

Elektro manyetik radyasyonun soğrulması

Radyonsun türü ne olursa olsun etrafına enerji yaymaktadır. Foton ve madde etkileşmesinde ayrıca Thomson Saçılması, Rayleigh Saçılması, Delbruck Saçılması, Nükleer Rezonans

Saçılması, Elastik Nükleer Saçılma, Thomson Saçılması, Nükleer Rezonans Saçılma ve Rayleigh saçılması da meydana gelebilmektedir[65-67].

Foton soğurma parametrelerinin teorisi

Foton maddeye girdiği zaman, soğrulma ve saçılma olayları gelen fotonun enerjisine, zırlama malzemesine bağlı olarak değişir.

Lineer zayıflatma katsayısı

I_0 şiddetine sahip bir elektromanyetik radyasyon t kalınlığında soğurucu bir madde üzerine gönderildiğinde, şiddette azalma meydana gelir. Dar bir foton demeti x kalınlığındaki bir soğurucudan geçerken foton şiddetindeki değişim Eşitlik 1.5’de göstermektedir:

$$\frac{-dI}{dx} = \mu I \quad (1.5)$$

Eşitlik 1.5’de gösterilen μ malzemenin lineer zayıflatma katsayısıdır. Fotonun soğurulması için yazılan denklem 1.5, teorik olarak, bir foton demetinin tam soğurulmasının asla gerçekleşmeyeceğini ileri sürer. Ancak pratikte üstel azalma ve/veya soğurma, demet şiddetini algılanamaz düzeylere azaltmak için kullanılabilir. Eşitlik 1.5 düzenlendiğinde, Eşitlik 1.6’da gösterildiği gibi olmaktadır:

$$I(x) = I_0(e^{-x\tau})(e^{-x\sigma})(e^{-kx}) = I_0e^{-(\tau+\sigma+k)x} = I_0e^{-\mu x} \quad (1.6)$$

$I(x)$ malzemedan çıktıktan sonraki radyasyon şiddeti, I_0 malzemeye gelen radyasyon şiddetidir. τ fotoelektrik olayın oluşma faktörü, σ Compton saçılmasının olma ihtimalinin faktörü, k çift oluşumun ortaya çıkmasının ihtimalini göstermektedir. $\mu(cm^{-1})$ malzemenin lineer zayıflatma katsayısıdır. Lineer zayıflatma katsayısı malzemeye gelen mono enerjik fotonlar birim kalınlıkla etkileşme ihtimalin göstermektedir.

Kütle zayıflatma katsayısı

Birim kütle başına soğurulmayı kütle zayıflatma katsayısı ile ifade edilir. Lineer zayıflatma katsayısı malzemenin kalınlığı ile orantılıdır. Kütle zayıflatma katsayısı $(\mu_m; \frac{cm^2}{g})$ bir malzemenin foton zırlama veriminin ölçmesi için en önemli faktördür. Kütle zayıflatma

katsayısı, yayılma etkileşimi de kapsandığından dolayı tüm etkileşim proseslerinin yapısında olduğu için gelen fotonun enerjisi ve soğrulması malzemenin çizimine bağlıdır. Bir malzemenin kütle zayıflatma katsayısı Eşitlik 1.7’de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$\mu_m = \left(\frac{\mu}{\rho}\right) \quad (1.7)$$

Burada, $\rho\left(\frac{g}{m^3}\right)$ malzeme yoğunluğunu göstermektedir. Malzeme, iki ve ya daha fazla kompozit malzemeden oluşuyorsa kütle soğurma katsayısı Eşitlik 1.8’de verildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$(\mu/\rho) = \sum_i w_i (\mu/\rho)_i \quad (1.8)$$

Burada w_i ve $(\mu/\rho)_i$ malzemede olduğu i . Elementin ağırlığı ile kombinasyon farkı ve onunla ilgili foton enerjisinin kütle soğurma katsayısıdır. w_i ise Eşitlik 1.9’da verildiği gibi yazıla bilir:

$$w_i = \frac{a_i A_i}{\sum a_i A_i} \quad (1.9)$$

Burada a_i ve A_i sırasıyla malzemedeki elemanın *mol* kesri (%*mol*) ve atom kütlesi olmaktadır.

Ortalama serbest yol

Fotonun malzeme ile oluşturduğu yukarıdaki üç etkileşmesinden önce, malzeme içinde aldığı ortalama yol, ortalama serbest yol uzunluğu (λ) olarak ifade edilir. Ortalama uzunluğu (λ) Eşitlik 1.10’da verilen formül gibi hesaplanır:

$$MFP = \lambda = \frac{\int_0^\infty x e^{-\mu x} dx}{\int_0^\infty e^{-\mu x} dx} = \frac{1}{\mu} \quad (1.10)$$

Yarı değer kalınlığı

Yarı değer kalınlığı, malzemeye giren fotonların malzemeye girmeden önce sahip olduğu ilk yoğunlukların I_0 yarıya indirmek için ($I = I_0/2$) gerekli olan malzeme kalınlığını ifade eder. Malzemeye giren fotonların yarı yoğunlukta üstel olarak düştüğü için radyasyon uygulama sahalarda tercih edilmektedir. Her malzemede foton için yarı değer kalınlığı Eşitlik 1.11’deki gibi hesaplanmaktadır:

$$\frac{I(x)}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu x_{1/2}} \quad (1.11)$$

Bu ilişki Eşitlik 1.12'deki değerlerle eş olmaktadır:

$$\text{HVL} = x_{1/2} = \ln(2) / \mu \quad (1.12)$$

Onda bir değer kalınlığı

Onda bir değer kalınlığı, malzemeye giren fotonların malzemeye girmeden önce sahip olduğu ilk yoğunlukların I_0 onda bir değerine indirmek için gerekli olan malzeme kalınlığını ifade eder. Eşitlik 1.13'de hesaplanması için gerekli olan formül verilmiştir.

$$\text{TVT} = X_{1/10} = \ln 10 / \mu \quad (1.13)$$



2. MALZEME VE METOT

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu tez çalışmasında 3 farklı kompozit malzeme üretilmiştir. Üretim sonrasında bu kompozitlerin bazı özellikleri analiz edilmiş ve kıyaslanmıştır. Üretim sırasında kullanılan malzemeler ile ilgili veriler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Üretimde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri

Malzeme	Fiziksel Özellikler			
	Yoğunluk (g/cm ³)	Eriğim Sıcaklığı(°C)	Üretim Yöntemi	Toz Boyutu(μm)
Alumix-231	2,67	577	Gaz Atomizasyon	<160
B ₄ C	2,48	2427	---	<50
Al ₂ O ₃	3,97	2040	---	<32
SiC	3,12	2830	---	<50

Çalışmada kullanılan Alumix-231 toz malzemesi bir hiperötektik ön alaşımlı Al-Si P/M alaşımı olup, Ecka Alumix-231 ticari ismi ve %(Al- Cu 2,5- Mg 0,5- Si 14)kimyasal kompozisyona sahiptir.

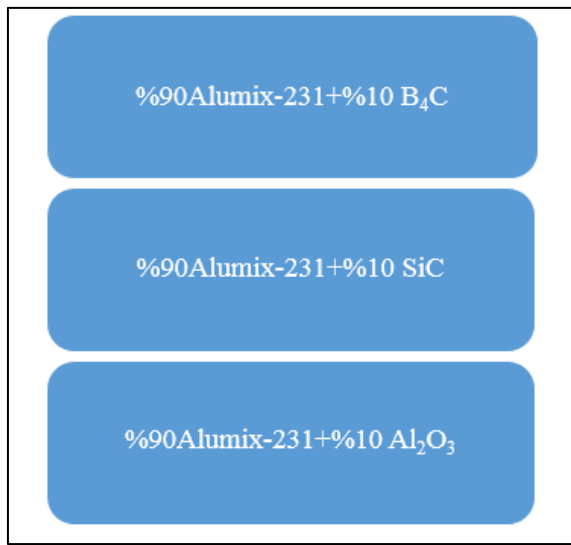
2.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi

2.2.1. Tozların karıştırılması

Kompozit malzemenin elde etmesi için ilk olarak ihtiyaç duyulan toz miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra her bir kompozit malzemeler için matris malzemesi olan Alumix-231 tozu içerisine ağırlıkça %10 Al₂O₃ , %10 SiC ve %10 B₄C seramik tozlar eklenerek 3 boyutlu karıştırıcıda 30 dakika boyunca homojen bir dağılım sağlayabilmek amacıyla Resim 3.1’de verilen Turbula marka 3 boyutlu cihazda karıştırma işlemi yapılmıştır. Resim 2.2’de üretilen kompozit malzemelerin hangi oranlarda karıştırılarak üretildiği gösterilmektedir.



Resim 2.1. Yüksek enerjili karıştırıcı



Resim 2.2. Üretilen Kompozit Malzemeler

2.2.2. Karışım tozların preslenmesi

60×60 mm ölçülerine sahip kalıbın içerisine yerleştirilen toz karışımı Resim 2.3’de verilen 150 ton basma kapasitesi olan hidrolik pres yardımıyla 400 MPa basınçta soğuk presleme yapılarak ham yoğunluğu sahip bloklar üretilmiştir.



Resim 2.3. Hidrolik pres

2.2.3. Sinterleme

Ham yoğunluğa sahip blok numuneler Resim 2.4’de verilen PROTHERM marka MUFLE tipi fırına yerleştirilerek 550°C sıcaklıkta 3 saat boyunca sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemeler fırından çıktıktan sonra çeşitli analizler için lazer kesim ile kesilmiştir.



Resim 2.4. Sinterleme fırını

2.3. Kompozit Numunelerin Yoğunluk Ölçümleri

Üretimi gerçekleştirilen 3 farklı kompozit malzemenin yoğunlukları Resim 2.5’de gösterilen Sartorius marka 0.1mg hassasiyetteki terazi kullanılarak Arşimet prensibine göre hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan formüller Eşitlik 2.1’ de verilmiştir.



Resim 2.5. Sartorius marka yoğunluk ölçme cihazı

$$d = \frac{m}{V_y - V_s} \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1.’ e göre;

d : Yoğunluk (g/cm³)

m : Ağırlık (g)

V_y : Yaş ağırlık (g)

V_s : Su içerisindeki ağırlık (g), değerlerini ifade etmektedir.

2.4. Metalografik İncelemeler

Soğuk presleme metodu ile üretilen kompozit malzemelerin Alumix-231 içindeki Al₂O₃, SiC ve B₄C dağılımı, matris/partikül ara yüzey durumunu incelemek için metalografik işlemler gerçekleştirilmiştir. Metalografik işlemler için numunelerin hazırlanmasında Resim 2.6 ve 2.7 de verilen cihazlardan faydalanılmıştır.



Resim 2.6. ATM SAPHIR 330: Manyetik Çift diskli zımpara-parlatma cihazı



Resim 2.7. Zımparalama Cihazı

2.5. Numunelerin Mikro Yapı İncelemeleri ve Analizleri

Metalografik işlemler sonrasında Alumix-231 metal matrisli $\text{SiC/B}_4\text{C/Al}_2\text{O}_3$ seramik parçacık takviyeli kompozit malzemeler Resim 2.8’de verilen LEIKA DM 4000M Metal Mikroskobu kullanılarak farklı büyütme oranlarında mikro yapısal olarak incelenmiştir.



Resim 2.8. LEIKA DM 4000M Metal Mikroskobu

SEM incelemelerinde numunelerin radyasyon zırlaması sonrası numune yüzeylerinden görüntüler alınarak toz metal numunelerin şekil ve morfolojileri incelenmiştir. Alumix-231 matrisi ile ağırlıkça %10 yüzdelere sahip SiC/B₄C/Al₂O₃ seramik takviye malzemelerin presleme, sinterleme ve radyasyon zırlaması sonucunda oluşabilecek oksitlenme, yapı farklılıkları gibi bölgesel değişimlerini tespit edebilmek için SEM-EDS yardımıyla tespit edilmeye çalışılmıştır. Resim 2.9’da verilen JEOL JEM 6060 LV Tarama Elektron Mikroskobu (EDS ünitesi mevcut) ile x250, x500 ve x1000 büyütme oranları ile analizler gerçekleştirilmiştir.



Resim 2.9. JEOL JEM 6060 LV Tarama Elektron Mikroskobu (EDS ünitesi mevcut)

2.6. Teorik Çalışmalar

Üretimi gerçekleştiren kompozit blokların ve Alumix-231 blokların deneysel olarak radyasyon zırhlama özelliklerinin analizini gerçekleştirmeden önce ön bilgi edinebilmek için Phy-X/ PSD programı ile malzemenin gama radyasyonu karşındaki zırhlama özellikleri analiz edilmiştir. Phy-X/PSD monte sunucusu üzerinde çalışan online bir programdır. Uygulamanın programlama dili NGINX 1.15.8 ile hizmet veren NodeJS v8.4.0'dır. Güvenliği sağlamak için istemci ve sunucu arasında güvenli bir 256 Bit Pozitif SSL şifrelemesi kullanılır [68-69]. Kullanıcıların PSD yazılımını çalıştırabilmek için <https://phy-x.net/PSD> adresine erişmesi gerekir. 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 grafikleri çizilmiştir. Yapılan analiz sırasında malzemenin teorik yoğunluğu dikkate alınmıştır.

