

T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI (DİSİPLİNLERARASI)

B₄C TAKVİYELİ TİTANYUM KOMPOZİT MALZEMELERİN
RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Tuğçe ATASOY KURAL

Danışman
Doç. Dr. Hatice VAROL ÖZKAVAK

II. Danışman
Doç. Dr. Kadir GÜNOĞLU

ISPARTA - 2024

© 2024 [Tuğçe ATASOY KURAL]

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

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 çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

13/02/2024

Tuğçe ATASOY KURAL

.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Radyasyon	2
1.2. Radyasyonun Türleri.....	3
1.2.1. Alfa ışıması	4
1.2.2. Beta (pozitif – negatif) bozunumu	4
1.2.2.1. Negatron (β^-) bozunumu	5
1.2.2.2. Pozitron (β^+) bozunumu	5
1.2.2.3. Elektron yakalama olayı.....	6
1.2.3. Nötron ışıması	6
1.2.4. Gama (γ) bozunması	7
1.2.5. Fotonların madde ile etkileşimi.....	8
1.2.6. Fotoelektrik olay	9
1.2.7. Compton saçılımı	9
1.2.8. Çift oluşum.....	10
1.2.9. Radyasyondan korunma yöntemleri.....	11
1.2.9.1. Zaman.....	11
1.2.9.2. Uzaklık	11
1.2.9.3. Zırhlama	12
2. KAYNAK ÖZETLERİ	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. Titanyum	20
3.1.2. Bor Karbür	21
3.1.3. Toz metalurjisi	22
3.1.3.1. Toz karıştırma ve harmanlama.....	26
3.1.3.2. Sıkıştırma işlemi	26
3.1.3.3. Haddeleme.....	28
3.1.3.4. Metal kalıplarda sıkıştırma.....	29
3.1.3.5. Tek eksenli sıkıştırma	29
3.1.3.6. Tozların sinterlenmesi.....	30
3.1.4. Deney numunelerinin hazırlanması.....	30
3.1.5. Radyasyon ölçümlerinin yapılması	35
3.1.6. Lineer zayıflatma katsayısının ölçümü	35
3.1.7. NaI(Tl) dedektörlü gama spektroskopi sistemi.....	36
3.1.8. Radyoaktif kaynaklar	37
3.1.9. Dedektörün enerji kalibrasyonu	38
3.1.10. Zayıflatma katsayısının deney yoluyla elde edilmesi	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	42
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	53

ÖZGEÇMİŞ	57
----------------	----



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

B₄C TAKVİYELİ TİTANYUM KOMPOZİT MALZEMELERİN RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Tuğçe ATASOY KURAL

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı (Disiplinlerarası)

Danışman: Doç. Dr. Hatice VAROL ÖZKAVAK

II. Danışman: Doç. Dr. Kadir GÜNOĞLU

Doğada kararlı ya da kararsız halde bulunan elementlerin kararsız halden kararlı hale geçmesi sırasında çekirdeğin yaymış olduğu enerji radyasyon adı verilmektedir. Radyasyon yaşantımızda maruz kaldığımız bir durumdur. Fakat radyasyon maruziyeti fazla olduğunda insan sağlığı açısından ölümcül sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu yüzden radyasyonun etkilerinden korunmak için radyasyon absorpsiyonu ve radyasyon absorpsiyon materyaller oldukça önem kazanmıştır.

B₄C bileşiği kurşun geçirmez yelekler, tank zırhı gibi birçok alanda kullanılır oldukça sert ve nötron absorblayıcı (radyasyon soğurucu) özelliğe sahiptir. Ancak B₄C bileşiği gevrek özelliğinden dolayı tek başına kullanılması mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı titanyum matris malzeme içerisine farklı oranlarda ilave edilerek kompozit malzeme haline getirilip parça üretimi sağlanabilmektedir. Bu tez çalışmasında B₄C takviye elemanı ile titanyum matris malzemesi farklı oranlarda (%100 Ti, %95 Ti+%5 B₄C, %90 Ti+%10 B₄C, %85 Ti+%15 B₄C, %80 Ti+%20 B₄C, %70 Ti+%30 B₄C ve %60 Ti+%40 B₄C) bir araya getirilerek ve toz metalürjisi yöntemiyle kompozit malzeme olarak üretilmiştir. Üretilen parçaların değişen B₄C oranına bağlı olarak radyasyon absorblama özellikleri belirlenmiştir. Tez çalışmasında deneysel sonuçlardan elde edilen verilerle aynı zamanda NIST XCOM programı kullanarak hesaplama yöntemiyle belirlenen teorik verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada tüm numuneler için bakıldığında numune içerisindeki B₄C arttıkça zayıflama katsayıları da arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon, Titanyum, Bor karbür, Radyasyon zırhlama, Radyasyon soğurma

2024, 57 sayfa

ABSTRACT

Master's Thesis

INVESTIGATION OF RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF B₄C REINFORCED TITANIUM COMPOSITE METARIALS

Tuğçe ATASOY KURAL

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Advanced Technologies (Interdisciplinary)**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hatice VAROL ÖZKAVAK

II. Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kadir GÜNOĞLU

The energy emitted by the nucleus during the transition of elements that are stable or unstable in nature from unstable to stable is called radiation. Radiation is something we are exposed to in our lives. However, when radiation exposure is excessive, it has fatal consequences for human health. Therefore, radiation absorption and radiation absorption materials have become very important in order to be protected from the effects of radiation.

B₄C compound has a very hard and neutron absorbing (radiation absorbing) feature that is used in many areas such as bulletproof vests and tank armor. However, due to the brittle nature of the B₄C compound, it is not possible to use it alone. Therefore, titanium can be added into the matrix material in different proportions to turn it into a composite material and produce parts. In this thesis study, B₄C reinforcement element and titanium matrix material were used in different ratios (100% Ti, 95% Ti+5% B₄C, 90% Ti+10% B₄C, 85% Ti+15% B₄C, 80% Ti+20% B₄C, 70% Ti+30% B₄C and 60% Ti+% 40 B₄C) were brought together and produced as a composite material by the powder metallurgy method. Radiation absorption properties of the produced parts were determined depending on the component ratios and the B₄C ratio, which changed. In the thesis study, the data obtained from the experimental results were compared with the theoretical data determined by the calculation method using the NIST XCOM program. When looked at for all samples in the study, it was concluded that as the B₄C in the sample increases, the attenuation coefficients also increase.

Key Words: Radiation, Titanium, Boron carbide, Radiation shielding, Radiation absorption

2024, 57 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin yürütülmesinde desteğini ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç. Dr. Hatice VAROL ÖZKAVAK'a, II. danışmanım sayın Doç. Dr. Kadir GÜNOĞLU'na, çalışma süresince bana desteklerinden dolayı sayın Prof. Dr. İskender AKKURT'a teşekkürlerimi sunarım.

2022-YL1-0163 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, desteklerini esirgemeyen annem Fatma ATASOY, babam Adnan ATASOY, kardeşim Gülşah ATASOY, eşim Fatih KURAL'a teşekkür ederim.

Tuğçe ATASOY KURAL
ISPARTA, 2024

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrumu	3
Şekil 1.2. β^- bozunumu temsil eden gösterimi	5
Şekil 1.3. β^+ bozunumu temsil eden gösterimi	6
Şekil 1.4. Elektron yakalama olayına Be (berilyum) örneği	6
Şekil 1.5. Gama bozunumu temsil eden gösterimi	8
Şekil 1.6. Temel madde-gama radyasyonu etkileşimlerinin baskınlık bölgeleri	9
Şekil 1.7. Radyasyondan korunma yolları zaman	11
Şekil 1.8. Radyasyondan korunma yolları uzaklık	12
Şekil 1.9. Radyasyondan korunma yolları zırhlama	13
Şekil 3.1. Toz metalurjisi yöntemi üretim akış diyagramı	23
Şekil 3.2. TM yönteminde kullanılan öğütme ve karıştırma makineleri (a) Dönen tambur (b) Dönen çift koni (c) Vidalı mikser (d) Bıçaklı mikser	24
Şekil 3.3. Tek yönlü sıkıştırma aşamaları (1) beslenme ayağının kalıba yaklaşması (2) besleme (3) presleme (4) karışımın tamamen sıkıştırılması (5) parçanın kalıptan çıkarılması (6) yeniden besleme	27
Şekil 3.4. Çift eksenli sıkıştırma işleminin şematik hali	28
Şekil 3.5. Tek eksenli presleme yöntemi kullanılarak ham parça imalat aşamaları ..	29
Şekil 3.6. Numune üretimi sırasında kullanılan kalıp örneği	33
Şekil 3.7. Kalıp sıkıştırma işlemi	34
Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan şekil ve boyutları	35
Şekil 3.9. DSPEC LF modülü (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta)	37
Şekil 3.10. MAESTRO-32 yazılımı ile elde edilmiş örnek spektrum	37
Şekil 3.11. ^{60}Co 'e ait bozunma şeması	38
Şekil 3.12. Çalışmadaki kaynakların enerji spektrumları (a) ve enerji-kanal fiti (b)	39
Şekil 3.13. Ölçümlerde kullanılan kaynak-malzeme-dedektör düzeneği	40
Şekil 3.14. ^{60}Co kaynağı için zayıflatılmamış (I0) ve zayıflatılmış (I) gama ışıını spektrumları	40
Şekil 4.1. Toz metal numunelerin μ katsayısı değerlerinin enerjiyle değişim grafiği	43
Şekil 4.2. Toz metal numunelerin μ katsayısı değerlerinin enerji ve B_4C oranına bağlı değişimi	43
Şekil 4.3. Toz metal numunelerin hesaplanan ortalama serbest yol (MFP) değerleri	44
Şekil 4.4. Toz metal numunelerin hesaplanan Yarı Değer Kalınlığı (HVL) değerleri	45
Şekil 4.5. Toz metal numunelerin hesaplanan Onda bir Değer Kalınlığı (TVL) değerleri	45
Şekil 4.6. (a) %100 Ti, (b) %95 Ti + %5 B_4C , (c) %90 Ti + %10 B_4C , (d) %85 Ti + %15 B_4C içeren numunelere ait iç yapı görüntüleri	46
Şekil 4.7. (a) %80 Ti + %20 B_4C , (b) %75 Ti + %25 B_4C , (c) %70 Ti + %30 B_4C , (d) %60 Ti + %40 B_4C içeren iç yapı görüntüleri	47
Şekil 4.8. %100 Ti kompozit numunesine ait EDS analizi	47
Şekil 4.9. %95 Ti + %5 B_4C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi	48
Şekil 4.10. %90 Ti + %10 B_4C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi	48
Şekil 4.11. %85 Ti + %15 B_4C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi	49
Şekil 4.12. %80 Ti + %20 B_4C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi	49

Şekil 4.13. %75 Ti + %25 B ₄ C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi	49
Şekil 4.14. %70 Ti + %30 B ₄ C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi	49
Şekil 4.15. %60 Ti + %40 B ₄ C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi	50
Şekil 5.1. Literatürden LAC örneği.....	51



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Bor karbür nitelikleri çizelgesi.....	22
Çizelge 3.2. Kullanılan radyoaktiflerin bazı özellikleri	38
Çizelge 4.1. Çalışmada imal edilen ham numunelerin ölçülen kütle ve kalınlık değerleri	42



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	Bor
B ₄ C	Bor Karbür
Ba	Baryum
Be	Berilyum
Co	Cobalt
Cs	Sezyum
He	Helyum
HVL	Yarı değer kalınlığı
I	Malzemeden çıktıktan sonraki radyasyon şiddeti
I ₀	Malzemeye gelen radyasyon şiddeti
LAC	Lineer zayıflatma katsayısı
MFP	Ortalama serbest yol
Ni	Nikel
t	Malzeme kalınlığı
Ti	Titanyum
TM	Toz metalurjisi
TVL	Onda bir değer kalınlığı
μ	Toplam zayıflatma katsayısı
α	Alfa
β	Beta
γ	Gama
Δ	Fark
κ	Çift oluşum
ρ	Yoğunluk
σ	Compton
τ	Fotoelektrik

1. GİRİŞ

Bor simgesi B ve atom numarası 5 olan kimyasal element olup yer kabuğunda yoğunlukla bulunan 51. Elementtir. Borun amorf toz özellikleri; çok gevrek ve koyu kahverengidir. Mono klinik kristal halinin özellikleri ise sert yapılı, sarımsı kahverengidir. Dünyada bilinen en önemli bor rezervleri Türkiye, Rusya ve ABD’de bulunmaktadır (Tombal vd., 2016).