2.7. Deneysel Çalışmalar

2.7.1. Radyasyon Geçirgenlik Testleri

Çalışmada gama radyasyon kaynağı olarak tıp ve endüstri alanında yaygın olarak kullanılan, orta enerjilere sahip Co-60 (1173 keV ve 1332 keV) ve Cs-137 (662 keV) radyoizotopları kullanılmıştır. Detektör olarak GM-Counter/ Geiger-Müller Zahler PHYWE ve gama kaynağı olarak Cs-137 kullanılmıştır. Cs-137, 1 μ ci'lik aktiviteye sahiptir ve 0.662 MeV'lik gama radyasyonu yayar. Aynı şekilde, Co-60 1 μ ci'lik aktiviteye ve 1.332 MeV'lik gama radyasyonu yaymaktadır. Detektör olarak, HPGe dedektörü (ORTEC/GEM50P4-83) analog dijital dönüştürücü ile kullanılmıştır. Kullanılan gama kaynaklarında sayım süreleri 5 dakika alınmıştır. Kompozit malzeme ölçümleri için detektör-kaynak arası mesafe 7 cm olarak sabit tutularak ölçümler alınmıştır.

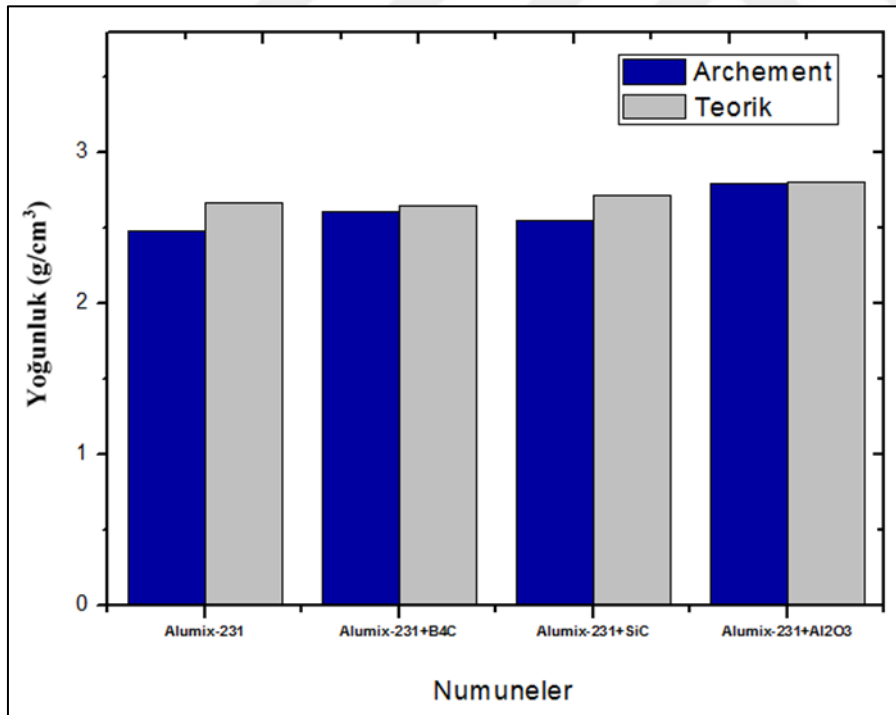


3. DENEYSEL SONUÇLAR

Alumix-231matrisli SiC/B₄C/Al₂O₃parçacık takviyeli kompozit numuneler ve takviye malzemesiz Alumix-231 numunelerin teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen yoğunluk, optik görüntüler, SEM, EDS ve radyasyon sonuçları incelenmiştir.

3.1. Yoğunluk Sonuçları

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen malzemelerin özellikleri yapılan işlem koşullarına ve kullanılan tozlara bağlı birbirinden farklı sonuçlar elde etmek mümkündür. Toz metalürjisinin de, sinterleme işleminde, üretilen malzemelerin gözeneklilik oranı değiştiğinden dolayı malzemenin yoğunluk değeri de değişmektedir. Şekil 3.1’de üretimi gerçekleştirilen numunelerin teorik ve sinterleme sonrası yoğunluk değerlerinin hesaplanması sonucunda elde edilen değerler grafikte verilmiştir.



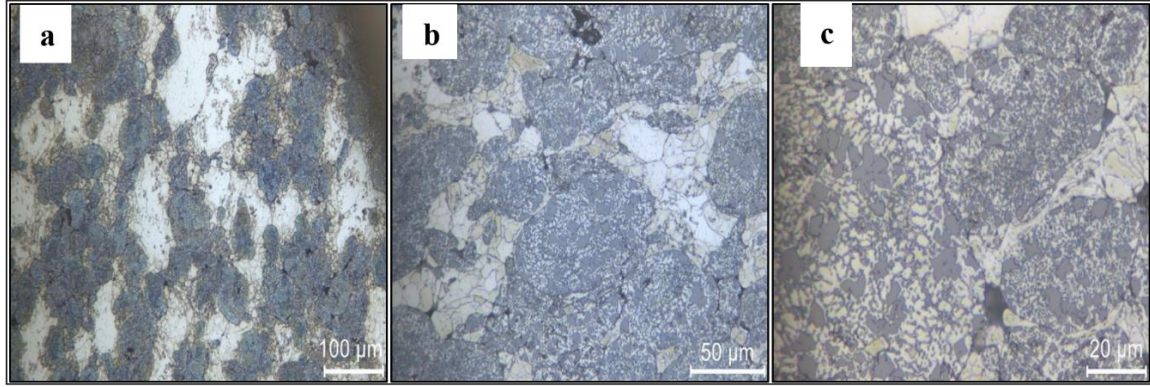
Şekil 3.1. Alumix-231/ SiC/B₄C/Al₂O₃ numunelerin yoğunluk sonuçları

Üretilen tüm numuneler ağırlıkça aynı oranda (%10) parçacık takviyesi içermektedir. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, numunelerin yoğunluğu takviye elemanı kullanıldıktan sonra azalma sergilemiştir. Alumix 231 matrisli parçacık takviyeli kompozit malzemelerde

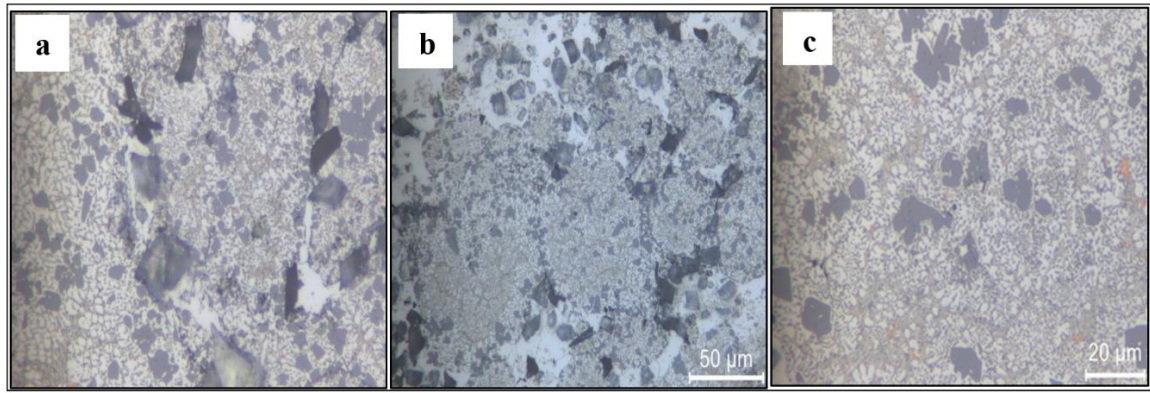
matris/parçacık ara yüzeyinde karşılaşılan boşlukların yoğunlukta kısmi azalmalara neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca aynı oranda takviye elemanı içeren numunelerde farklı yoğunluk değerlerinin tespit edilmesinin sebebinin kullanılan parçacık boyutundaki değişimden kaynaklandığı bilinmektedir [55]. Metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerini yükseltmek için seramik takviye elemanları kullanıldığı bilinmektedir. SiC ve B₄C takviye elemanı kullanılarak numunelerin fiziksel özellikleri incelenmiştir [70]. Aynı zamanda Al₂O₃ takviye elemanının miktarı yükselttiğinde numunenin yoğunluğunun arttığı da gösterilmiştir [71].

3.2. Numunelerin Optik Mikroskop Sonuçları

Üretilen SiC/B₄C/Al₂O₃ seramik parçacık takviyeli kompozit numunelerin mikro yapısal özelliklerini incelemek amacıyla metalografi işlemleri yapılmış. Akabinde optik mikroskop ve SEM yardımıyla partiküllerin dağılım şekli, düzeni ve gözeneklilikler incelenmiştir. Partiküllerin dağılımı ne kadar düzenli olursa malzeme o kadar iyi bir özellik sergilemektedir. Bu tez çalışmasının kapsamında üretilen kompozit numuneler farklı büyütme oranlarında (x200/ 500/ 1000) büyütülerek optik görüntüleri alınmıştır. Şekil 3.2 – 3.5’de takviye malzemesiz Alumix-231 ve Alumix-231 matrisi içerisine SiC/B₄C/Al₂O₃ seramikleri ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.2a-b-c ‘de takviye malzemesiz Alumix-231 numunesi görülmektedir. Ana element olan Al içerisinde Si, Cu ve Mg parçacıklarının tamamen homojen olarak dağıldığı ve bu homojen dağılımın, numunenin fiziksel özelliklerini etkilediği düşünülmektedir. Partiküllerin dağılımının yanın da partikül boyutları da numunenin fiziksel özelliklerini belirtmesinde büyük bir etkisi vardır [72]. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi numune de partiküller arasındaki gözenek az olduğu için numune iyi bir yapıya sahiptir. Toz metal malzemelerde bir malzemedeki gözeneklilik miktarı ne kadar az olursa, malzemenin o kadar iyi bir yapıya sahip olduğu düşünülmektedir. Gözeneklilik miktarı aynı zaman da malzemenin korozyon dayanımını da etkilemektedir. Gözenek miktarı azaldıkça malzemenin korozyon dayanımı da artmaktadır [73]. Üretilen takviye malzemesiz Alumix-231 numunesinde gözenek miktarı azdır, bu yüzden korozyon dayanımını da yüksek olması beklenmektedir. Gözenek boyutu ve miktarı ne kadar büyük olursa korozyonun meydana gelmesi de o kadar hızlı olmaktadır [74].

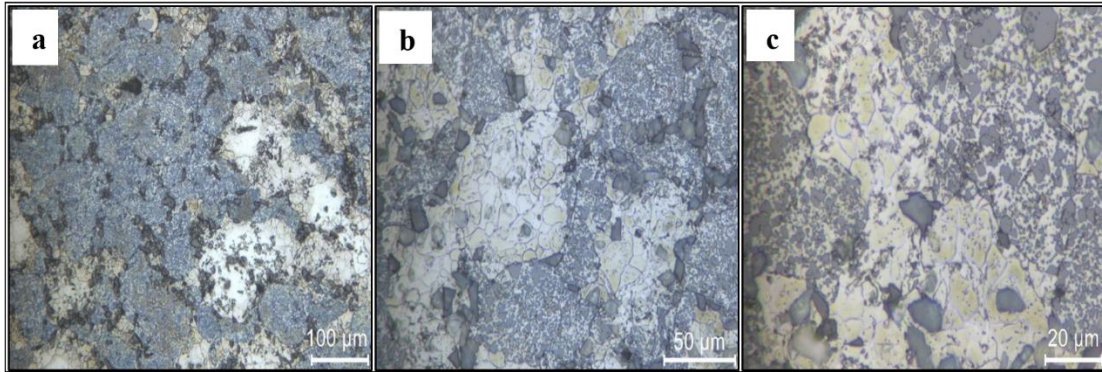


Şekil 3.2. Alumix-231 optik mikroskop görüntüleri; a)x200 b)x500 c)x1000



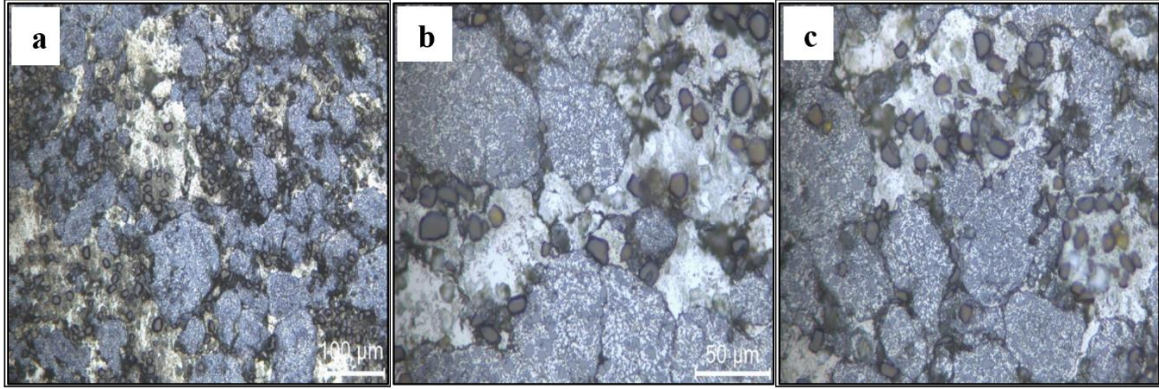
Şekil 3.3. Alumix-231+%10 Al₂O₃ optik mikroskop görüntüleri; a)x200 b)x500 c)x1000

Şekil 3.3a-b-c’de Alumix-231 matris içerisine takviye edilmiş %10 Al₂O₃ içeren kompozit malzemenin mikroyapı görüntüleri sergilenmiştir. %10 Al₂O₃ içeren kompozit numunelerde topaklanmanın diğer kompozit numunelere nispetle daha az olduğu söylenebilir. Matris yapı içerisinde Al₂O₃ parçacıklar homojen dağılım sergilemişlerdir.



Şekil 3.4. Alumix-231+%10 SiC optik mikroskop görüntüleri; a)x200 b)x500 c)x1000

Şekil 3.4’de (a-b-c) Alumix-231 matris içerisine takviye edilmiş %10 SiC kompozit malzemenin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.4’de SiC parçacıklarının nispeten homojen dağıldığı ancak gözeneklerin var olduğu görülmektedir.



Şekil 3.5. Alumix-231+%10 B₄C optik mikroskop görüntüleri; a) x200 b) x500 c) x1000

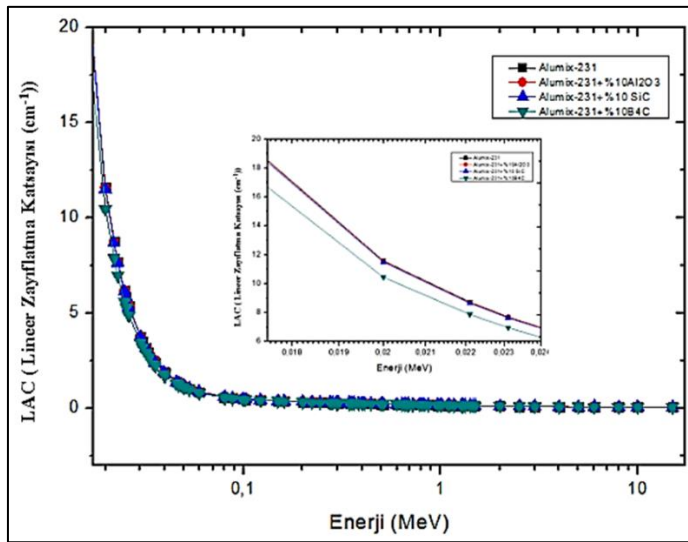
Şekil 3.5’de (a-b-c) Alumix-231 matris içerisine %10B₄C takviye edilerek üretilmiş kompozit malzemenin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekilde gösterilen koyu partiküller B₄C seramiğidir. B₄C seramiği Alumix-231 matrisi içerisine kısmen homojen dağılmıştır. B₄C Parçacıkların tane içerisinde ve tane sınırlarına yakın bölgelerde kısmen kümenlendiği söylenebilir. B₄C parçacığı ile matris arayüzeyi arasında bölgesel boşluklar gözlenmiştir.

Mukayese için Alumix-231 matris yüzeyinden aynı büyütme oranında alınan görüntüler tercih edilmiştir. Parçacık ve matris malzeme arayüzeyi ilişkisini gösteren yüksek büyütmede alınan mikroyapı görüntüleri c seçeneğinde sergilenmiştir. Şekil 3.3-3.5’de verilen optik mikroskop görüntülerine göre Alumix-231 matris içerisinde bulunan parçacıkların homojen olarak dağıldığı söylenebilir. Matris yapı üzerinde bulunan gözeneklerin ise birbirinden bağımsız olduğu gözlenmiştir. Numunelerde kısmen topaklanma olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.17-3.19’da verilen SEM görüntüleri Alumix-231 matris ve parçacıklar arasında tespit edilen kısmi topaklanmaları destekler niteliktedir.

3.3. Radyasyon Teorik Hesaplama Sonuçları

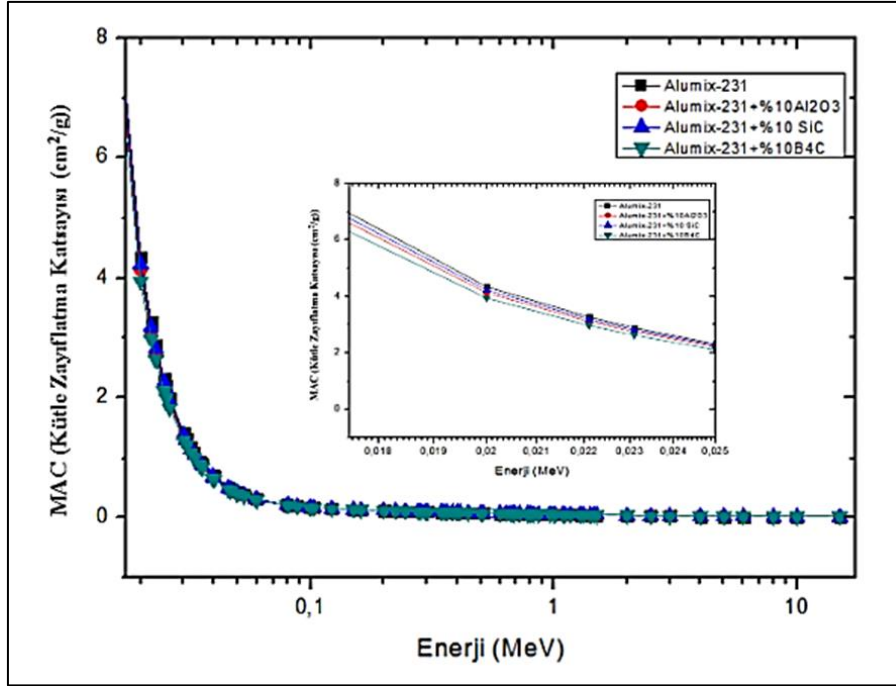
Teorik hesaplama sırasında kompozit malzemelerin teorik yoğunluk değerleri kullanılmıştır. Şekil 3.6 ve 3.7’de malzemenin sırasıyla LAC ve MAC grafikleri verilmiştir. Şekil 3.6’daki

grafikte takviye malzemesiz Alumix-231 içerisinde farklı seramik malzemelerin eklenmesi ile elde edilen numuneler içerisinde en düşük LAC değerine sahip numune Alumix-231+%10 B₄C kompozit malzemesi oldukça belirgin olarak diğer numunelerden ayrılmaktadır. Diğer üç numunenin sahip olduğu LAC değerleri birbirine oldukça yakın olmasına rağmen bir sıralama yapılması gereken durumda %10 SiC+Alumix-231 < %10 Al₂O₃+Alumix-231 < Alumix-231 şeklinde kıyaslayabiliriz. Numunelerin LAC değerleri enerjinin artması ile azalmaktadır.



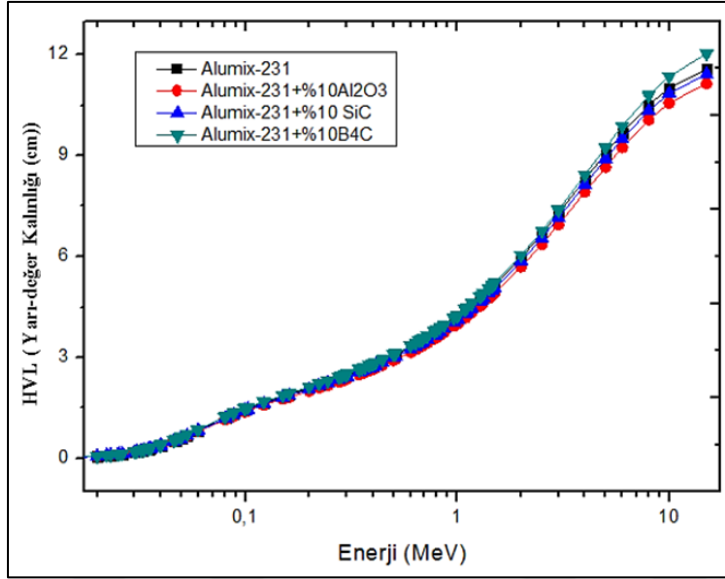
Şekil 3.6. LAC grafiği

Aşağıdaki verilmiş olan Şekil 3.7'de numunelerin sahip oldukları LAC değerlerinin, numunelerin yoğunluklarına bölünmesi ile elde edilen MAC değerlerini gösterilen grafikleri verilmiştir. Numunelerin MAC değerleri Alumix-231+%10B₄C < Alumix-231+%10Al₂O₃ < Alumix-231+%10SiC < Alumix-231 şeklindedir. Numuneler içerisinde en düşük MAC değerine sahip numune Alumix-231+%10 B₄C iken, en yüksek değere sahip numune ise Alumix-231 malzemesi olmuştur. MAC değerlerinin LAC değerlerini oldukça yakın bir benzerliğin olma sebebi malzemelerin teorik yoğunluklarının oldukça yakın olmasıdır. Dört kompozit malzeme içerisinde en iyi zırhlama özelliğini veren malzemeyi seçebilmek için HVL, TVL değerlerini incelemek gerekir.

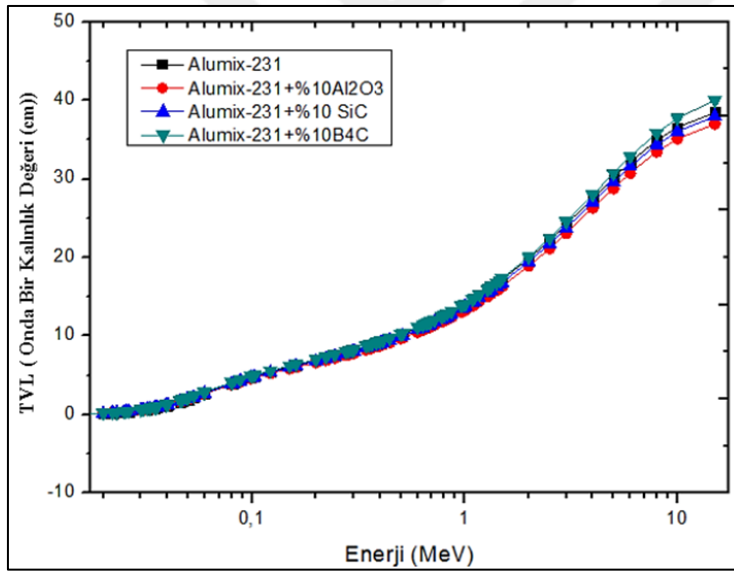


Şekil 3.7. MAC grafiği

Şekil 3.8’de ve 3.9’da sırasıyla, verilen HVL ve TVL grafikleri malzemenin gelen radyasyon şiddetinin yarı değerine ve gelen radyasyon şiddetinin onda bir değerine düşmesi için gerekli olan malzeme kalınlık değerlerini göstermektedir. Malzemelerin radyasyon zırhlaması için gerekli olan malzeme kalınlık değerleri, enerji artışına bağlı olarak sürekli bir artış göstermiştir. Özellikle çift oluşum olasılığının olduğu yüksek enerji bölgelerinde gerekli malzeme kalınlıklarında oldukça yüksek değerler almıştır. HVL ve TVL grafiklerinde de açıkça görüldüğü gibi malzeme zırhlaması için gerekli malzeme kalınlığı en fazla Alumix-231+%10 B₄C kompozit numunesi için gereklidir. Alumix-231+%10 B₄C kompozit numunesinde HVL değeri maksimum yaklaşık 12 cm iken, TVL değeri maksimum 40 cm olarak hesaplanmıştır. Alumix-231+%10Al₂O₃ HVL ve TVL değerleri en düşük değere sahip olduğu için en iyi zırhlama özelliği gösteren malzemedir. Bu numunenin HVL ve TVL maksimum değerleri, 11.138 cm ve 37 cm’dir.



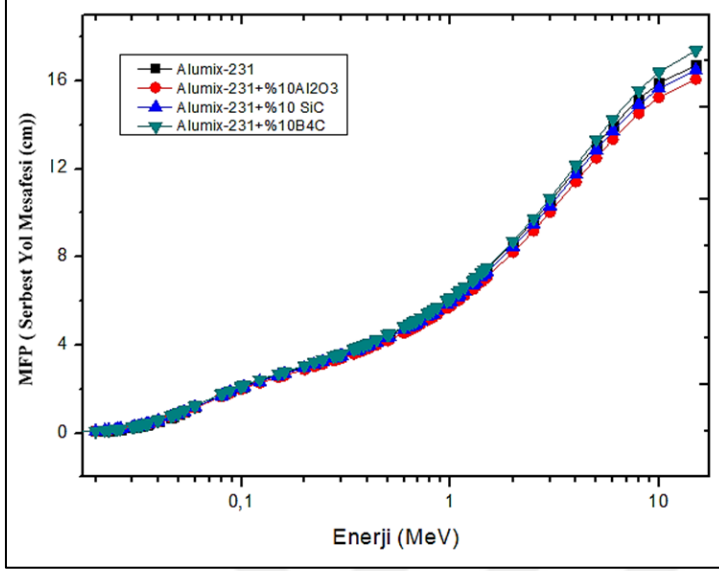
Şekil 3.8. HVL grafiği



Şekil 3.9. TVL değeri

Radyasyon hesaplamaları için oldukça önemli olan diğer bir parametre olan MFP grafiği ise Şekil 3.10'da verilmiştir. MFP grafiği, HVL ve TVL grafikleri ile paralellik göstermektedir. Enerji değeri artmasıyla MFP değeri artmaktadır. Malzemenin radyasyona maruz kaldığı düşük enerji bölgesi olan fotoelektrik olayın meydana geldiği enerji bölgelerinde art art da iki foton çarpışmasının olması için gerekli mesafe daha düşük iken compton saçılmasının ve çift oluşumun meydana geldiği yüksek enerjilerde gerekli mesafe miktarı artmıştır. Alumix-231+%10 B₄C kompozit numunesinde MFP değeri maksimum 17.363 cm iken, Alumix-231+%10Al₂O₃ MFP değeri maksimum 16.069 cm olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre

MFP değeri, Alumix-231+%10Al₂O₃ malzemesi en düşük değere sahip olduğu için en iyi zırhlama özelliği gösteren malzeme olduğu gösterilmiştir.