B₄C bileşiklerin en önemli özellikleri arasında yüksek sertliği, ergime sıcaklığı, termal nötron tesir kesiti ve düşük yoğunluğu bulunur (Büyük, 2014). Bu özelliklerinden dolayı B₄C makine, otomotiv, seramik, metalürjik ürün, uzay ve havacılık, savunma, görüş sistemleri, enerji, bilgisayar ve elektronik, inşaat, kimya, koruyucu malzeme, tarım, tıp, ilaç ve kozmetik, cam, iletişim araçları, kâğıt, spor malzemeleri, teknik tekstil ve nükleer endüstrilerinde tercih edilmektedir. Toz Metalurjisi, toz halindeki metal ve metal olmayan bazı malzemelerin mekanik ve termal işlemlerden geçirilerek yararlı mühendislik malzemelerinin üretilmesini kapsayan imalat yöntemidir (Bıçaklı, 2018). Toz metalurjisi yöntemi, partikül haline getirilmiş metal veya metal olmayan alaşımların belirlenen bir basınçta presleme işlemine tabi tutulması ve presleme işlemi sonrası şekillendirilen parçalara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla ergime sıcaklığında sinterlenmesi esasına dayanmaktadır. Sinterleme işlemi ile bu partiküllerin temas yüzeyleri arasında bağ kuvveti oluşturulur (Yavuz ve Güner, 2002).

Doğadaki elementler kararlı ya da kararsız halde bulunmaktadır. Kararsız haldeki elementlerin çekirdeklerin kararlı hale geçmek isteği sırasında çekirdeğin dalga formda veya parçacık halinde yayılan enerjiye “Radyasyon” denilmektedir. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, X-ışınları, kızılötesi ve morötesi ışınlar ile görünen ışık radyasyona örnek verilebilir. Bu örneklerle bakılarak günümüzde kullandığımız birçok teknolojik alet vasıtasıyla radyasyona maruz kalmakta olduğumuzu ortaya çıkar. Radyasyona fazla maruz kalınması ölümcül sonuçlar doğurabilmektedir. Teknolojik aletleri günlük yaşantımızda kullanmaya devam ettikçe radyasyon enerjisine maruz kalmamız kaçınılmazdır. Bu nedenle radyasyonun olumsuz etkilerinden korunmak amacıyla radyasyon absorpsiyonu ve radyasyon absorpsiyon özelliği bulunan materyaller oldukça önem kazanmıştır.

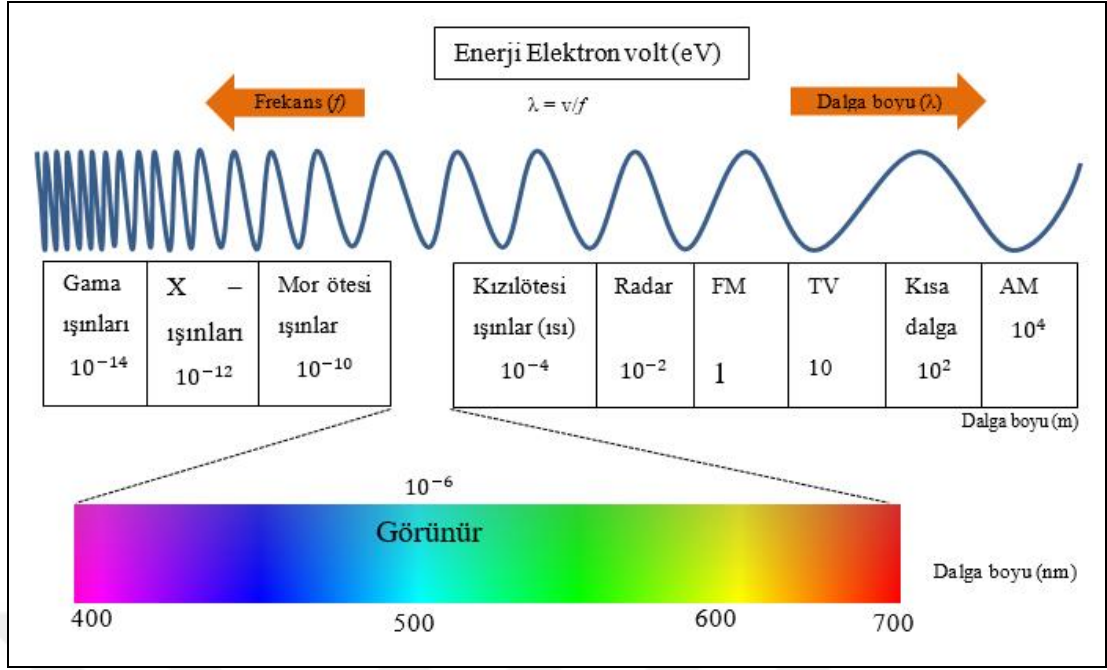
Nükleer ve radyasyon fiziği, endüstri, ilaç, çevre, enerji üretimi, radyasyon dozimetresi, biyoloji ve tarım gibi alanlarda gama ışınlarının uygulaması oldukça artmıştır. Kurşun; geleneksel koruyucu malzeme olup maliyet ve yüksek yoğunluk nedeniyle kullanımı sınırlı olan malzemedir.

B₄C bileşiği kurşungeçirmez yelekler, tank zırhı gibi birçok alanda kullanılmakta olup oldukça sert ve nötron absorblayıcı (radyasyon soğurucu) özelliğe sahiptir. Ancak B₄C bileşiği gevrek özelliğinden dolayı tek başına kullanılması mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı çelik, titanyum gibi demir esaslı veya demir dışı matris malzeme içerisine farklı oranlarda ilave edilerek kompozit malzeme haline getirilip parça üretimi sağlanabilmektedir. Bu tez çalışmasında B₄C takviye elemanı ile titanyum matris malzemesi belirli oranlarda bir araya getirilerek ve toz metalurjisi yöntemiyle kompozit malzeme olarak üretilcektir. Üretilen parçalara ilave edilen B₄C oranlarına bağlı olarak radyasyon soğurma özellikleri, malzemelerin sertlik değerleri ile iç yapısındaki değişim incelenecektir.

1.1. Radyasyon

Doğada elementler kararlı ve kararsız halde bulunmaktadır. Kararsız haldeki elementlerin kararlı hale geçerken çekirdeklerin yaydığı enerjiye veya ışımaya radyasyon denilmektedir. Bu çekirdeklerin tepkimesine de radyoaktivite adı verilmektedir.

Radyasyon, doğada sürekli bulunur. Görünür bölge hariç insan duyularıyla direkt olarak tespit edilmesi mümkün değildir. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi günlük yaşantımızda doğal yollardan ya da kullandığımız teknolojik cihazlardan dolayı radyasyona maruz kalmaktadır. Bu maruz kalmadan ötürü vücudumuz radyasyon ile etkileşim halindedir.



Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrum

1.2. Radyasyonun Türleri

Radyasyon maddede oluşturduğu etkiye göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan olacak şekilde sınıflandırılabilir. İyonlaştırıcı radyasyonu da elektromanyetik ve partiküler olarak ayrıştırabiliriz (Günoğlu, 2012).

İyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik radyasyon türleri

- Radyo dalgaları
- Mikrodalga
- Kızıl ötesi ışınlar
- Görünen ışık (Kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi, mor)
- Mor ötesi ışınlar

İyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon türleri,

- X-ışınları
- Gama ışınları
- Kozmik ışınlar

İyonlaştırıcı partiküler radyasyon türleri

- Beta parçacıkları
- Alfa parçacıkları
- Nötronlar

1.2.1. Alfa ışıması

Rutherford 1903 yılında radyum elementlerinin bozunması sırasında ortaya çıkan manyetik ve elektrik alanlardaki sapmaları kullanarak alfa parçacıklarını bulmuştur. Çekirdekdeki kararsızlığı nedeniyle iki proton ve iki nötron ise çekirdek kararlı hale gelmek isteyecektir. İki proton ve iki nötronun çekirdeğin içinde birleşmesi ve sonucunda oluşan pozitif yüklü parçacığın Coulomb bariyerini çekirdek alanında aşması gerekmektedir. Çekirdeğin içinde alfa parçacığının oluşması çekirdekte hem proton hem de nötron parçacıklarının fazla olması halinde gerçekleşmektedir. Rutherford alfa parçacığının He çekirdeği olduğunu göstermiştir. Alfa parçacığının ana çekirdekten ayrılmasında atom numarası 2 kütle sayısı 4 azalarak fiziksel özelliğin değişmesine Alfa bozunumu denmektedir bu durum Denklem (1.1)'de gösterilmiştir.



Yukarıdaki denklemde; A: kütle numarası, Z: Proton sayısı, X: element, N: Nötron Alfa parçacığı çekirdekten fırlatılabilen en ağır kütleyle sahip parçacık olarak kabul edilmektedir. Alfa parçacığı kütlesi beta parçacığına göre yaklaşık 7500 kat daha ağır olduğu düşünülmektedir. Alfa parçacığının kütlesi nedeniyle gidebileceği mesafe kısadır. Doğal radyoaktif maddelerin yaydığı alfa parçacıkları ortalama 4 MeV ile 9 MeV arasında enerjilere sahiptirler, enerji spektrumu kesiklidir (Günoğlu, 2012).