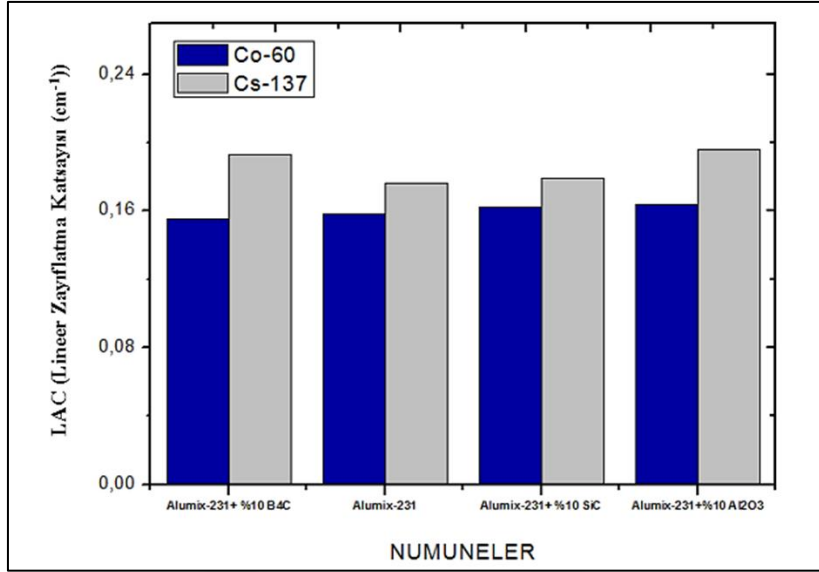


Şekil 3.10. Serbest Yol Mesafesi

3.4. Deneysel Radyasyon Sonuçları

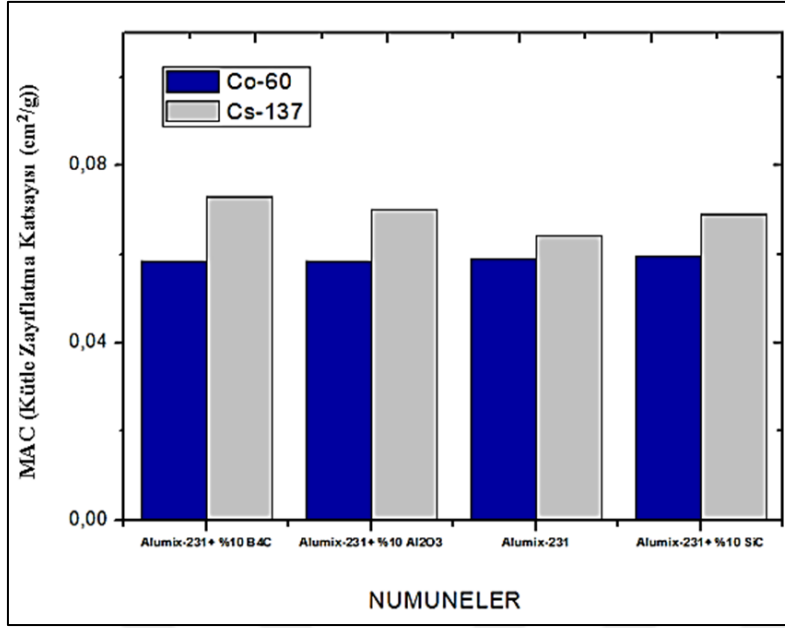
Aşağıda verilen grafiklerde Co-60 ve Cs-137 gama radyasyon kaynaklarında yapılan radyasyon geçirgenlik testleri sonucunda elde edilen veriler Eşitlik 1.6, 1.8, 1.10, 1.12 ve 1.13 kullanılarak MAC, LAC, HVL, TVL ve MFP grafikleri Şekil 3.11, 3.12, 3.13 ve 3.14’de çizilmiştir.

Şekil 3.11-12’de numunelerin Co-60 ve Cs-137 gama radyasyonu karşındaki LAC ve MAC grafikleri sırası ile verilmiştir. Şekil 3.12 incelendiğinde numunelerin Cs-137 karşısında daha iyi bir zırhlama performansı gösterdiği görülmektedir. Bunu sebebi ise Cs-137 gama radyasyonun Co-60’da daha düşük bir enerjiye sahip olmasıdır. Co-60 ve CS-137 kaynaklarında en yüksek LAC değerine Alumix-231+%10 Al₂O₃ malzemesi sahip iken en düşük LAC değerine ise Alumix-231+ %10 B₄C sahiptir.



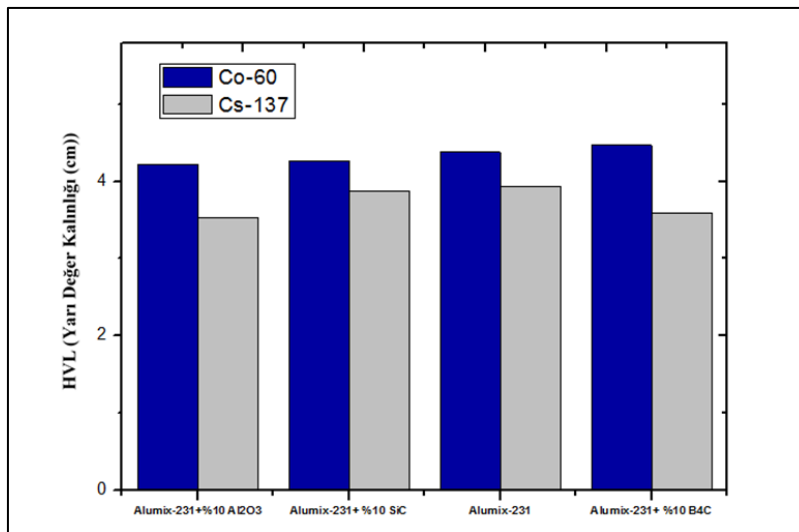
Şekil 3.11. Co-60 ve Cs-137 için LAC grafiği

Şekil 3.12'deki MAC grafiği, numunelerin LAC değerinin numunenin yoğunluk değerlerine bölünmesi ile elde edildiğinden dolayı malzemenin LAC değerlerine oranla MAC değerleri daha düşük çıkmıştır. Şekil 3.12'de verilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen MAC değerlerin, teorik hesaplamalar ile elde edilen değerlerden farklı çıkmasının sebebi ise üretimi sırasında kullanılan malzemelerin teorik yoğunlukları birbirine oldukça yakın iken üretimi esnasında üretim aşamalarında meydana gelen işlemlerden dolayı malzemelerin sahip olduğu yoğunluk değerleri değişmiştir. Bu da numunelerin teorik sonuçları ile deneysel sonuçlarında çok büyük farklar oluşturmada da sonuçların değişmesine neden olmuştur.

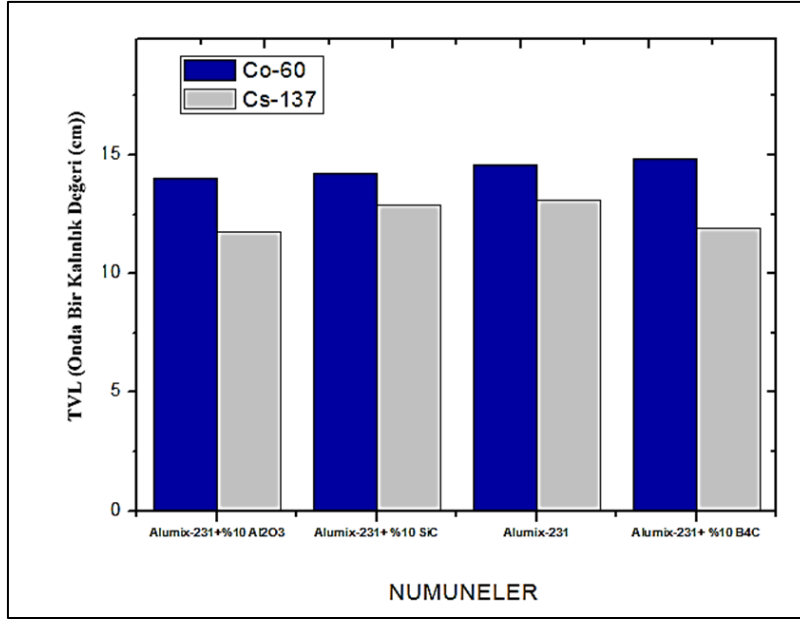


Şekil 3.12. Co-60 ve Cs-137 için MAC grafiği

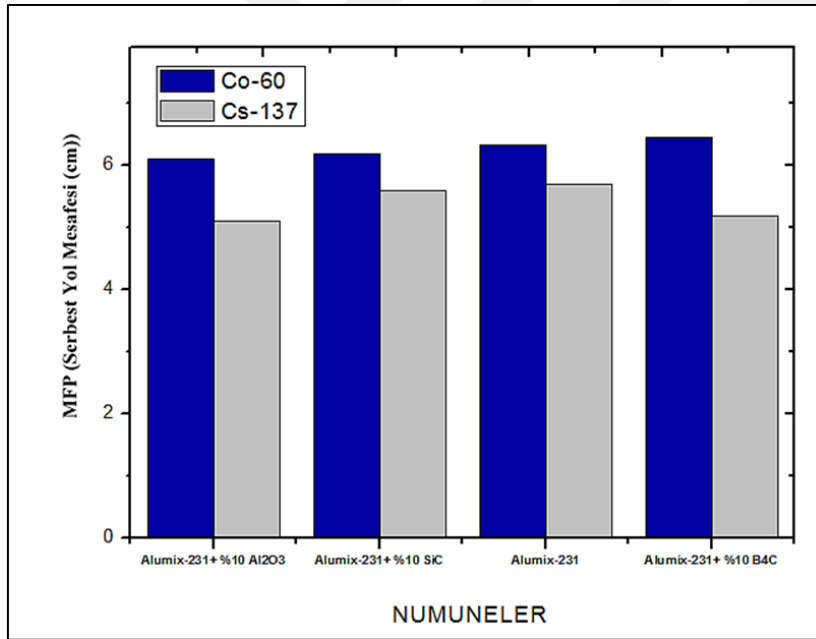
Şekil 3.13 ve 3.14’de numelerin HVL ve TVL değerleri verilmiştir. Şekil 3.13-14’de Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için HVL ve TVL değerleri en düşük malzeme için Alumix-231+%10 Al₂O₃ ve en yüksek değerlere ise Alumix-231+ %10 B₄C olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, incelenen malzemeler arasında Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için Alumix-231+%10 Al₂O₃ malzemesi en küçük HVL ve TVL değerlerine sahip olduğu için en iyi zırhlama malzemesi olduğu sonucu çıkmaktadır. Alumix-231+ %10 B₄C malzemesi ise en yüksek HVL ve TVL değerlerine sahip olduğu için en düşük zırhlama özelliğine sahip malzeme olduğu gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Co-60 ve Cs-137 için HVL grafiği



Şekil 3.14. Co-60 ve Cs-137 için TVL grafiği



Şekil 3.15. Co-60 ve Cs-137 için MFP grafiği

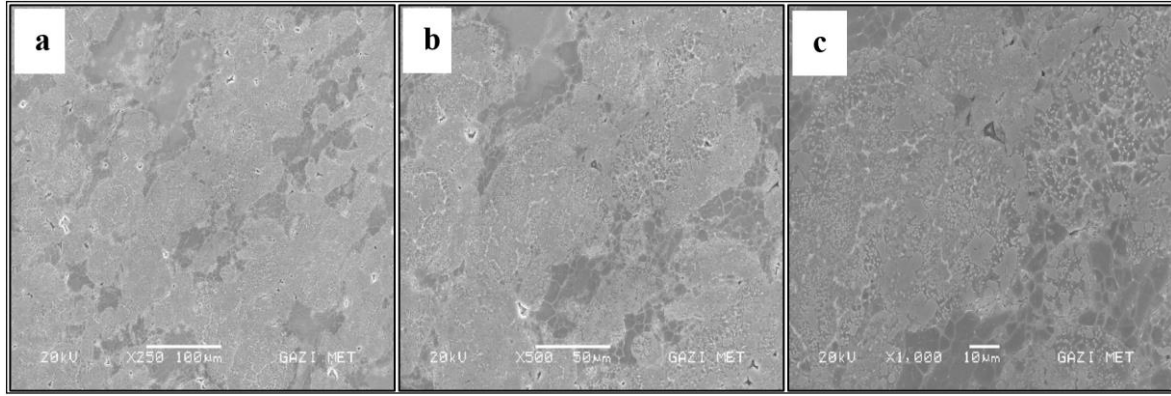
Aynı şekilde numunelerin MFP değerleri incelendiğinde, Alumix-231+%10 Al₂O₃ numunesi en küçük değere, Alumix-231+%10 B₄C numunesi en yüksek değere sahip olduğu Şekil 3.15 görülmektedir.

Teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında sonuçların uyumlu olduğu, yine de küçük bir miktar farklılıkların olduğu görülmektedir. Bu farklılıkların oluşmasının sebepleri arasında toz malzemelerin tane boyutları, malzeme blokların üretimi sırasında meydana

gelen süreksizlikler, gözenekliliğin var olması düşünülmektedir. Teorik ve deneysel çalışmalar incelendiğinde, Alumix-231+%10 Al_2O_3 malzemesi gama zırlamasında kullanılacak en iyi malzeme olduğu sonucu çıkarılmıştır.

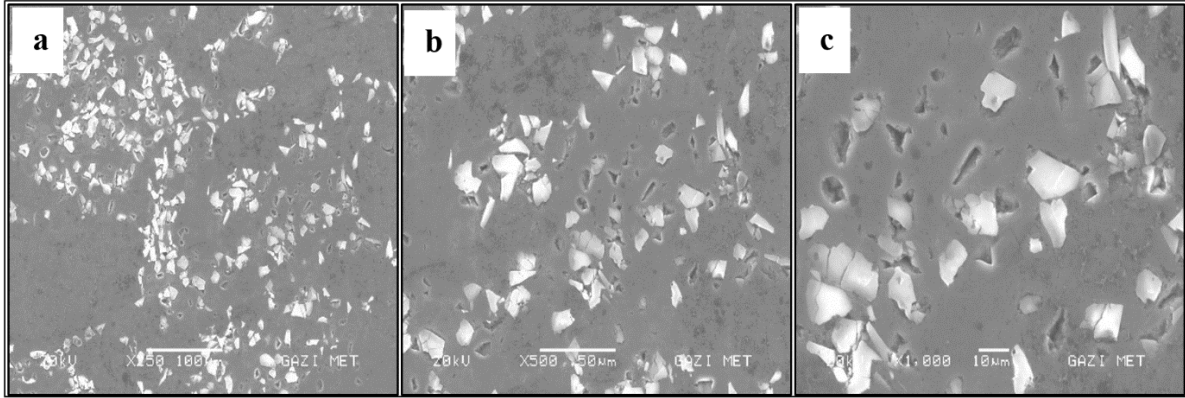
3.5. SEM Sonuçları

Şekil 3.16-3.19’de Alumix-231 matris içerisinde SiC/B₄C/ Al_2O_3 parçacıkların dağılımını gösteren SEM resimleri verilmiştir. SEM görüntüleri farklı büyütme oranlarında (x250, x500, x1000) numunelerin işlem görmüş yüzeylerinden alınmıştır. Şekil 3.16’da seramik parçacık takviyesi içermeyen ön alaşımlı Alumix-231 numunenin farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüsü görülmektedir. Alumix-231 içerisinde Si-Cu-Mg gibi farklı alaşım elementlerinin var olduğu bilinmektedir. Bu duruma paralel olarak bölgesel görüntü farklarının oluştuğu düşünülmektedir.



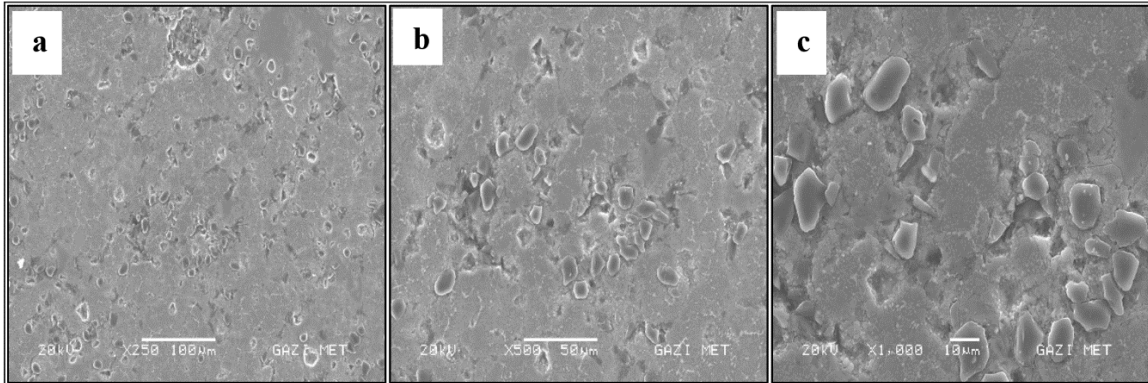
Şekil 3.16. Alumix-231’in SEM görüntüsü; a) x250 b) x500 c) x1000

Şekil 3.17’de Alumix-231+%10 Al_2O_3 kompozit numunesine ait SEM görüntüsü verilmiştir. Numune içerisinde Al_2O_3 partikülleri daha açık ve parlak renktedir. Al_2O_3 partikülleri, Alumix-231 matris içerisinde homojen bir şekilde dağılım göstermiştir. Bölgesel topaklanmaların olduğunda gözlenmiştir.



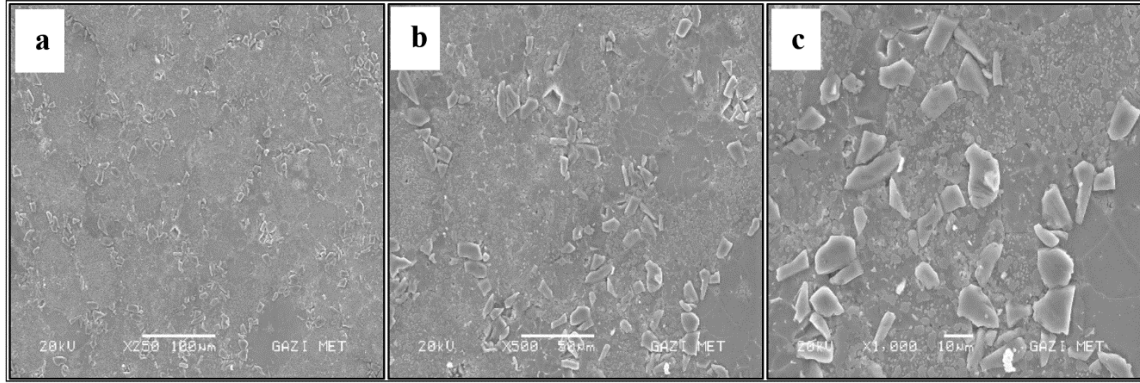
Şekil 3.17. Alumix-231+%10 Al_2O_3 'in SEM görüntüsü; a) x250 b) x500 c) x1000

Şekil 3.18'de görüldüğü gibi B_4C partikülleri Alumix-231 matrisin yüzeyinde kısmen homojen bir dağılım sergilemiştir. Alumix-231 matris ile B_4C parçacıkları arasında oluşan ara yüzeyde kısmen boşluklar gözlenmiştir.



Şekil 3.18. Alumix-231+%10 B_4C 'ünSEM görüntüsü; a) x250 b) x500 c) x1000

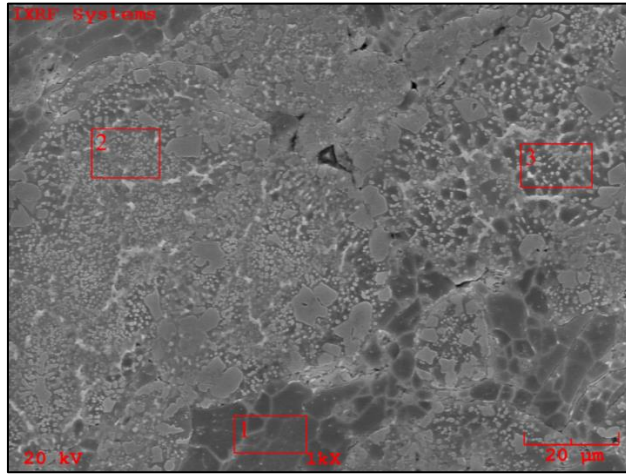
Şekil 3.19'da SiC parçacık takviyeli kompozit numunelere ait SEM görüntüleri sergilenmiştir. SiC partiküllerinin Alumix-231 matrisi içinde kısmen homojen bir şekilde dağılmıştır. Bölgesel parçacık topaklanmaların diğer kompozit numunelere nispetle daha fazla olduğu gözlenmiştir.



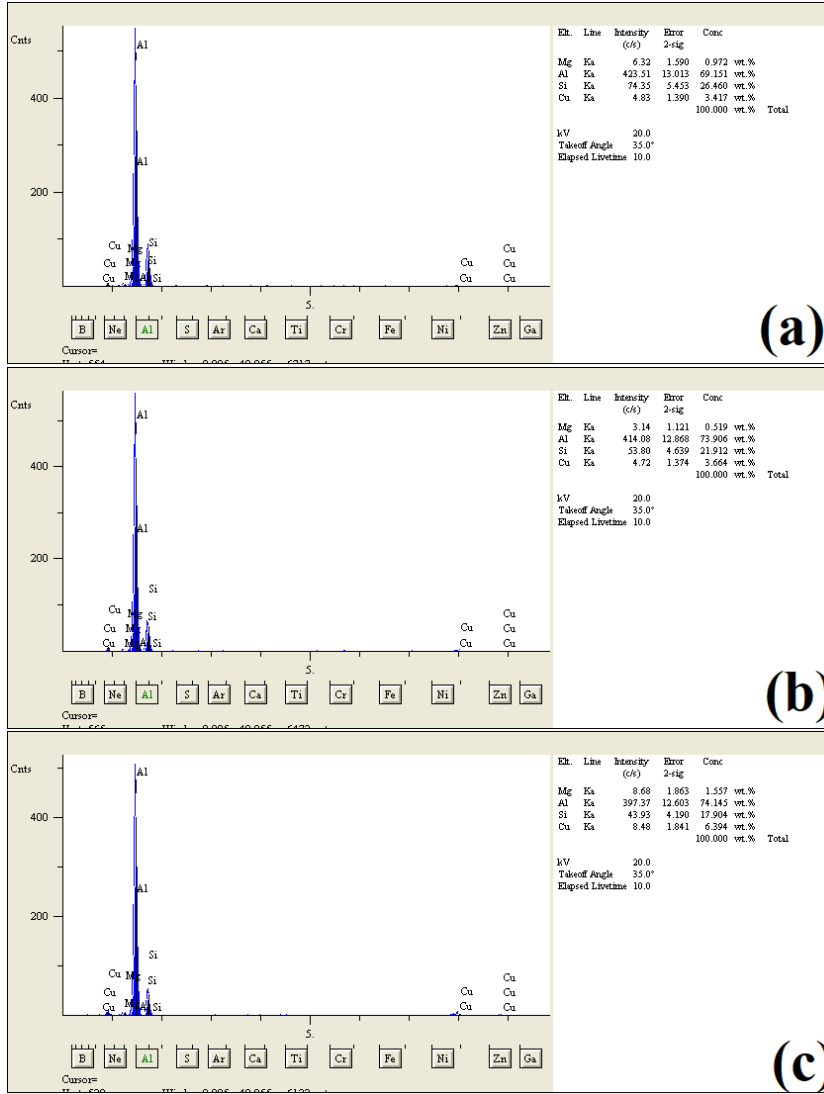
Şekil 3.19. Alumix-231+%10 SiC 'ünSEM görüntüsü; a) x250 b) x500 c) x1000

3.6. EDS Analiz Sonuçları

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen ön alaşımlı Alumix-231 matrisli SiC/B₄C/Al₂O₃ parçacık takviyeli numunelerin EDS analiz yapılmıştır. Sinterleme işlemi sonrası numunelerin elementel durumları ve seramik parçacıkların varlığını incelenmiştir. Şekil 4.20'de ön alaşımlı takviye elemanı içermeyen Alumix-231'in SEM görüntüsü verilirken Şekil 3.21a-b-c ise Şekil 3.20'deki SEM'e dayalı EDS sonucu verilmiştir.