1.2.2. Beta (pozitif – negatif) bozunumu

Beta (β) parçacıkları yük ve kütleyle sahiptirler. Bu nedenle madde içerisinde geçişleri sırasında iyonlaşma meydana gelmektedir. Fakat bu iyonlaşma alfa parçacıklarının iyonlaşmasında daha azdır. Beta parçacıklarının havadaki erişebildiği mesafe katırlar içerisindeki ulaşabildiği mesafeye göre oldukça fazladır. Beta bozunumun gerçekleşmesi üç farklı şekildedir. Bunlar;

- Negatron (β^-) bozunumu
- Pozitron (β^+) bozunumu
- Elektron yakalama olayı

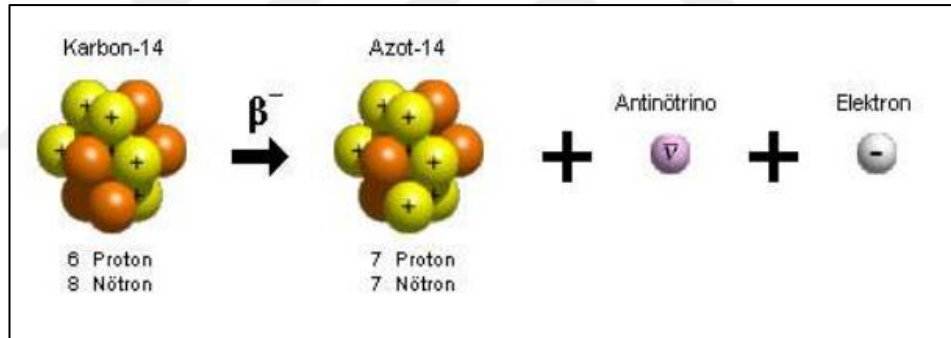
1.2.2.1. Negatron (β^-) bozunumu

Radyoaktif çekirdekler her zaman kararlı hale geçmek isterler. Bu kararsızlık hali eğer çekirdeğin fazla nötrona sahip olmasından kaynaklanıyorsa, çekirdek sahip olduğu fazla nötrondan kurtulmak ister. Bundan dolayı çekirdekteki fazla nötronlardan bir tanesini bir proton ve bir antinötrino olacak şekilde dönüşüm gerçekleştirir. Bu süreç sonucunda, elektron ortaya çıkmaktadır. Bu elektron çekirdek içinde kalamadığından negatron radyasyonu olarak açığa çıkar. Bu olay Denklem (1.2)'de ve Şekil 1.2'de ifade edilmektedir (Günoğlu, 2012).

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

$${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z+1}^A Y + \beta^- + \bar{\nu} \quad (1.2)$$

Yukarıdaki denklemde; n: Nötron, p: Proton, e^- : Elektron, $\bar{\nu}$: Nötrino, Y: Element



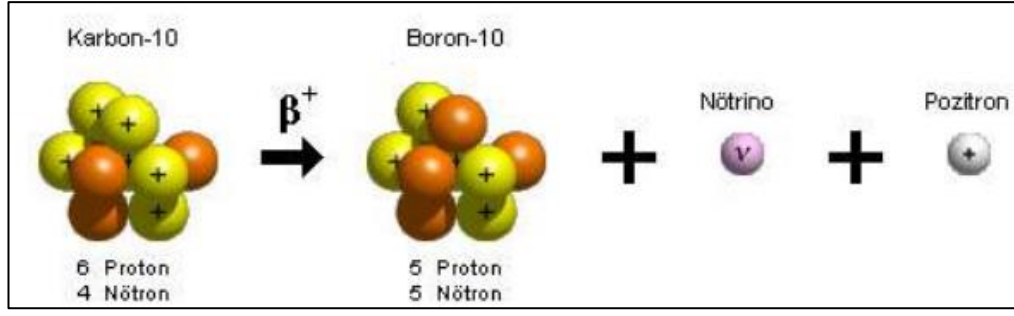
Şekil 1.2. β^- bozunumu temsil eden gösterimi (Eren, 2015)

1.2.2.2. Pozitron (β^+) bozunumu

Çekirdekteki kararsızlık hali nötron eksikliğinden ya da proton fazlalığından kaynaklanıyorsa, pozitif yüklü elektron ve bir nötrino salarak çekirdekteki protonlardan biri nötrona dönüşür. Bu şekilde çekirdekte nötron kalır toplam yük korunmuş olur, proton sayısı bir eksilir. Bu bozunum Denklem (1.3)'te ve Şekil 1.3'te gösterildiği gibidir (Günoğlu, 2012).

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu$$

$${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z-1}^A Y + \beta^+ + \nu \quad (1.3)$$



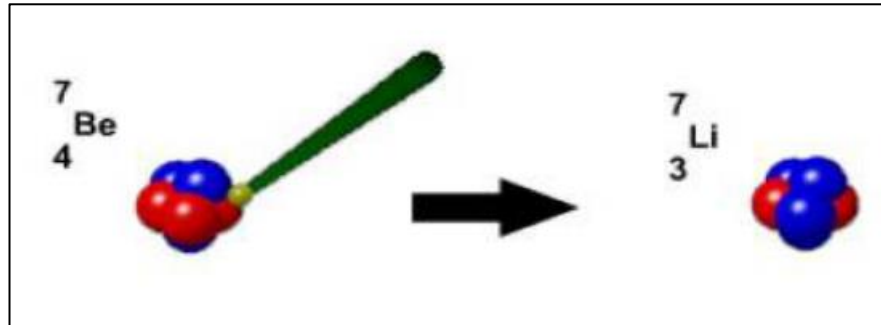
Şekil 1.3. β^+ bozunumu temsil eden gösterimi (Eren, 2015)

1.2.2.3. Elektron yakalama olayı

Pozitron (β^+) yayılamaz ve çekirdeğinin kararsızlığı birden fazla protondan dolayı ise, atomun çekirdeğe yakın yörüngede bulunan elektronlardan birini çekirdek yakalar. Çekirdeğin yakaladığı elektron protonla birleşerek bir nötron ve nötrinoya dönüşür. Denklem (1.4)'te görüldüğü üzere bu bozunumda proton sayısında eksilme olur. Kütle numarasında herhangi bir değişme olmamaktadır (Günoğlu, 2012). Şekil 1.4'te Berilyum ile örnek gösterilmiştir.

$$p + e^- \rightarrow n + \nu$$

$${}^A_Z X + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1} X + \nu \quad (1.4)$$



Şekil 1.4. Elektron yakalama olayına Be (berilyum) örneği (Eren, 2015)

1.2.3. Nötron ıslaması

Nötron ıslamasında çekirdeklerde iki farklı değişim meydana gelmektedir. Bunlar;

- Gecikmeli nötron bozunumu
- Kendiliğinden fisyon

olarak adlandırılmaktadır. Gecikmeli nötron bozunumu, elementin bozunum sonucunda cinsinin aynı kaldığı, atom ise elementin farklı izotopu haline gelmesine neden olur. Gecikmeli nötron bozunumunu çekirdeklerin çok azı yapmaktadır. Ana çekirdekte alfa ya da beta ışımasına uğradığında kararsız bir çekirdek oluşmaktadır. Bu kararsız haldeki çekirdekte bir nötron salımı yaparak yavru bir çekirdek oluşturur.

Enerjisi oldukça fazla olan bazı çekirdeklerin daha küçük çekirdeklere ayrılması sürecine kendiliğinden fisyon denilmektedir. Ana çekirdeğin türüne göre bozunma sonrasında salınan nötron sayısı 2 ile 4 arasındadır. Açığa çıkan nötronlar yüksüz olmalarından kaynaklı kurşun, demir, beton gibi yapılardan geçebilmektedirler. Serbest haldeki nötronların yarılanma ömrü yaklaşık 12 dakikadır (Erdem, 2014). Literatürde enerjilerine göre nötronlar hızlı, orta dereceli, görelî, soğuk, termal ve epitermal şeklinde altı gruba ayrılmıştır.

1.2.4. Gama (γ) bozunması

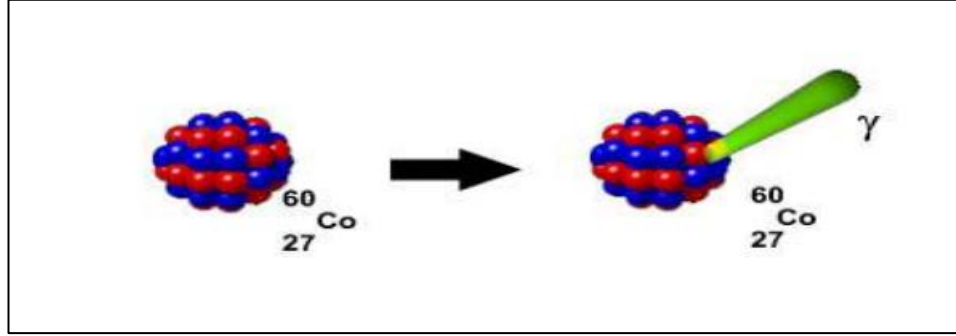
Atom çekirdeğindeki enerji seviyelerindeki değişimleri gama ışınlarının oluşmasına neden olmaktadır. Kararsız haldeki çekirdek alfa ya da beta parçacıkları yaymaktadır. Kararsız haldeki bu çekirdeklerin çoğunlukla bozunmalarında alfa ve beta radyasyonları gözlemlenmektedir. Fakat bu bozunmalar çekirdeğin uyarılmış halindeki bozunmalar olduğundan ürün çekirdeği kademeli bir şekilde ya da tek seferde gama radyasyonu yayar. Bu yayılım nedeniyle enerji daha az seviyeye veya temel duruma inmektedir. Bu geçiş 10^{-9} saniyeden daha kısa sürelerde gerçekleşmektedir. Oluşan bu gama enerjileri Denklem (1.5) ile hesaplanmaktadır.

$$E_{\gamma} = E_2 - E_1 \quad (1.5)$$

Bu denklemde; E: Enerji'dir

Çekirdekte kalan fazla enerji elektromagnetik radyasyon halinde yayılmaktadır. Beta ışınlarından daha yüksek enerjili olan Gama ışınları (γ) bu özelliğinden dolayı maddenin içerisine daha fazla nüfuz edebilmektedirler. Gama ışıması meydana getiren yarı kararlı bir nüklidin atom sayısı ve kütle sayısı değişmez, bu durum “izomerik

bozunma” olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1.5’te gama bozunmasının temsili gösterimi verilmiştir (Eren, 2015).



Şekil 1.5. Gama bozunumu temsil eden gösterimi (Eren, 2015)

1.2.5. Fotonların madde ile etkileşimi

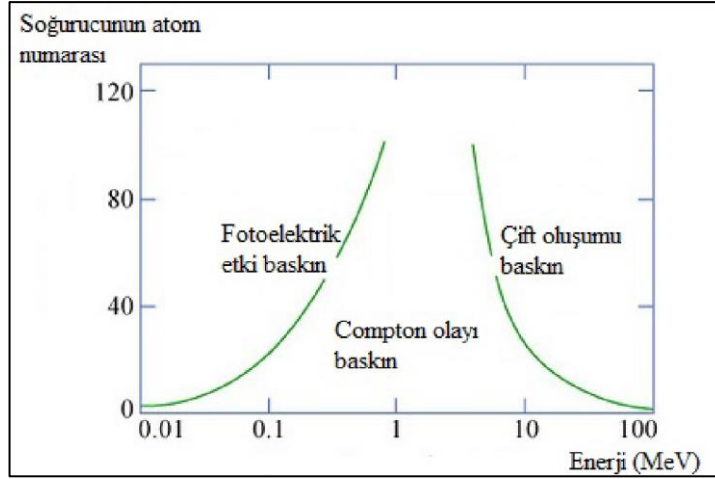
Gama ve X ışını gibi bütün elektromanyetik radyasyonlar çoğu zaman parçacıklar ile benzer davranışlar göstermektedir. Bu radyasyonların en küçük birim elemanına foton adı verilmiş olup; foton çok küçük enerji paketleri anlamına gelmektedir.