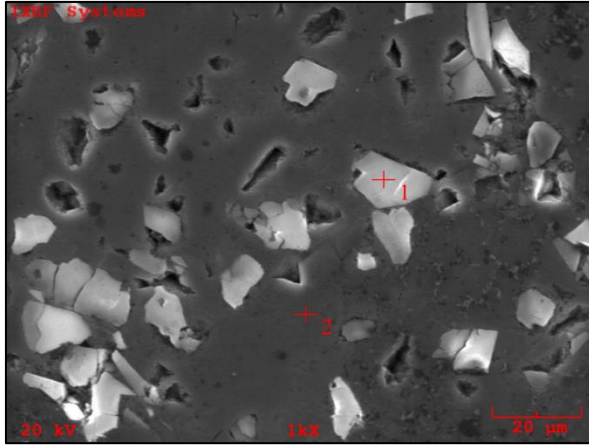
Şekil 3.20. Alumix-231'in SEM görüntüsü



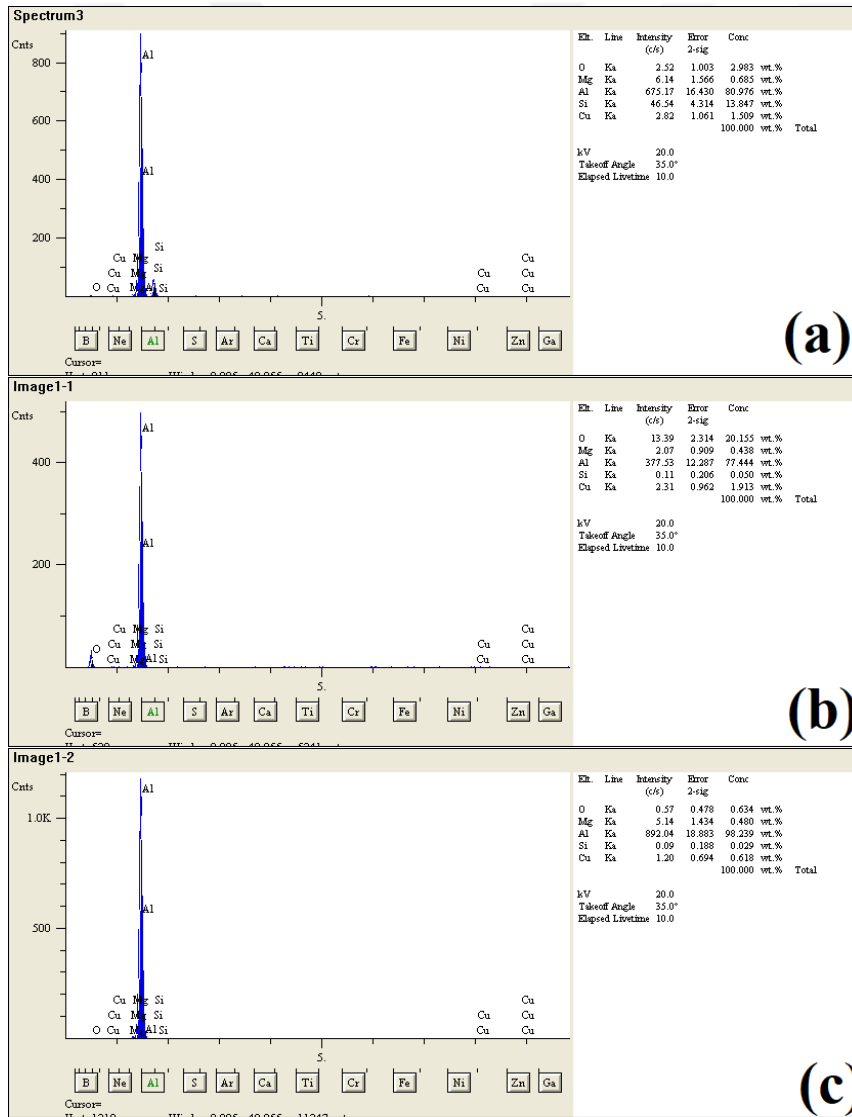
Şekil 3.21. Alumix-231'in EDS görüntüsü; a) 1 noktası b) 2 noktası c) 3 noktası

Şekil 3.21'de verilen EDS analizleri incelendiğinde, numunenin her bölgesinde beklendiği gibi ana element olarak yüksek oranda Al görülmektedir. Yapı içerisinde bulunan alaşım elementlerinin oranları yaklaşık olarak %15 oranı ile ikinci element Si, % 2.5 Cu ve % 0.5 Mg şeklinde değişmektedir. Elde edilen değerler ön alaşımlı olarak temin edilen Alumix-231 alaşımının değerleri ile benzerlik sergilemektedir.

Şekil 4.22'de Alumix-231 + Al₂O₃'ün SEM görüntüsü verilirken Şekil 3.23a-b-c ise Şekil 3.22'deki SEM'e dayalı EDS sonuçları verilmiştir. Şekil 3.22'de görülen Alumix-231 + %10 Al₂O₃'ün farklı bölgelerinde parçacıklar üzerinden noktasal EDS analizleri yapılmıştır. Belirtilmiş bölgelerin EDS sonuçları incelendiğinde O elementin var olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tespit edilen parçacıkların Al₂O₃ olduğunu destekler niteliktedir.

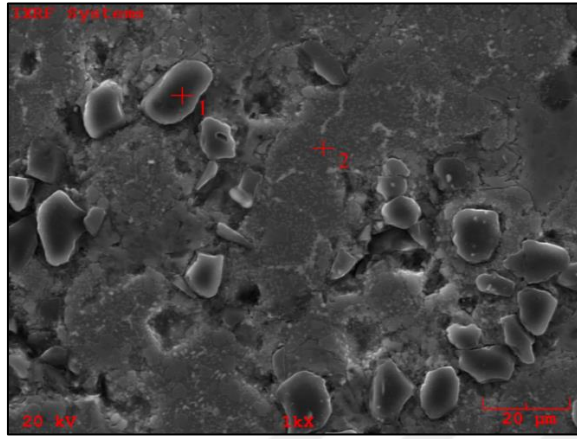


Şekil 3.22. Alumix-231+ % 10 Al_2O_3 'in SEM görüntüsü

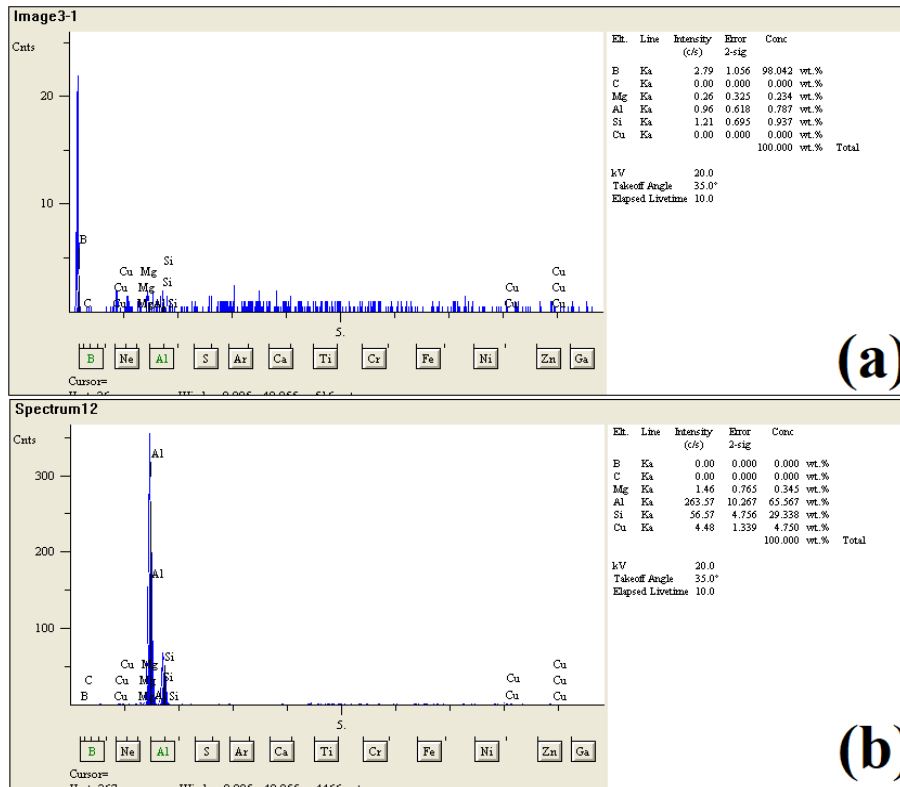


Şekil 3.23. Alumix-231+ % 10 Al_2O_3 EDS görüntüsü; a) 1 noktası b) 2 noktası c) 3 noktası

Şekil 3.24’de Alumix-231 matrisli B₄C takviyeli numuneye ait EDS analizlerinin alındığı bölgeleri gösterir SEM görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.25’de ise SEM görüntüsü üzerinde gösterilen noktalara ait EDS analiz değerleri verilmiştir. Şekil 3.24’de verilen SEM görüntüsü üzerinden 1.noktadan alınan değerler yüksek oranda B elementinin varlığını sergilemiştir (Şekil 3.25 a). Elde edilen analiz değeri tespit edilen bu parçacığın ve benzer diğer parçacıkların B₄C olduğunu destekler niteliktedir.

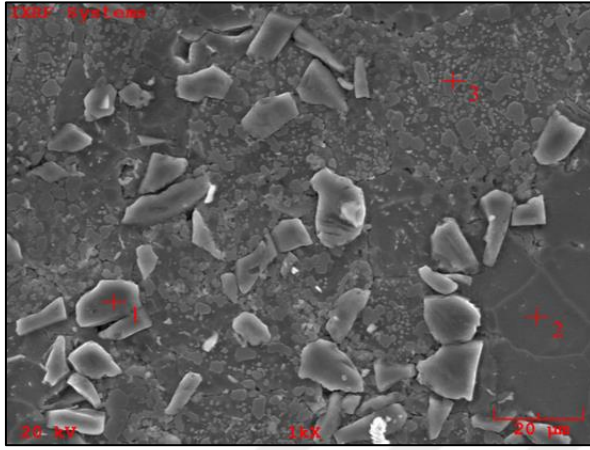


Şekil 3.24. Alumix-231+ % 10 B₄C’ün SEM görüntüsü

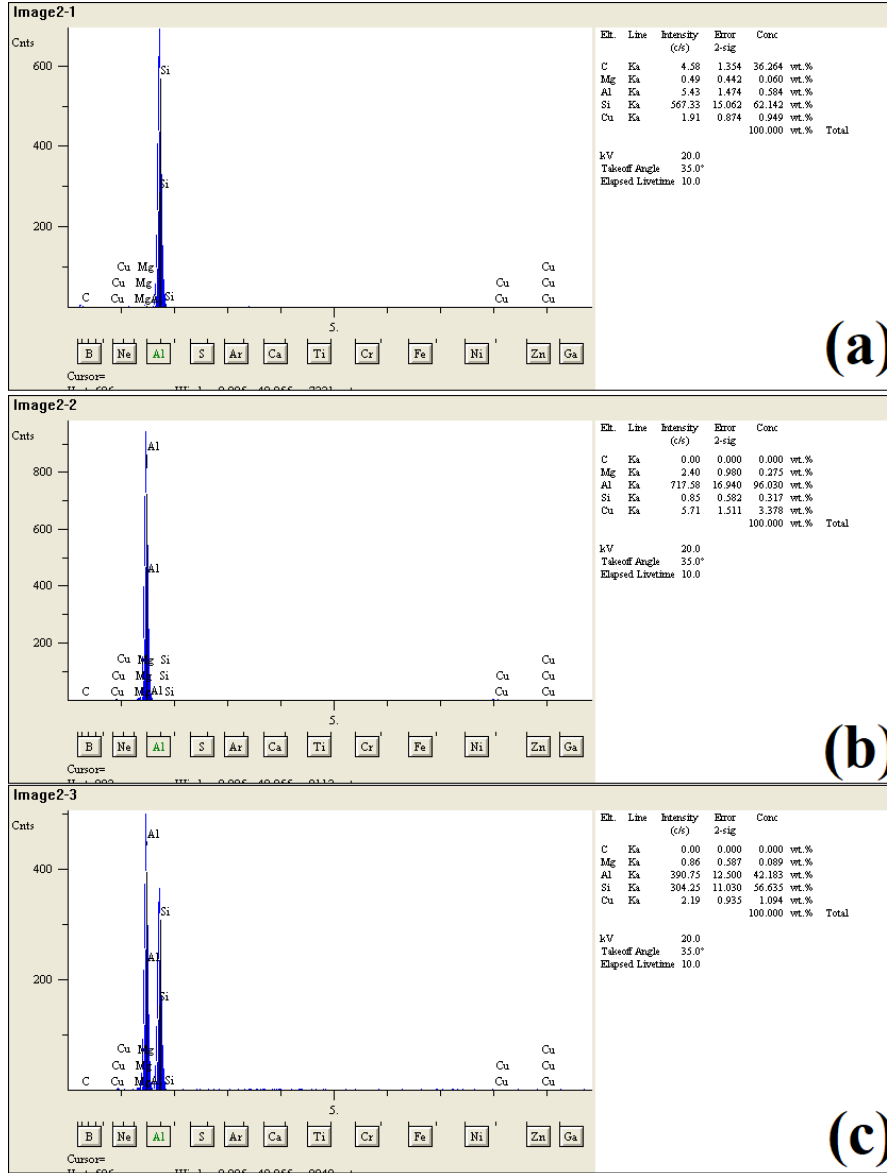


Şekil 3.25. Alumix-231+ % 10 B₄C’in EDS görüntüsü; a) 1 noktası b) 2 noktası

Şekil 3.26’da verilen Alumix-231 esaslı SiC takviyeli numunenin SEM görüntüsü üzerinden farklı bölgelerinden EDS analizi yapılmıştır. Elde edilen analiz değerleri Şekil 3.28’de verilmiştir. 1 numaralı bölgede şekilde görüldüğü gibi SiC partikülünün olması beklenmektedir. 1 numaralı bölgenin analizin de yüksek oranda C elementinin varlığı beklentileri destekler niteliktedir. 2 ve 3 numaralı bölgede ise ana element Al ve daha sonra sırası ile Si, Mg ve Cu görünmektedir (Şekil 3.27 b ve c).