Belirli bir frekansta radyasyonun paketlerde taşıdığı enerji aynıdır. Bu enerji Denklem (1.6)’da verildiği gibidir.

$$E=h.v \quad (1.6)$$

Bu denklemde; h: Planck sabiti ve v: Frekans’tır

Fotonlar, maddenin (içinden geçtikleri ortamın) atomları ile rastgele karşılıklı etkileşime girerek ve bunun sonucunda ortama enerji bırakarak emilebilir veya saçılım yapabilir. Fotoelektrik olay, Compton Saçılması ve Çift Oluşum olayları elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşiminde rol oynayan en önemli üç olay olarak ifade edilebilir (Şekil 1.6) (Günoğlu, 2012).



Şekil 1.6. Temel madde-gama radyasyonu etkileşimlerinin baskınlık bölgeleri

1.2.6. Fotoelektrik olay

Geçtiği ortamdaki bir atomla etkileşim halinde olan frekans X planck sabiti ($h.v$) enerjili bir foton; enerjisinin tamamını atomun kabuklarında bulunan bir elektrona aktarır ve böylelikle elektronu çekirdeğin bağlayıcı kuvvetinden kurtarmasına fotoelektrik etkileşme adı verilir. Fotoelektrik etkileşim sonucu dışarıya bir elektron fırlatılmış olur. Dışarıya fırlatılan bu elektrona foto elektron adı verilir. Fotoelektrik etkileşim sonucu elektron boşluğu meydana gelmektedir. Meydana gelen bu elektron boşluğu dış yörüngede bulunan başka bir elektron ile doldurulmakta olup; bu esnada X -ışını yayımlanır. 0.5 MeV'den daha küçük enerjiye sahip fotonların ağır elementler tarafından emilmesi işleminde bu durum oldukça önemlidir (Günoğlu, 2012). Bu sırada meydana gelen foton enerjisinin bir kısmı atomdan elektronu koparmak ve kalan kısmı ise koparılan elektrona kinetik enerji olarak aktarmak amacıyla kullanılmaktadır (Denklem 1.7).

$$h.v = E_{\text{kinetik}} + E_{\text{bağlama}} \quad (1.7)$$

1.2.7. Compton saçılımı

Compton saçılması; atoma gevşek olarak bağlanmış bir dış yörüngedeki elektron ile enerjisi $h.v$ olan bir fotonun etkileşerek enerjisinin bir kısmını bu elektrona aktarması ile ortaya çıkmasıdır.

Kütleli bir parçacık olan elektron, fotonun bütün enerjisinin emilimi momentumun korunumundan dolayı mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı enerjisinin bir kısmını elektrona aktaran foton, saçılıp yoluna devam eder. Elektron ile Foton arasında meydana gelen açılı fotonun enerjisine bağlıdır. Denklem (1.8)'de gelen fotonun dalga boyu ile saçılan fotonun dalga boyu arasındaki fark verilmektedir.

$$\Delta\lambda = \lambda_f - \lambda_i = (h/m_0c) \cdot (1 - \cos\theta) \quad (1.8)$$

Burada h/m_0c Compton dalga boyunu ifade etmektedir. Enerjisi düşük olan hafif elementlerden oluşan ortamlar tarafından soğurulması durumu enerjileri 0.5- 2.0 MeV arasında olan fotonlar için diğerlerine göre daha önemlidir.

Yüksek enerjisi bulunan fotonlar enerjileri belirli bir seviyeye inene kadar Compton saçılmasına uğramaktadırlar Compton saçılmasına uğradıktan sonra fotoelektrik olayla emilir. Çünkü fotonların tamamen soğurulması sadece Compton saçılımı ile mümkün değildir (Günoğlu, 2012).

1.2.8. Çift oluşum

Fotoelektrik ve Compton etkileşimlerinde gerçekleşen gelen fotonun enerjisinin tamamı ya da bir kısmın elektron aktarımından farklı bir şekilde çift enerji kütle dönüşümü çift oluşum absorblama sürecidir.

$h\nu \geq 1.022 \text{ MeV}$ enerjiye sahip olan foton çekirdeğin veya elektronun Coulomb alanında $\gamma = e^- + e^+$ denkleminde göre bir elektron-pozitron çifti oluşur. Bundan dolayı çift oluşum fotoelektrik olayda olduğu gibi her foton enerjisinde oluşmaz.

$$E_{\min} = mc^2 = 2m_0c^2 = 1.022 \text{ MeV} \quad (1.9)$$

Teoride elektron-pozitron çiftinin oluşabilmesi için Denklem (1.9) dikkate alınarak hesaplandığında fotonun enerjisinin en az $2 \times 0.511 = 1.022 \text{ MeV}$ olması gerekmektedir. Gerekli olan foton enerjisinin bu değerden daha yüksek olması durumunda arta kalan fazla enerji kinetik enerji olarak elektron ve pozitrona aktarılır.

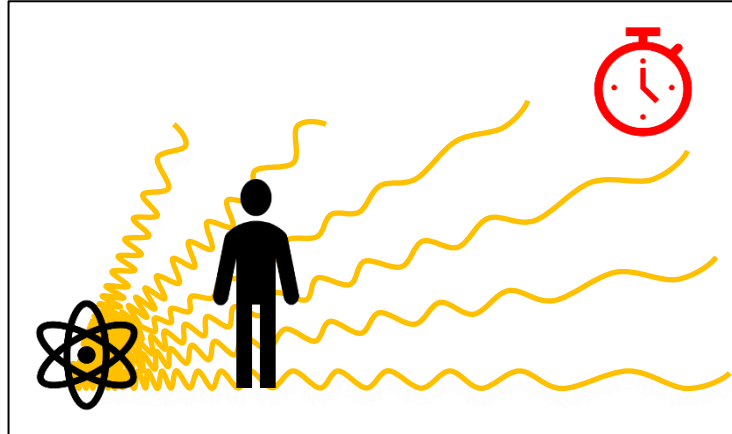
Pozitron bir yörünge elektronu ile birleşerek zıt yönlü iki foton salar ve yok olur. Meydana gelen elektron ise, atomla serbest elektronlar gibi etkileşmektedir. Foton ise fotoelektrik yolla emilmektedir. Ağır elementler ve 2 MeV'den daha büyük enerjili fotonlar için çift oluşumu pratikte daha baskındır.

1.2.9. Radyasyondan korunma yöntemleri

Günlük hayatta radyasyona sürekli olarak maruz kalınmaktadır. Radyasyon insanlar üzerinde biyolojik zararları vardır. Günlük hayatta radyasyona maruz kalma derecesini olabildiği kadar düşük tutulmalıdır. Radyasyondan korunmanın yolları Zaman, Mesafe ve Zırhlama şeklinde üç adettir.

1.2.9.1. Zaman

Mümkün olduğunca radyasyona maruz kalma süresinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Alınan doz miktarı ile zaman doğru orantılıdır. Radyasyona maruz kalınan doz, $\text{doz} = \text{doz hızı} \times \text{zaman}$ şeklinde ifade edilir. Şekil 1.7'de görselleştirilmiştir.



Şekil 1.7. Radyasyondan korunma yolları zaman

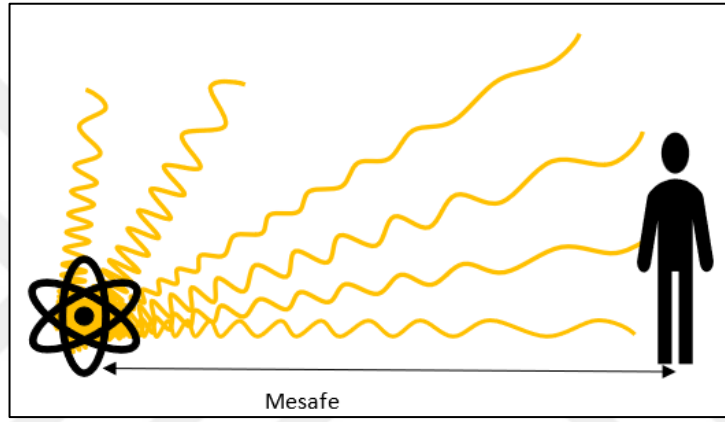
1.2.9.2. Uzaklık

Radyasyon kaynağından mümkün olduğunca uzak olunmalıdır. Radyasyon kaynağından uzaklaştıkça foton sayısı azalmaktadır. Bu nedenle mesafe arttıkça daha az radyasyona maruz kalınmış olur. Noktasal haldeki kaynaktan uzaklaştıkça alınan

dozun kare kökü kadar azalma gerçekleşir. Bu kurala ters kare yasası olarak adlandırılmaktadır. Yasaya göre radyasyonun şiddeti mesafenin karesi ile ters orantılı olarak değişim göstermektedir (Çimen, 2018). Şekil 1.8’de görselleştirilen radyasyon kaynağından uzaklaştıkça maruz kalınan radyasyon şiddetini Denklem (1.10)’da ifade edilmiştir.

$$I/d^2 = I_0/D^2 \text{ veya } ID^2 = I_0D^2 \quad (1.10)$$

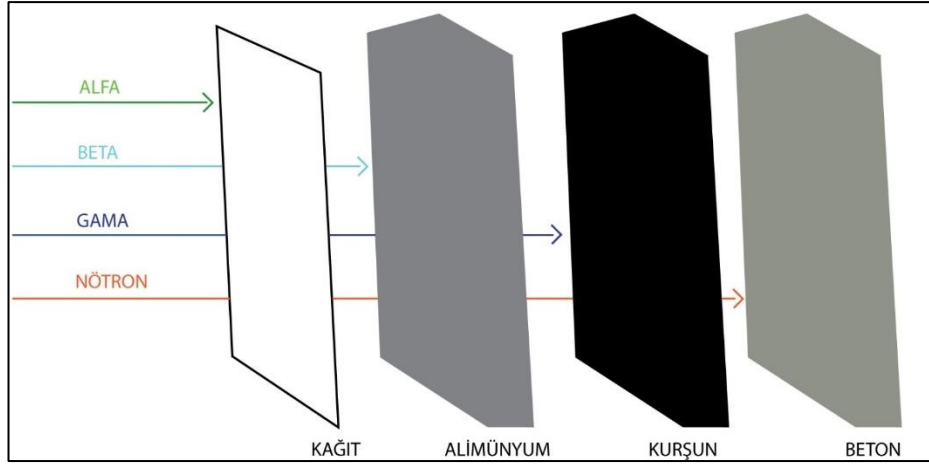
Bu denklemde; I: Radyasyon şiddeti, D: uzaklık



Şekil 1.8. Radyasyondan korunma yolları uzaklık

1.2.9.3. Zırlama

Zırlama; radyasyon kaynağı ile aramıza, radyasyonu mümkün olduğunca zayıflatacak engel koyulması işlemine denir. Zırlama amacıyla kullanılan engeller, farklı radyasyon türleri için değişiklik gösterir. Örneğin ağır olan alfa ışınları için kâğıt yeterli olurken gama ışını için kurşun, nötron ışınları için beton gibi malzemeler gerekmektedir Şekil 1.9’da gösterilmektedir. Toprak, beton, çelik, kurşun gibi radyasyon koruyuculuğu yüksek malzemeler arasındadır (Sürücü ve Subaşı, 2021).