Şekil 3.26. Alumix-231+ % 10 SiC’ün SEM görüntüsü



Şekil 3.27. Alumix-231+ % 10 SiC'in EDS görüntüsü; a) 1 noktası b) 2 noktası c) 3 noktası



4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, toz metalürjisi yöntemi kullanılarak takviye malzemesi içermeyen Alumix-231 ve Alumix-231 matris içerisine ağırlıkça %10 oranında Al_2O_3 -SiC ve B_4C seramik parçacıklar ayrı ayrı ilave edilerek kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin, mikro yapı özellikleri incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen numuneler içerisinde en fazla yoğunluğa sahip olan malzeme Alumix231 esaslı %10 Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozit numuneler olmuştur. Üretilen malzemelerin, SEM görüntüleri incelendiğinde SiC seramik fazının çoğunlukla sivri, keskin köşeli veya poligonal yapılar, B_4C ise oval morfolojisinde, Al_2O_3 seramik fazı ise parlak ve düzensiz şekil morfolojisinde bulunduğu tespit edilmiştir. Alumix-231 malzemesinin EDS analizi incelendiğinde ise Alumix-231 alaşımının içinde ana elementin Al olduğu ikinci olarak ise Si elementin olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu tez çalışmasında, malzemelerin gama radyasyonu karşısında davranışlarının incelenmesi ve irdelenmesine yönelik olarak teorik ve deneysel bir çalışma yapılması hedeflenmiştir. Malzemelerin gama radyasyonu karşısında duyarlılığının teorik açıdan tespitinde Phy-X/ PSD programı kullanılmıştır. Phy-X/ PSD monte sunucusu üzerinde çalışan çevrimiçi bir programdır. Uygulamanın programlama dili Nginx 1.15.8 ile hizmet veren NodeJS v8.4.0'dır. Güvenliği sağlamak için istemci ve sunucu arasında güvenli bir 256 Bit Pozitif SSL şifrelemesi kullanılmıştır. Malzemelerin deneysel açıdan incelenmesi ise önemli iki gama radyoizotop kaynağı olan Co-60 ve Cs-137 radyoizotop kaynakları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Deneysel ve teorik çalışmalar kıyaslandığında, LAC ve MAC değerleri artan enerji değerleri ile azalmaktadır. Teorik açıdan incelendiğinde, tüm numuneler için $5.89 \cdot 10^{-3}$ MeV -15 MeV enerji aralığında, LAC değeri 339.8 cm^{-1} - 0.058 cm^{-1} , MAC değeri ise $126.217 \text{ cm}^2/\text{g}$ - $0.022 \text{ cm}^2/\text{g}$ değişmektedir. Alumix-231+ %10 B_4C malzemesinin en düşük LAC ve MAC değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Alumix-231, Alumix-231+ %10 Al_2O_3 ve Alumix-231+ %10 SiC malzemelerin MAC değerleri Co-60 (1.17MeV) ve Cs-137 (662KeV) radyoizotop kaynakları için sırasıyla $0.057 \text{ (cm}^2/\text{g)}$ ve $0.075 \text{ (cm}^2/\text{g)}$ hesaplanmıştır. LAC değerleri ise teorik hesaplamaları sonucu Co-60 (1.17MeV) kaynağı için, Alumix-231, Alumix-231+ %10 Al_2O_3 , Alumix231+ %10 SiC ve Alumix-231+ %10 B_4C kompozit malzemeleri için 0.152 cm^{-1} , 0.160 cm^{-1} , 0.155 cm^{-1} ve 0.151 cm^{-1} bulunmuştur. Deneysel sonuçlara göre, MAC değerleri Co-60 kaynağı için, Alumix-231, Alumix-231+

%10 Al_2O_3 , Alumix231+ %10 SiC ve Alumix-231+ %10 B_4C malzemeleri göz önüne alındığında $0.0591\text{cm}^2/\text{g}$, $0.0585\text{cm}^2/\text{g}$, $0.0596\text{cm}^2/\text{g}$ ve $0.0584\text{cm}^2/\text{g}$, LAC değerleri ise sırasıyla 0.158cm^{-1} , 0.164cm^{-1} , 0.162cm^{-1} ve 0.155cm^{-1} olarak hesaplanmıştır. Cs-137 kaynağı için, Alumix-231, Alumix-231+ %10 Al_2O_3 , Alumix231+ %10 SiC ve Alumix-231+ %10 B_4C malzemeleri değerlendirildiğinde, MAC değerleri $0.064\text{cm}^2/\text{g}$, $0.070\text{cm}^2/\text{g}$, $0.069\text{cm}^2/\text{g}$ ve $0.0728\text{cm}^2/\text{g}$, LAC değerleri ise 0.176cm^{-1} , 0.196cm^{-1} , 0.179cm^{-1} ve 0.193cm^{-1} sonuçları çıkarılmıştır.

Malzemelerin zırlama özelliğini betimleyen en önemli parametre HVL ve TVL olduğundan malzemelerin radyasyon zırlama etkinliğinin değerlendirilmesi için bu parametreler göz önüne alınmıştır. Malzemelerin HVL ve TVL değerleri teorik açıdan incelendiğinde $5.89.10^{-3}$ MeV -15 MeV enerji aralığında, sırasıyla 0.02cm-12.035cm, 0.007cm-39.980cm olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda artan enerji değeri ile HVL ve TVL değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Alumix-231, Alumix-231+ %10 Al_2O_3 , Alumix-231+ %10 SiC ve Alumix-231+ %10 B_4C malzemelerinde HVL değerleri teorik değerlendirme sonucu, Co-60 (1.17MeV) için 4.556 cm, 4.339 cm, 4.4467 cm ve 4.602 cm, Cs-137 (662KeV) için sırasıyla 3.461 cm, 3.297 cm, 3.394 cm ve 3.497 cm bulunmuştur. TVL değerleri ise, Alumix-231, Alumix-231+ %10 Al_2O_3 , Alumix-231+ %10 SiC ve Alumix-231+ %10 B_4C malzemelerinde, Co-60 (1.17MeV) için 15.135 cm, 14.413cm, 14.817 cm ve 15.286 cm, Cs-137 (662KeV) için ise sırasıyla 11.499 cm, 10.952 cm, 11.274 cm ve 11.617 cm bulunmuştur. DeneySEL olarak incelendiğinde, Alumix-231, Alumix-231+ %10 Al_2O_3 , Alumix-231+ %10 SiC ve Alumix-231+ %10 B_4C malzemelerinde HVL değerleri, Co-60 (1.17MeV) için 4.38 cm, 4.22 cm, 4.27 cm ve 4.47 cm, Cs-137 (662KeV) için sırasıyla 3.93 cm, 3.53 cm, 3.87 cm ve 3.59 cm bulunmuştur. TVL değerleri ise, Alumix-231, Alumix-231+ %10 Al_2O_3 , Alumix-231+ %10 SiC ve Alumix-231+ %10 B_4C malzemelerinde, Co-60 (1.17MeV) için 15.135 cm, 14.413cm, 14.817 cm ve 15.286 cm, Cs-137 (662KeV) için ise sırasıyla 11.499 cm, 10.952 cm, 11.274 cm ve 11.617 cm bulunmuştur.

Malzemelerin MFP değerleri teorik açıdan incelendiğinde $5.89.10^{-3}$ MeV -15 MeV enerji aralığında, 0.003cm-17.363 cm arasında hesaplanmıştır. Aynı zamanda artan enerji değeri ile MFP değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Alumix-231, Alumix-231+ %10 Al_2O_3 , Alumix-231+ %10 SiC ve Alumix-231+ %10 B_4C malzemelerinde MFP değerleri teorik değerlendirme sonucu, Co-60 (1.17MeV) için 6.573 cm, 6.259 cm, 6.444 cm ve 6.639 cm,

Cs-137 (662KeV) için sırasıyla 4.994 cm, 4.756 cm, 4.896 cm ve 5.045 cm bulunmuştur. Deneysel olarak incelendiğinde, Alumix-231, Alumix-231+ %10 Al₂O₃, Alumix-231+ %10 SiC ve Alumix-231+ %10 B₄C malzemelerinde MFP değerleri, Co-60 (1.17MeV) için 6.32 cm, 6.09 cm, 6.17 cm ve 6.45 cm, Cs-137 (662KeV) için sırasıyla 5.68 cm, 5.10 cm, 5.58 cm ve 5.18 cm hesaplanmıştır.

Teorik ve deneysel sonuçlar birbirleriyle uyum içerisindedir. Düşük radyasyon enerjilerinde malzemelerin LAC ve MAC değerleri daha yüksektir. Radyasyon enerjisinin artışına bağlı olarak malzemelerin LAC ve MAC değerleri azalmaktadır. Teorik ve deneysel sonuçlara göre, HVL ve TVL değerleri en yüksek olan Alumix-231+%10 B₄C kompozit malzemesi en düşük gama zırlama yeteneğine sahip olurken, HVL ve TVL değerleri en düşük olan Alumix-231+ %10 Al₂O₃ malzemesi en yüksek gama zırlama yeteneğine sahiptir. Sonuç olarak, enerjisi yüksek olan gama radyoizotop kaynağa ilişkin olarak malzemelerin soğurma katsayıları daha düşük, ancak HVL ve TVL değerleri yüksektir.

Phy-X/ PSD programı, malzemelerin pür olduğunu ve mükemmel şekilde üretildiği kabul edilmektedir. Çalışılan malzemelerin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayılarının birbirleri ile uyumluluğunun görülmesi, aynı zamanda deneylerimizin de güvenilirliğinin kanıtını göstermektedir.

Bu yüksek lisans tezi çerçevesinde gama radyasyonu karşısında iyi bir zırlama malzemesi olabilecek bir malzemenin belirlenerek önerilmesi yüksek lisans tezinin özgünlüğü çerçevesinde hedeflenmiştir. Böylelikle, farklı yönlerden özgün ve uygulamada sadece nükleer teknolojide değil, uzay teknolojisi, NANO teknoloji, vb. gibi ileri teknolojilerde kullanılabilir bir çalışma gerçekleştirilmiştir.



KAYNAKLAR

1. Aşkın, A., and Dal, M., (2020). Farklı oranlardaki Eu_2O_3 — Li_2O — TeO_2 karışımlarının gama radyasyonu yalıtım özelliklerinin Geant4 simülasyon kodu ve WinXCOM veri yazılımı kullanılarak karakterizasyonu. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 204-215.
2. Zahran, H., Yousef, E. S., and Yahia, I., (2020). Novel approach of gamma attenuation performance of $\text{Cu}_2\text{SnZn}(\text{S}, \text{Se}, \text{Te})_4$ semiconductor materials: Radiation interactions with proton, alpha, carbon, electron, and photon. *Materials Sciences in Semiconductor Processing*, 123, 1-12.
3. Çallioğlu, H., Ozdemir, I. and Gode, C., (2011). Effects of cold pressing and extrusion on the microstructures and mechanical properties of SiC and B4C reinforced alumix-231 alloys. *Scientific Research and Essays*, 6, 1371-1379.
4. Şimşek, I., Yıldırım, M., Özyürek, D., and Şimşek, D., (2019). Basıncsız İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen SiO_2 Takviyeli Alüminyum Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 22(1), 81-85.
5. Mazumdar, S. (2001). *Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering (1st ed.)*. London: CRC Press, 200-400.
6. Şenel, M. C., Gürbüz, M. and Koç, E. (2015). Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Yeni Nesil Kompozitler. *Mühendis ve Makina*, 56 (669), 36-47.
7. Hamad, R.M., Mhareb, M.H., Alajerami, Y.S., Sayyed, M., Saleh, G., Hamad, M.K., and Ziq, K.A. (2020). A comprehensive ionizing radiation shielding study of $\text{Fe}_{0.5}\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ alloys with various iron concentrations. *Journal of Alloys and Compounds*, 157636.
8. Danninger, H. (2018). What Will Be the Future of Powder Metallurgy? *Powder Metallurgy Progress*(Second Edition),18, 70-79.
9. Clyne, T., and Withers, P. (1993). An Introduction to Metal Matrix Composites, *Cambridge Solid State Science Series*, 12-473.
10. Srivatsan, T. S., Ibrahim, I. A., Mohammed, A. F., Lavernia, E.J.,(1992). Processing techniques for particulate-reinforced metal aluminium matrix composites. *Journal of Materials Science*, 26, 5965–5978.
11. Harighi, T., Bayindir, R., Gokmen, U., Jamal Golzari, L. E., and Khanlari, A., (2020). *Changing Power Transformer Metallurgy to Increase Responsibility of Electric Vehicle Fast Charge Profile*. 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application ICRERA, Glasgow/UK, 483-488.
12. Cadani, E., Dotta, M., Forni, D., Kaufmann, H. (2017). *Tensile Behaviour of Commercial Aluminium Alloys Used in Armour Applications at High Strain Rate*.

DYMAT 23rd Technical Meeting - International Conference on Dynamic Fracture of Ductile Materials, Trondheim/Norway, 197, 168-175.