Şekil 1.9. Radyasyondan korunma yolları zırhlama

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Titanyum ve alaşımlarından üretilen kompozit malzemeler başta biyomalzeme olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Bor karbür (B_4C); Ti ile B_4C reaksiyonu TiC ve TiB ve/veya TiB_2 takviye fazlarının oluşumuna neden olmaktadır. Titanyum borür yüksek sertlik, elektrik iletkenliği ve radyasyon kalkanı özelliğine sahiptir. Titanyum borür titanyum matrisli kompozit üretimi sırasında meydana gelmektedir. Bu nedenle titanyum matrisli kompozit üretimi radyasyon kalkanlama açısından önem arz etmektedir. Bu tez çalışması için yapılan literatür taraması Ti/ B_4C kompozitlerin radyasyon zırhlama özelliğinin belirlenmesi üzerine olmuştur. Yapılan literatür taraması şu şekildedir:

Kıpçak (2009), tez çalışmasında hammadde olarak, bor minerallerinden; inyoit ($Ca_2B_6O_{11}.13H_2O$), inderit ($2MgO.3B_2O_3.15H_2O$), boraks ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), kurnakovit ($Mg_2B_6O_{11}.15H_2O$), kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$), breşli kolemanit ve arsenikli kolemanit kullanarak yapmıştır. Bor mineralleri işlem görmeden kullanılarak deney yapıp, termal analizler yapılmıştır. Ayrıca bor minerallerinin, Howitzer cihazında nötron geçirgenliklerine bakılmış ve diğer bor minerallerine kıyasla Kurnakovit'in daha yüksek bir nötron soğurma kapasitesi olduğu görülmüştür.

Akkurt vd. (2011), çalışmalarında borlama etkisinin AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin radyasyon koruma özellikleri ve miknatıslanmasına etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla çeliğin doğrusal zayıflama katsayıları 662, 1170 ve 1332 keV foton enerjilerinde ölçülmüş ve sonuçlar 1-108 keV foton enerjisindeki hesaplama ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda 316 çeliğe uygulana borlama işlemiyle çeliğin hem radyasyondan korunma de miknatıslanma hem özelliklerinin iyileştirildiği belirlenmiştir.

Büyük (2013), çalışmalarında titanyum diborür (TiB_2) katkılı bor karbür (B_4C), silisyum karbür (SiC) gama radyoizotop kaynağı karşısında radyasyon davranışlarını incelemişlerdir. Hacimce oranı 6/4 olan B_4C / SiC kompozit malzemesine katkısı olmayan, %2 ve %4 TiB_2 katkılı malzemeler ile 1.17 ve 1.33 MeV enerji piklerine iki farklı gama radyoizotop kaynağı ile çalışmalar yapılmıştır. Deney malzemelerinin zayıflatma eğrileri çizilmiş ve lineer zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır.

Deneylelerden elde edilen kütle zayıflatma katsayıları, XCOM bilgisayar programı kullanarak hesaplanan teorik kütle zayıflatma katsayıları ile karşılaştırılma yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, kütle zayıflatma katsayıları ile teorik olarak elde edilen kütle zayıflatma katsayıları birbiri ile uyumlu olduğu görünmüştür. Ayrıca bu mukayesede iki katsayılar arasındaki farkların temelde malzeme içindeki safsızlıklara ve malzemenin üretim şartlarına bağlı olarak değiştii, B₄C-SiC kompozit malzemelere TiB₂ katkısının yapılmasının malzemelerin ⁶⁰Co (Cobalt 60) gama radyoizotopu karşısındaki radyasyon zırlama kabiliyetinin artmasını, TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerde TiB₂ oranının artırılmasının malzemelerin ⁶⁰Co gama radyoizotopu karşısındaki zırlama kabiliyetlerini arttırdığı sonuçlarına varılmıştır.

Aygün (2015), tez çalışmasında bir reaktörün yayacağı radyasyonun önlemek amacıyla performansı aktif haldeki reaktörlerde kullanılan malzemelere göre daha fazla radyasyon tutucu ve kullanışlı olan yeni zırh malzemelerinin üretilmesi amaçlamıştır. Bu amaçla katkı malzemelerinden bir bölümü olan Nikel (Ni), Renyum (Re), Tantal (Ta), Lityum (Li), Demir (Fe), Bor (B), Krom (Cr), Bor Karbür (B₄C), Tungsten (W), Bakır (Cu) ve Alüminyum (Al)’un simülasyonları yapılarak incelenmiş ve nötron zırhı açısından iyi oldukları belirlenmiştir. Numuneler toz metal tekniği kullanarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler CERN-FLUKA ve GEANT4 Monte Carlo simülasyonlar kullanarak analiz edilmiştir

Büyük vd. (2015) yaptıkları çalışmada, Alüminyum matris malzeme içerisine B₄C ilave edilmiş kıvılcım plazma sinterleme yöntemiyle elde edilen kompozitlerin gama ve nötron zayıflama özelliklerini ele almışlardır. Çalışmada B₄C Al matris malzemesine hacimce %0, %10, %15 ve %20 oranlarında ilave edilmiştir. Radyasyon deneyleri için Gama kaynağı olarak Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotopları, nötron kaynağı olarak da Pu-Be nötron obs kullanılmıştır. XCOM bilgisayar kodu ile Teorik kütle zayıflama katsayıları belirlenmiş deneylerden elde edilen verilerle kıyaslanmıştır. B₄C-Al kompozitlerinde alüminyum oranının artması ile birlikte, Cs-137 ve Co-60 gama kaynakları için daha yüksek gama zayıflama davranışını gözlemlendiği ve Al konsantrasyonunun artmasıyla B₄C-Al kompozitlerinin toplam makroskobik kesitlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Soltani vd. (2016) yaptıkları çalışmada, HDPE/B₄C kompozitlerinin termal nötron yeteneği Monte-Carlo simülasyonu ile incelemişlerdir. B₄C partiküllerinin partikül boyutunun ve nano formlarının homojen dağılımının azaltılması, gelen termal nötron ile koruyucu malzeme arasındaki çarpışma olasılığının artmasına neden olmakta ve sonuç olarak radyasyon perdeleme özelliklerini iyileştirdiği sonucuna ulaşmıştır.

Cengiz (2016) yaptığı tez çalışmasında, bor karbür-metal toz karışımlarına tek kademeli spark plazma yöntemi ile kompakt yapıların üretilmesi ve proses parametrelerinin optimizasyonu yapılarak elde edilen veriler ile üretilen seramik ve kompozitler kullanılarak fiziksel, mekanik ve nükleer karakterizasyon özelliklerini ele almıştır. B₄C-Ti, B₄C -Si ve B₄C-Al kompozitlerinin gama radyasyonu zırhlama özelliklerini inceleyen yazar çalışması sonunda bor karbür içerisine titanyum, silisyum ve alüminyum katkılarının yapılması ile malzemelerin yoğunluk değerlerinde artışa ve bu artışa bağlı olarak saf bor karbüre oranla katkılarının yapılması ile daha düşük kalınlık ve hacimli bir zırhlama imkânını oluşturduğu sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca katkı malzemeleri radyasyon zırhlama özelliği açısından kendi aralarında kıyaslandığında atom ağırlığı yüksek olan titanyumun, gama ve nötron zırhlamasında Al ve Si metallerine göre daha etkin bir gama zırhlaması sağladığı; nötron zırhlamasında ise negatif etkisinin diğer iki metalden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Chen vd. (2017) çalışmalarında, B₄C / 6061 Al NSC (Nötron Soğurucu Kompozit) levhalar sıcak pres sinterleme ve ardından ekstrüzyon ve haddeleme kullanılan toz metalürjisi yöntemi kullanarak imal etmişlerdir. İmalatı yapılan kompozitlerin mikroyapısı SEM, TEM, EBSD analizleri kullanılarak; mekanik özellikleri ise çekme testleri ve kırılma mekanizmaları ile incelenmiştir. Çalışma sonunda B₄C parçacıkları sıcak haddelemeden sonra 6061Al matrisinde oldukça düzgün bir şekilde dağıldığı; B₄C parçacıkları ile 6061Al matrisi arasındaki arayüz iyi bir biçimde bağlandığı belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca imalatı yapılan B₄C / 6061 A kompozitin akma dayanımı ve maksimum çekme dayanımı artan deformasyon altında ilk olarak artış gösterdiği daha sonra B₄C partiküllerinin kırılması ve bu partiküller etrafında meydana gelen büyük stres konsantrasyonunun kırılma uzaması azalırken azaldığı belirlenmiştir.

Yılmaz vd. (2019) çalışmalarında, Hardox 450 ve Hardox-HiTuf çelikleri üzerine borlama işlemi uygulayarak radyasyon kalkanlama özelliğini incelemişlerdir. Çalışma sonunda yazarlar çelikte borlama işlemi ile gama ışınlarının daha etkili bir şekilde korunduğunu ve sıcaklığın Hardox-HiTuf çeliğinin absorpsiyonunda daha etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Şirin (2020) çalışmasında; indüksiyon ergitme yöntemi kullanarak farklı oranlarda Ti ilave edilmiş $Al_{25}Zn$ alaşımının nötron ve gama zırlama özelliğini incelemiştir. Çalışma sonunda Ti1 alaşım numunesinin, karşılaştırılan diğer alaşımlar arasında üstün gama ve nötron radyasyonu koruma performansına sahip olduğunu göstermiştir.

Parçacık takviyeli kompozitlerin nötron kalkanlama performansı, nötron soğuran parçacıkların içeriğine ve bunların boyutlarına ve dağılımına bağlıdır. Bunu esas alan Zhai vd. (2021), çalışmalarında döküm ve sürtünme karıştırma işlemi kullanarak kompozit malzeme üretimi yapmışlar ve yaptıkları kompozit malzemelerin nötron kalkanlama özelliğini incelemişlerdir. Çalışma sonunda üretilen kompozitlerde bozulmuş nötron kalkanlama performansını ortaya koyduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Günoğlu vd. (2021) yaptıkları çalışmada, AISI 316 paslanmaz çeliğin gama ışını zayıflatma özelliklerinin farklı oranlarda bor karbür katkılanarak deneysel ve teorik olarak araştırmışlardır. Yazarlar deneysel çalışmalar gama kaynağı olarak ^{60}Co , ^{137}Cs radyoaktif kaynaklarını kullanmışlardır. Bunun yanında teorik hesaplamalar için XCOM ve Phy-X/PSD veri tabanı yazılımını kullanmışlardır. Çalışma sonunda deneysel ve teorik sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Yazarlar AISI 316 paslanmaz çeliğin bor karbür oranı arttıkça LAC'ler ve radyasyondan korunma verimliliği (RPE) değerlerinin düştüğünü; iletim hızı, HVL, TVL ve MFP değerleri bor karbür (B_4C) oranının artmasıyla arttığı sonucu elde etmişlerdir. Buna bağlı olarak AISI 316 paslanmaz çeliğe bor karbür eklenmesinin, çeliğin gama radyasyonunu azaltma yeteneğini azalttığı belirlenmiştir.

Oh vd. (2021) yaptıkları çalışmada, plazma torcu parametrelerinin titanyum borür partikülleri üzerine etkisini nümerik simülasyon kullanarak incelemişlerdir. Ayrıca bu parametrelere göre radyasyon kalkan özellikleri incelenmiştir. Sentezlenen titanyum borür nanopartikülleri kullanılarak gama ışını koruma performansı analiz edilmiştir.

Titanyum borür nano parçacıklı esnek malzemenin zayıflama katsayısı $0,238 \text{ cm}^{-1}$, yarı değer katmanı ise 2.91 cm olduğu görülmüştür.

Gökmen (2022) çalışmasında; B_4C takviyeli INconel 718 çeliğin nötron ve gama zırlama özelliklerini PSD yazılımı kullanarak incelemiştir. Çalışma sonunda nano ve uzay teknolojileri gibi birçok alanda bu malzemenin zırlama amacıyla kullanılabileceği belirlenmiştir.

Qui vd. (2022) yaptıkları çalışmalarında, $\text{Al}/\text{B}_4\text{C}$ plakalara sıcak haddeleme sonrasında soğuk sprej yöntemi uygulanmasının nötron zırlama özelliklere etkisini ele almışlardır. Sıcak haddeleme sonrasında B_4C parçacıklarının alaşımlarda düzgün dağılımı ve sprej yönteminde kaplamadaki kusurlarını etkili bir şekilde iyileştirdiği ve bu nedenle esnekliğe yol açtığı görülmüştür. Sonucunda sıcak haddeleme yapılan numune üründeki kaplamanın bağlanma mukavemeti, soğuk sprej ile karşılaştırıldığında iki kat fazla olduğu ve Al alaşımlarda bu işlemlerin sürtünme için etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Turşucular (2023) yaptığı çalışmada, B_4C takviye elemanı ile 6061 Al matris elemanının belirli oranlarla ve toz metalurjisiyle bir araya getirerek radyasyon soğurma özelliklerinin incelenmesi yapılmıştır. İnceleme sonucunda soğurma özelliği en çok olan ve eni iyi kalkan özelliğine sahip olan numunenin %20 katkılı B_4C olduğu sonuçlanmıştır.

Almisned vd. (2023) yaptıkları çalışmada; yeni geliştirilen çok katmanlı $\text{Al}/\text{B}_4\text{C}$ ekranlama kompozitlerinin üretim, tasarım ve deneysel incelemesini ele almışlardır. Yazarlar matris malzeme olarak %99 saflıkta ve ortalama $15 \mu\text{m}$ boyutunda Al toz malzeme, takviye elemanı olarak ise $9 \mu\text{m}$ boyutundaki B_4C tozları kullanılmıştır. Çalışma sonunda geometrik konfigürasyonun çok katmanlı malzemelerin koruma verimliliğinde önemli bir rol oynadığını belirlenmiştir. Ayrıca çalışma için üretilen numuneler arasında $\text{B}_4\text{C}-\text{Al}-\text{B}_4\text{C}$ numunesinin gama ışını ve nötron radyasyonuna karşı gelecek vaat eden koruma özelliklerine sahip olduğu ve katmanların kombinasyonunun, malzemelerin radyasyondan korunma özelliklerinde önemli bir iyileşme sağladığı belirlenmiştir.

Günoğlu vd. (2024) yaptıkları çalışmada, özellikle gama ışını ve nötron zayıflama özelliklerine odaklanarak, çeşitli konsantrasyonlarda Erbiyum Oksit (Er_2O_3) Oksit Dağılımı Güçlendirilmiş (ODS) alaşımlara entegre edilmesinin etkisini incelemişlerdir. Çalışmada matris malzeme olarak 316 çelik malzeme kullanılmıştır. Ağırlıkça %1 ile %21 arasında Er_2O_3 ilave edilmiştir. Çalışma sonunda Er_2O_3 oranı arttıkça gama ışını korumada önemli bir gelişme olduğu göstermekte olup; artan doğrusal zayıflama katsayısı, yükseltilmiş etkili Elektron Yoğunluğu (Neff), azaltılmış Yarı Değer Katmanları (HVL) ve daha yüksek etkili atom numaraları (Z_{eff}) ile niceliksel olarak da kanıtlanmıştır.

Bu tez çalışmasında B_4C takviye elemanlı Ti matrisli kompozit malzemeler ile B_4C oranına bağlı olarak radyasyon absorblama özelliği araştırılması ve sonuçları irdelenmesi amaçlanmıştır. Literatür taramasına da bakıldığında bor ile kaplanmış veya borlama işlemine tabi tutulmuş titanyum malzemelerin radyasyon özellikleri incelenmiştir. Bu tez çalışması toz metalurjisi ile üretilen Titanyum matrisli B_4C katkılı kompozit malzeme olmasından kaynaklı özgün bir çalışmadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Titanyum

Titanyum periyodik tabloda geçiş elementleri grubunda yer almaktadır. Atom numarası 22 olan titanyum gümüş gri metalik beyaz renklerinde görünmektedir. Element olarak doğada fazlaca bulunmaktadır. Yer kabuğunun %0.6'sını titanyum oluşturmaktadır. Ayrıca titanyum Apollo 17 uydusunun aydan getirdiği taşlarda, çeşitli göktaşlarında ve güneşte de bulunduğu saptanmıştır.

Titanyumun ticari yönden kullanılması 1946 yılında ABD maden bürosu tarafından ortaya atılmıştır. Bunun ardından yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı nedeniyle de silahlı kuvvetlerin ilgilendiği bir malzeme olmuştur. Korozyon dayanımına sahip olan titanyum daha düşük maliyetli ama korozyona karşı direnci az olan malzemelerin maliyetli fakat oldukça fazla uzun ömürlü olması nedeniyle önüne geçerek çeşitli denizcilik ve aktif kimyasalların kullanıldığı alanlarda fazlaca kullanılmaya başlamıştır.

Titanyum allotropik malzeme, oda sıcaklığında sıkı düzen hekzagonal kristal yapıda α fazındadır. Saf titanyum α fazından β fazına yaklaşık 885°C 'de dönüşmektedir. β fazında hacim merkezli kübik yapıda olduğu bilinmektedir.

Titanyum parça haline gelene kadar çeşitli aşamalardan geçmektedir. Bunlar;

1. Titanyum cevherinin indirgenerek “sünger metal” denilen haline getirilmesi işlemi,
2. Sünger metalin ingot oluşturabilmek için eritilmesi,
3. İngotların yarı mamullere dönüştürülmek için işlenmesi,
4. Yarı mamul haldeki malzemelerin talaşlı, talaşsız imalat usullerine göre şekillendirilmesi.

Bu işlemler esnasında saf titanyum işlem gördükçe mekanik ve fiziksel özellikleri değişime uğramaktadır. Titanyum bulunduğu ortamdan kolayca etkilenebilen bir yapıya sahiptir.

3.1.2. Bor Karbür

Bor periyodik tabloda yarı metaller grubunda yer alan atom numarası 5 olan elementtir. Atomik kütle /u (Mol kütlesi / g mol⁻¹) 10.81'dir.

Bor doğada diğer elementler ile bileşikler şeklinde bulunmaktadır. Bunlardan biri de Bor Karbürdür (B₄C). SiC, Si₃N₄ ve elmas gibi metal dışı sert malzemeler grubunda yer almaktadır. Bor karbür (B₄C) siyah elmas olarak ta bilinmektedir. Bor karbür sertlik bakımından kübik bor nitrürden sonra gelen üçüncü en sert malzeme özelliğini taşımaktadır. Bor karbür sertliği 29.1GPa, yoğunluğu 2.52 g/cm³, 55.255 g/mol molar kütleyle sahiptir (Suri).

Mükemmel termal iletkenliği bulunan Bor karbür bu özellikleri açısından üstün özelliği ile çoğu yüksek performans uygulamasında sıklıkla tercih edilmektedir. Bunlara tankların zırhlınması, motor sabotaj tozları ve kurşungeçirmez yelekler örnek verilebilmektedir.

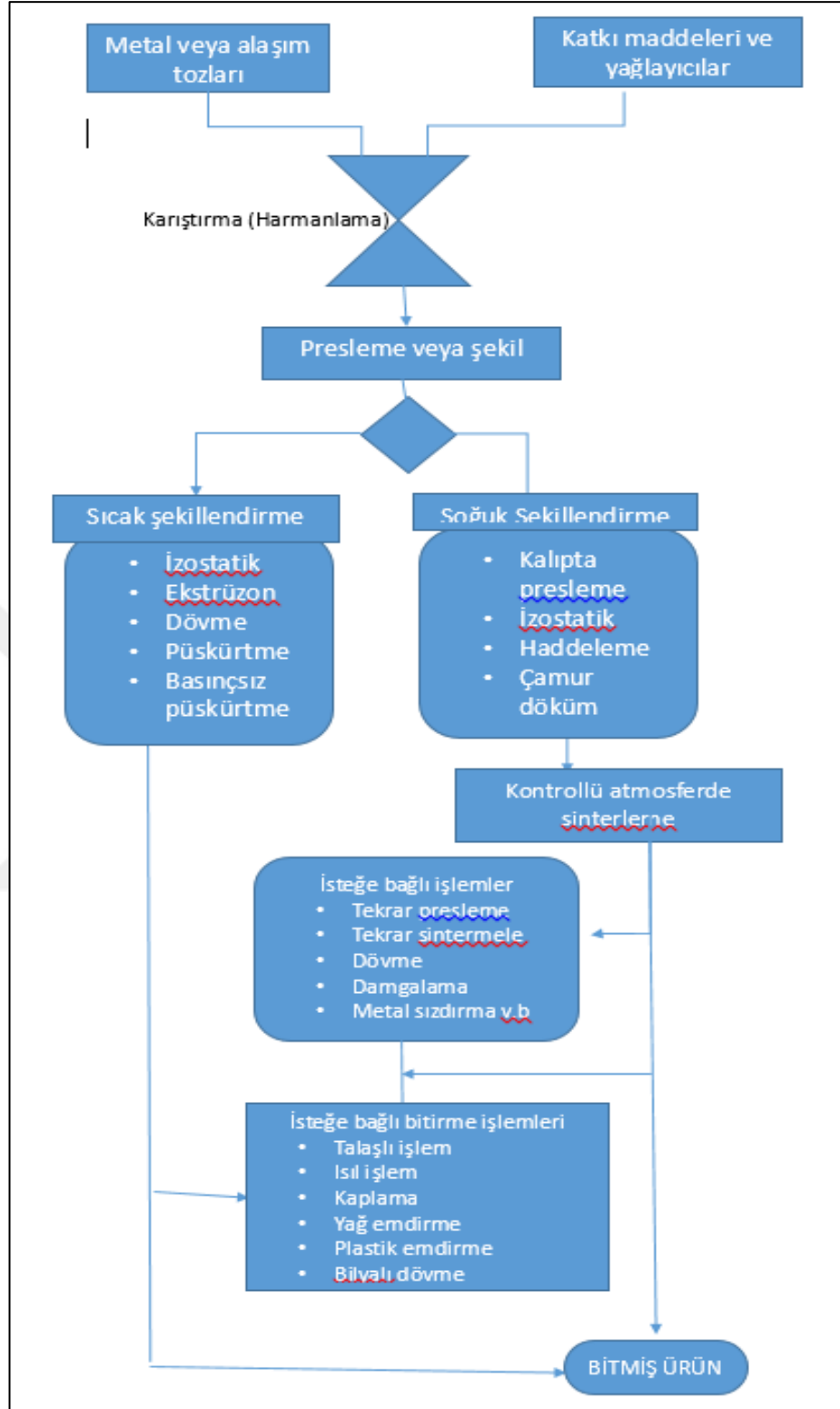
Bor karbür sertliği dışında yüksek elastisite modülü, ısı ve kimyasal kararlılık, darbe dayanımının yüksekliği, korozyon dayanımı niteliklerinde seramik ve kovalent yapıda malzemedir. Ayrıca Bor karbür, ergime noktasının yüksek olması ve ısı dengesinden ötürü alev almaz ve ısı soğuruculuğu özelliğinin aktif olarak kullanılması gereken alanlarda teknik tekstil vb. kullanılmaktadır. Tüm bunlara ek olarak yüksek aşınma direnci nedeniyle aşındırıcı tozlar ile kaplamaların yanında düşük yoğunlukta yüksek sertliğe sahip olmasından dolayı balistik bir performans gösterir. Nükleer uygulamalarda, nötron radyasyon soğurucu olarak kullanılmaktadır. Bor karbür nitelikleri Çizelge 3.1'de verildiği gibidir.