13. Mazumdar, S., (2001). *Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering*. Taylor and Francis group(First Edition), Berlin.
14. Guleryuz, L., Ozan, S., Uzunsoy, D and Ipek, R. (2012). An investigation of the microstructure and mechanical properties of B4C reinforced PM magnesium matrix composites. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 51.
15. Jones, R.M. (1999). *Mechanics of Composite Materials (2nd ed.)*. Paris, CRC Press,150-250.
16. Akbarpour, M.R., Mousa Mirabad, H., Alipour, S., and Kim, H. (2020). Enhanced tensile properties and electrical conductivity of Cu-CNT nanocomposites processed via the combination of flake powder metallurgy and high pressure torsion methods, *Materials Science and Engineering A-structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 773, 138888.
17. 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.
18. Jabbari, T., Mohammad, A., Ruiz-Navas, E., Torralba, J. (2014). Microstructural and mechanical characterization of 7075 aluminium alloy consolidated from a premixed powder by cold compaction and hot extrusion. *Materials and Design*, 55. 674-682.
19. *An introduction to metal matrix composites(First Edition)*, (1993),Cambridge university press,Washington, 120-250.
20. Srivatsan, T. S., Ibrahim, I. A., Mohamed, F. A., and Lavernia, E. J.,(1991), Processing techniques for particulate-reinforced metal aluminum matrix composites, *Journal of Materials Science*, 26(22), 5965-5978.
21. Eliasson, J., and Sandström, R. (1995). Applications of aluminum matrix composites. *Key engineering materials*, 104, 3-36.
22. Erdem, M., Cıncı, H., Gokmen, U., Karakoç, H., and Turker, M. (2016). Mechanical and ballistic properties of powder metal 7039 aluminium alloy joined by friction stir welding. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26, 74-84.
23. Akhtar, S., Saad, M., Misbah, M., and Sati, M. (2018). Recent Advancements in Powder Metallurgy: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 5. 18649-18655.
24. Trinh Son, N., and Sastry, S. (2016). Processing and Properties of Metal Matrix Composites. *Mechanical Engineering and Materials Science Independent Study*, 10, 5-22
25. Shakhashiri, B. Z. (2008). *Chemical of the Week: Aluminum*. University of Wisconsin. Archived from the original, 9 May 2012., Archive.Today.com

26. Singh, B. J. (2014). RSM: A key to optimize machining: multi-response optimization of CNC turning with Al-7020 alloy. *Anchor Academic Publishing (aap_verlag)*, 1,140.
27. Hihara, L. H., Adler, R. P., and Latanision, R. M. (Eds.). (2013). *Environmental degradation of advanced and traditional engineering materials(first Edition)*. Boca Raton, CRC press, 67.
28. Panda, D., Kumar, L., and Alam, S. N. (2015). Development of Al-Fe₃Al nanocomposite by powder metallurgy route. *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 3565-3574.
29. Dhar, S., Jena, A., Patnaik, S. C., Sahoo, S. K., and Tripathy, O. (2020). A study on microstructure and mechanical properties of aluminium matrix composites with micro sized iron fillers produced by powder metallurgy route. *Materials Today: Proceedings*, 33, 5617-5622.
30. Zhou, X., Su, D., Wu, C., and Liu, L. (2012). Tensile mechanical properties and strengthening mechanism of hybrid carbon nanotube and silicon carbide nanoparticle-reinforced magnesium alloy composites. *Journal of Nanomaterials*, 2012, 1-12.
31. Xavior, M. A., Kumar, H. P., and Kumar, K. A. (2018). Tribological studies on AA 2024–Graphene/CNT Nanocomposites processed through Powder Metallurgy. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 6588-6596.
32. Joel, J., and Xavior, M. A. (2018). Aluminium alloy composites and its machinability studies; a review. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 13556-13562.
33. Amirkhanlou, S., and Niroumand, B. (2010). Synthesis and characterization of 356-SiCp composites by stir casting and compocasting methods. *Transactions of nonferrous metals society of china*, 20, 788-793.
34. Gang, C. H. E. N., Jia, W. A. N., Ning, H. E., Zhang, H. M., Fei, H. A. N., and Zhang, Y. M. (2018). Strengthening mechanisms based on reinforcement distribution uniformity for particle reinforced aluminum matrix composites. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 28(12), 2395-2400.
35. Nosko, M., M. Štěpánek, P. Zifčák, L. Orovčík, Š. Nagy, T. Dvorák, P. Oslanec, F. Khodabakhshi, and A. P. Gerlich, (2019) , "Solid-state joining of powder metallurgy Al-Al₂O₃ nanocomposites via friction-stir welding: Effects of powder particle size on the weldability, microstructure, and mechanical property" *Materials Science and Engineering: A*, 754, 190-204.
36. 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.
37. Bobbili, R., Madhu, V., and Gogia, A. K. (2016). Tensile behaviour of aluminium 7017 alloy at various temperatures and strain rates. *Journal of Materials Research and Technology*, 5(2), 190-197.

38. Ravindran, P., Manisekar, K., Narayanasamy, R., and Narayanasamy, P. (2013). Tribological behaviour of powder metallurgy-processed aluminium hybrid composites with the addition of graphite solid lubricant. *Ceramics International*, 39(2), 1169-1182.
39. Pramanik, A. (2016). Effects of reinforcement on wear resistance of aluminum matrix composites. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(2), 348-358.
40. Thandalam, S. K., Ramanathan, S., and Sundarajan, S. (2015). Synthesis, microstructural and mechanical properties of ex situ zircon particles (ZrSiO₄) reinforced Metal Matrix Composites (MMCs): a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 4(3), 333-347.
41. Mandal, D., Dutta, B. K., and Panigrahi, S. C. (2008). Effect of wt% reinforcement on microstructure and mechanical properties of Al–2Mg base short steel fiber composites. *Journal of materials processing technology*, 198(1-3), 195-201.
42. Corrochano, J., Liebllich, M., and Ibáñez, J. (2009). On the role of matrix grain size and particulate reinforcement on the hardness of powder metallurgy Al–Mg–Si/MoSi₂ composites. *Composites science and technology*, 69(11-12), 1818-1824.
43. Dagwa, I. M., and Adama, K. K. (2018). Property evaluation of pumice particulate-reinforcement in recycled beverage cans for Al-MMCs manufacture. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 30(1), 61-67.
44. Rodrigo, P., Poza, P., Utrilla, V., and Ureña, A. (2009). Effect of reinforcement geometry on precipitation kinetics of powder metallurgy AA2009/SiC composites. *Journal of alloys and compounds*, 479(1-2), 451-456.
45. Chawla, K., (2006) , *Metal Matrix Composite(Second Edition)*, Springer, 104,50-100.
46. Halverson, D. C., Pyzik, A. J., Aksay, I. A., and Snowden, W. E. (1989). Processing of boron carbide-aluminum composites. *Journal of the American Ceramic Society*, 72(5), 775-780.
47. Zheng, R., Hao, X., Yuan, Y., Wang, Z., Ameyama, K., and Ma, C. (2013). Effect of high volume fraction of B₄C particles on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloy based composites. *Journal of alloys and compounds*, 576, 291-298.
48. Varol, T., Canakci, A., and Ozsahin, S. (2013). Artificial neural network modeling to effect of reinforcement properties on the physical and mechanical properties of Al2024–B₄C composites produced by powder metallurgy. *Composites Part B: Engineering*, 54, 224-233.
49. Pandey, U., Purohit, R., Agarwal, P., Dhakad, S. K., and Rana, R. S. (2017). Effect of TiC particles on the mechanical properties of aluminium alloy metal matrix composites (MMCs). *Materials Today: Proceedings*, 4(4), 5452-5460.
50. Gopalakrishnan, S., and Murugan, N. (2012). Production and wear characterisation of AA 6061 matrix titanium carbide particulate reinforced composite by enhanced stir casting method. *Composites Part B: Engineering*, 43(2), 302-308.

51. Selvakumar, M., Chandrasekar, P., Mohanraj, M., Ravisankar, B., and Balaraju, J. N. (2015). Role of powder metallurgical processing and TiB reinforcement on mechanical response of Ti–TiB composites. *Materials Letters*, 144, 58-61.
52. Tatar, C., and Özdemir, N. (2010). Investigation of thermal conductivity and microstructure of the α -Al₂O₃ particulate reinforced aluminum composites (Al/Al₂O₃-MMC) by powder metallurgy method. *Physica B: Condensed Matter*, 405(3), 896-899.
53. Corrochano, J., Cerecedo, C., Valcárcel, V., Lieblich, M., and Guitián, F. (2008). Whiskers of Al₂O₃ as reinforcement of a powder metallurgical 6061 aluminium matrix composite. *Materials Letters*, 62(1), 103-105.
54. Jiju, K. B., Selvakumar, G., and Prakash, S. R. (2020). Study on preparation of Al–SiC metal matrix composites using powder metallurgy technique and its mechanical properties. *Materials Today: Proceedings*, 27, 1843-1847.
55. Gökmen, U., (2016). Fabrication and Characterization of Hot Extruded Hybrid Composites Al 2024 Matrix Reinforced With B₄C/Al₂O₃. *Journal of politechnic*, 19(4), 445-453.
56. Izadi, H., Nolting, A., Munro, C., Bishop, D. P., Plucknett, K. P., and Gerlich, A. P. (2013). Friction stir processing of Al/SiC composites fabricated by powder metallurgy. *Journal of Materials Processing Technology*, 213(11), 1900-1907.
57. Gürbüz, E.Y., Variyenli, H.I., Sözen, A., Khanlari, A. and Ökten, M. (2021). Experimental and numerical analysis on using CuO-Al₂O₃/water hybrid nanofluid in a U-type tubular heat exchanger. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, 31(1), 519-540.
58. Gode, C. (2013). Mechanical properties of hot pressed SiCp and B₄Cp/Alumix 123 composites alloyed with minor Zr. *Composites Part B: Engineering*, 54, 34-40.
59. Ozer, A. (2016). The microstructures and mechanical properties of Al-15Si-2.5 Cu-0.5 Mg/ (wt%) B₄C composites produced through hot pressing technique and subjected to hot extrusion. *Materials Chemistry and Physics*, 183, 288-296.
60. Aral, İ. (2019). *Alumina ve zirkonya esaslı seramiklerin nükleer zırhlama kabiliyetlerinin MCNP-X kodu ile araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 15-35.
61. Karadoğan, Z.I., (2019). *Ni, Fe, Co Tabanlı Süper Alaşımların Radyasyon Zırhlama Kabiliyetlerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 25-50.
62. Wanasinghe, D., and Aslani, F. (2019). A review on recent advancement of electromagnetic interference shielding novel metallic materials and processes. *Composites Part B: Engineering*, 176, 107207.

63. Liu, D., Woo, J.K., (2019). A Study on the Shielding Ability of Current Aerospace Materials against High Energy Cosmic Rays. *The 39th International Conference on High Energy Physics*, 69, 194-201.
64. Knoll , F.K. (1999), Radiation Detection and Measurement. John Willey and Sons.
65. Fathy, A., Omya, E. K., and Mohammed, M. M. (2015). Effect of iron addition on microstructure, mechanical and magnetic properties of Al-matrix composite produced by powder metallurgy route. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25(1), 46-53.
66. Khanlari, A., Güler, H. Ö., Tuncer, A. D., Şirin, C., Bilge, Y. C., Yılmaz, Y., and Güngör, A. (2020). Experimental and numerical study of the effect of integrating plus-shaped perforated baffles to solar air collector in drying application. *Renewable Energy*, 145, 1677-1692.
67. Arif, U., Gökmen, U., ÇİNCİ, H., Kurnaz, A., and Çetiner, M. A. (2016). Shielding property of closed-cell als7 foams and als7 bulk materials against gamma rays. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 722-726.
68. Gökmen, U. (2021). Gamma and neutron shielding properties of B₄C particle reinforced Inconel 718 composites. *Nuclear Engineering and Technology*, 53(12), 1-13.
69. 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.
70. Gupta, T. K., Srivastava, A. K., and Srivastava, V. S. (2021). Microstructural and tensile behaviour of hybrid MMC Al7075/SiC/B₄C produced by mechanical stir casting. *Materials Today: Proceedings*, 47, 4107-4113.
71. Singh, A.P., Kumar, M.S., Deshpande, A., Jain, G., Khamesra, J., Mhetre, S., Awasthi, A., and Natrayan, L., (2021). Processing and characterization mechanical properties of AA2024/Al₂O₃/ZrO₂/Gr reinforced hybrid composite using stir casting technique. *Materials Today Proceedings*, 37(2), 1562-1566.
72. Zhang, J., Li, Y., Huang, J., Wu, J., Liu, Q., Wu, S., Gao, Z., Zhang, S., and Yang, L., (2021). The effect of al particle size on thermal decomposition, mechanical strength and sensitivity of Al/ZrH₂/PTFE composite. *Defence Technology*, 17(3), 829-835.
73. Ni, Y., Zhang, F., I.Njoku, D., YU, Y., Pan, J., Meng, M., and Li, Y., (2021). Corrosion mechanism of CuAl-NiC abrasable seal coating system—The influence of porosity, multiphase, and multilayer structure on the corrosion failure. *Journal of material Science and Technology*, (88), 258-269.
74. Chen, G., Liss, K.D., Chen, C., He, Y., Qu, X., and Gao, P., (2021). Porous FeAl alloys via powder sintering: Phase transformation, microstructure and aqueous corrosion behavior. *Journal of Material Science and Technology*, (86), 64-69



GAZİ GELECEKTİR..