Çizelge 3.1. Bor karbür nitelikleri çizelgesi (Pierson, 1996)

NİTELİKLER	DEĞER
Yoğunluk (gr/cm ³)	2.52
Renk	Siyah
Ergime sıcaklığı (°C)	2 445
Spesifik Isı (J/mol. °K)	50.88
Termal genleşme katsayısı (ppm/°C)	5.73
Sertlik (Knoop 100g) (kg.mm ⁻²)	2 900-3 580
Vickers mikro sertliği (GPa)	31.5
Kırılma Tokluğu (MPa.m ^{-1/2})	2.9-3.2
Elastisite Modülü (GPa)	400-450
Kayma Modülü (GPa)	186.5
Eğme Mukavemeti (25°C’de) (MPa)	345
Çekme Mukavemeti (MPa)	155
Elektriksel İletkenlik (25°C’de)	345
Termal İletkenlik (W/m. °C)	4.3

3.1.3. Toz metalurjisi

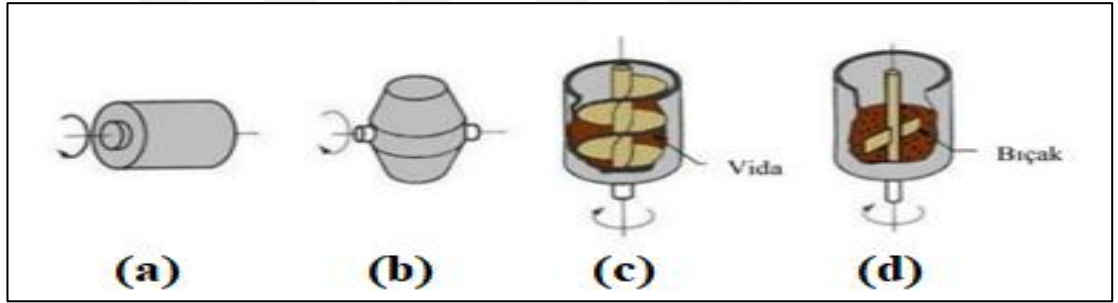
Metal tozları kimyasal, mekanik ve fiziksel olarak 3 farklı yöntem ile üretilebilir. Bu yöntemler ile üretilmiş olan tozların imalatı ve şekil verme süreçlerine Toz metalurjisi (TM) adı verilmektedir. Toz metalurjisinin klasik temel basamakları sırası ile toz üretimi, karıştırma, sıkıştırma (presleme), sinterlemedir Şekil 3.1’de de bu basamaklara ilişkin akış diyagramı verilmektedir.



Şekil 3.1. Toz metalurjisi yöntemi üretim akış diyagramı

Boyutu 1 mm'den daha küçük olarak bölünmüş ince parçalara toz denir. Çeşitli boyutlarda üretimler mevcuttur. Tozun şeklini ve yüzey yapısını içeren toz morfolojisi, toz boyut dağılımları, ortalama toz boyutu ve mikro yapısı, gibi özelliklere bakılarak üretim yapılmaktadır. Bu özellikler diğer üretim safhaları için önem taşımaktadır.

Karıştırma işlemi, istenilen biçim ve ebat gibi özellikteki toz malzemeler yağlayıcılar ve alaşımlar ile birlikte homojen şekle veya istenilen karışım özelliğine gelmesi için yapılan işlemdir. Karıştırma işleminde karıştırılacak tozlara ilave olarak yağlayıcı ilave edilir. İlave edilen yağlayıcı toz taneleri ile kalıp yüzeyinin arasındaki sürtünmeyi azaltarak kolay sıkıştırılmasını sağlamaktadır. Toz metalurjisinde çinko stearat, metalik stearatlar, stearik asit, parafin fazla tercih edilen yağlayıcılardır. Şekil 3.2’de TM yöntemi için kullanılan farklı karıştırma ve öğütme makineleri verilmektedir (Turşucular ve Varol, 2023). Karıştırma işleminde dikkat edilecek en önemli husus karıştırıcının doluluk oranı olup en az %30-40 arasında seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca karıştırma işlem süresi ve devir sayısı ham ve sinterleme sonrası yoğunluğa etki etmektedir. Bu nedenle bu parametrelerin doğru seçilmesi gerekmektedir. Yeterli miktarda karıştırma işlemi yapılmayan numunelerde gözenekli parça imalatına neden olarak mekanik özelliklerde düşüşe neden olacaktır (Turşucular, 2023).



Şekil 3.2. TM yönteminde kullanılan öğütme ve karıştırma makineleri (a) Dönen tambur (b) Dönen çift koni (c) Vidalı mikser (d) Bıçaklı mikser

Sıkıştırma işlemi, parçanın el ile tutulacak istenilen şekil ve büyüklüğe getirilmesi için yapılan işlemdir. Toz malzeme, bir kalıbın içerisinde ve çoğunlukla oda sıcaklığında basınç altında tutulur. Gevşek toz yoğunlaştırılmış olur ve istenilen şekil ve büyüklük elde edilmeye çalışılır.

Sinterleme işlemi, sıkıştırma işleminde elde edilen ham parça kalıptan çıkarılıp yüksek sıcaklık ve koruyucu basınç altında ısıtılma işlemidir. Sinterleme işlemi sırasında çoğunlukla malzeme sıvı fazda olmaz. Bu işlemde en önemli sonuç malzemenin partikülleri arasında gerçek bir metalurjik bağ oluşmasıdır.

Toz metalurjisinin diğ er imalat tekniklerine göre avantajları ş unlardır:

- Bu yöntem ile malzeme üretimi için çok fazla ek işlem yapılmasına gerek kalmaz, Net ş ekle yakın denilen çok az ek işlem gerektiren ya da net ş ekil olarak adlandırılan hiç ek işlem gerektirmeyen parçaların seri üretimi mümkündür.
- Fire malzeme oranı diğ er yöntemlere göre çok düşüktür. %3 oranında fire verilir.
- Toz malzemesi ile istenen düzeyde gaz boşluğu içeren parçalar üretilebilir, bu sayede yağlamalı yataklar, di li malzemeler ve filtreler gibi gözenekleri olan metal parçaların üretimi daha kolaydır.
- Zor ş ekil ve biçim gerektiren malzemelerin üretimi diğ er yöntemler ile oldukça zor iken toz metalurjisi üretilebilir hale gelmektedir.  rneğ n ampul filamentlerindeki tungsten bu ş ekilde üretilmektedir.
- Diğ er yöntemler ile üretimi mümkün olmayan metal alaşımların üretimi toz metalurjisi ile mümkün olabilmektedir.
- Elde edilen ürünlerin boyut ve biçim özellikleri daha kontrollüdür. Bu yöntemdeki toleranslar 0.13 mm aralığına kadar düşmektedir.
- Daha ekonomik üretim için otomasyona uygundur.

Toz metalurjisinin dezavantajları ise ş u ş ekildedir:

- Alet ve ekipman maliyetleri oldukça fazladır.
- Toz metaller yüksek maliyetlidir.
- Tozlar belirli zamandan sonra bozulmaktadır, bunun dışında bazı metal tozları yanıcı özelliktedir. Bu gibi özelliklerinden dolayı kullanımı ve saklanması güçtür.
- Metal tozları kalıp üzerinde kolayca akmamaktadır.
- Preslenen malzeme kalıptan çıkarılması güçtür. Bu nedenle presleme işlemi yapmadan önce önlem alınması gereklidir. Çıkarılma olayındaki bu güçlük üretilebilecek parçaların geometrik ş ekilleri kısıtlıdır.
- Yoğ nluk parça kesiti boyunca değişkenlik gösterebilmektedir.

3.1.3.1. Toz karıştırma ve harmanlama

Başarılı bir şekilde parça üretimi yapılabilmesi için harmanlama işleminin mümkün olduğunca homojen olması gerekmektedir. Bu işlem sadece farklı tozların birleştirilmesinde değil aynı tipteki tozların tane boyutlarının da homojen olabilmesi için yapılan bir işlemdir. Farklı tane boyutundaki tozlar arasında porozite oluşmasını önlemek amaçlı harmanlama işlemi yapmak önemlidir.

Karıştırma ve harmanlama işlemi mekanik bir işlemdir. Tambur içinde karıştırma, çift koni şeklinde karıştırıcı ile döndürme, vidalı karıştırıcıda karıştırma ve bıçaklı karıştırıcıda karıştırma gibi dört farklı mekanik karıştırıcı yöntemi bulunmaktadır.

Karıştırma işleminde homojen olmak önemlidir. Fakat karıştırma işleminin uzun tutulması halinde toz taneciklerinin kırılmasına böylelikle küreselleşme ve deformasyon oluşmasına sebep olabilmektedir. Bu tozun sıkışma özelliğini azaltmaktadır. Şekillendirme esnasında daha fazla soğuk işlem gerektirebilmektedir.

Karıştırma esnasında bir sonraki işlem olan sıkıştırma işlemine de yardımcı olmak adına toz parçacıkları arasına yağlayıcılar, bağlayıcılar ve yapışma önleyiciler kullanılabilmektedir. Yağlayıcılar alüminyum stearat, çinko stearat gibi, sıkıştırma esnasında sürtünmeyi azaltmak için az miktarda kullanılır. Bağlayıcılar ise, yeterli mukavemeti elde edebilmek için kullanılır. Tozlar daha iyi akma özelliği gösterebilmesi ve topaklanmasını önlemek için sıkıştırma esnasında yapışma önleyiciler eklenir.

3.1.3.2. Sıkıştırma işlemi

Toz metaller kullanılacağı uygun şekle dönüştürülmesi için uygun karışım oluşturulduktan sonra parçanın kendi ağırlığını taşıyabileceği kadar yoğunluk kazanması için sıkıştırma işlemi yapılmasıdır.

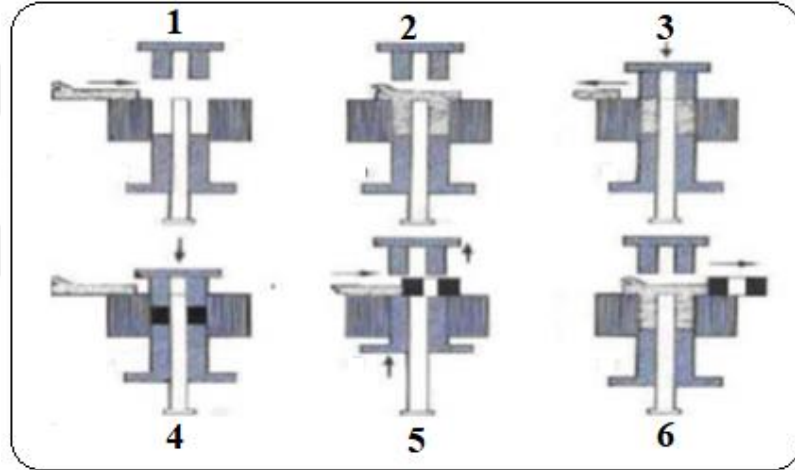
Tozların sıkıştırıldıktan sonraki haline ham parça adı verilmektedir. Sıkıştırılan parçanın sıkıştırılabilirliği malzemenin yumuşaklığı ile doğru orantılıdır. Ek olarak toz

metalin tanecikleri arasındaki ve tanecikler ile kalıp arasındaki sürtünme, toz içindeki porozite ve toz boyut dağılımı sıkıştırılabilirliği etkileyen bir diğer faktördür.

Kalıp ile sıkıştırma işleminin üç aşaması bulunmaktadır.

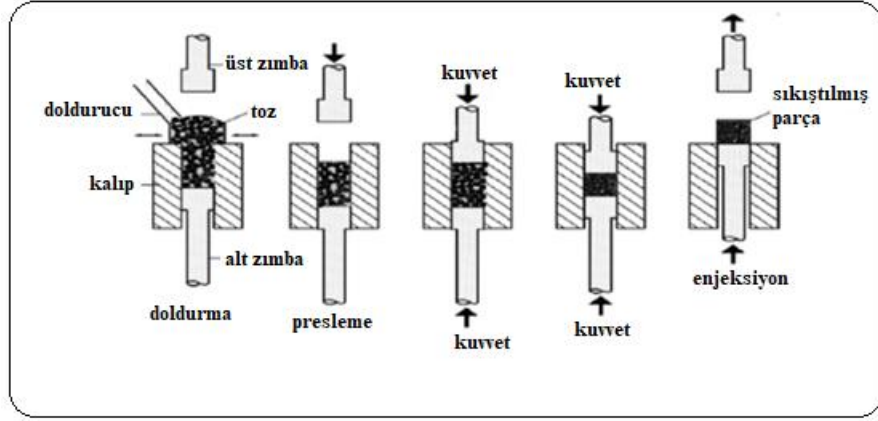
1. Belirli ölçüdeki metal tozunun kalıba doldurulması,
2. Bir yük yardımı ile metal tozunun sıkıştırma işleminin uygulanması,
3. Şekil almış parçanın kalıptan ayrılmasıdır.

Sıkıştırma işlemi tek hareketli veya çift hareketli sıkıştırma olmak üzere 2'ye ayrılır. Tek yönlü sıkıştırma işleminde sadece üst baskı plakası ile tozlar sıkıştırılır. Alt piston parçanın kalıptan ayrılmasında kullanılır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Tek yönlü sıkıştırma aşamaları (1) besleme ayağının kalıba yaklaşması (2) besleme (3) presleme (4) karışımın tamamen sıkıştırılması (5) parçanın kalıptan çıkarılması (6) yeniden besleme (Söyler, 2007)

Çift yönlü sıkıştırma işleminde ise kalıba doldurulan toz üst ve alt zımba kullanarak aynı anda sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi sonrası parça alt zımbanın yukarı doğru hareket ettirilmesiyle kalıptan ayrılır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Çift eksenli sıkıştırma işleminin şematik hali (Erdemir, 2011)

Sıkıştırma işleminde basınç hidrolik veya mekanik pres kullanılarak oluşturulmaktadır. Mekanik pres; 10 ile 150 ton arasında 6-150 stork/dakika hız ile sıkıştırma işlemi gerçekleştirir. Yüksek hızda ve basit çalışma sağlar. Tasarımda ve çalışmada esnekliği vardır. Hidrolik pres ise 5 bin ton yükü 20 stork/dakika hız ile sıkıştırma işlemi elde edilmesini sağlar. Ebat olarak büyük ya da karışık şekilli parçaların sıkıştırılmasında kullanılan bir pres çeşididir.

Sıkıştırma işlemi genelde soğuk, ılık ve sıcak izostatik presleme şeklinde uygulanmaktadır. Bu yöntemler ile yoğunlaştırma daha da artırılabilir. Ilık presleme işleminde esas amaç ham yoğunluğun artırılması olup; kalıp ve toz sıkıştırma işlemi öncesinde ısıtılarak elde edilir. Bu işlemde kalıp ve toz 150°C'ye kadar ısıtılır ve sıkıştırma basıncı olarak 700 MPa seçilir (Altuntaş, 2013). Sıkıştırma işlemi; haddeleme, metal kalıplarda presleme ve izostatik sıkıştırma işlemi olarak sınıflandırılabilir.

3.1.3.3. Haddeleme

Haddeleme işlemi şerit, çubuk gibi geometrik şekli basit olan parçaları üretmek için kullanılan bir yöntemdir. Hadde iki aynı yöne döndürülen silindirik malzemedir. Haddeler yatay veya düşey olarak farklı konumlarda uygulama yapılabilir. Hadde silindirinin arasına çıkacak ürünün özelliğine göre basınç uygulayacak ilk madde olan toz metaller eklenir ve hadde silindirlerin arasında sıkıştırılarak geometrik şeklini alır. Ardından silindirlerin sonuna eklenen fırın yardımı ile pişirme ve sıcak haddeleme işlemi uygulanarak kullanılacak materyal imal edilir.

3.1.3.4. Metal kalıplarda sıkıştırma

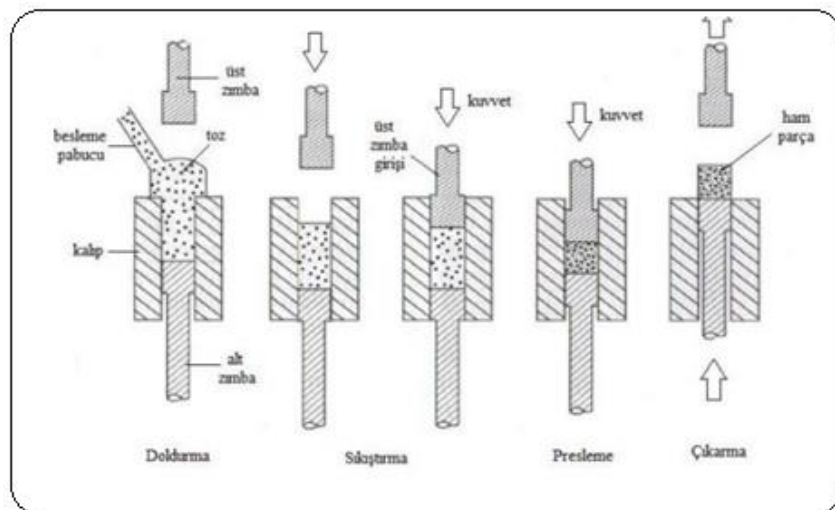
Metal kalıplarda sıkıştırma yönteminin kullanımı oldukça yaygındır. Yüksek oranda ham yoğunluk değerlerine ulaşabilmek için mekanik ya da hidrolik presler rijit kalıplar kullanılmaktadır. Sıkıştırma sürecinde yoğunluğun artması ve yükün tatbiki için ilk önce metal tozları çeşitli yer değişimleri yaparak ilk halinde daha yoğun paketlenme oluşturur. Ardından sıkışma ve yükün artımı ile metal tozları önce elastik sonra plastik şekil değişimi gerçekleştirir. Son olarak tatbik edilen yük oldukça yüksek değerlere ulaştığında, gevreyen tozlar kırılarak küçük tozların oluşumunu gerçekleştirmiş olur.

Şekillendirme yöntemi belirlenirken şu faktörler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Rijit kalıp kullanımı,
- Toz morfolojisi,
- Yağlayıcı ve bağlayıcı kullanımı,
- İmal edilecek parçalar için istenenlere göre fiziksel, termal, mekanik özellikler

3.1.3.5. Tek eksenli sıkıştırma

Ham parça imalatı için bir diğer yöntem de tek eksenli sıkıştırma yöntemidir. Tek eksenli sıkıştırma işlemi Şekil 3.5'te verilmektedir.



Şekil 3.5. Tek eksenli presleme yöntemi kullanılarak ham parça imalat aşamaları (German, 2007)

Bu yöntemin aşamaları ise;

- Toz malzeme sıkıştırılmak için kalıp içine konulur,
- Üst zımba hazırlanır ve ilk sıkıştırma işlemi gerçekleşmeye başlar,
- Erişilmesi hedeflenen basınç değeri kadar toz yavaşça sıkıştırılır.
- Üst zımba geri çekilir, alt zımba parçayı ittirir.

Bu şekilde hazır durumdaki parça, kalıp aşınmasını da önlemek amacıyla yağlayıcılar ile parça çıkarılır.

3.1.3.6. Tozların sinterlenmesi

Birbirlerine temas halinde olan taneciklerin yüksek sıcaklık değerlerinde birbirlerine bağlanmasını sağlayan ısı işleme sinterlenme denir. Tanecikler, sinterlenecek materyalin ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıktaki katı haldeki atomların hareketi ile bağlanır. Sinterleme süreci, sıkıştırılmakta olan tozların, ebatlarını ve porozite oranını değiştirip tozları dayanıklı şekilde bağlanmasını sağlamaktadır. Sinterlemede kullanılan toz karışımları, tek tip materyal ise tek bileşenli sistem, birden fazla tipteki materyal ile yapılıyorsa çok bileşenli sistem şeklinde adlandırılır. Tek bileşenli tozları sinterlenirken, sinterleme sıcaklığı $T_s = 0.8T_m$ şeklinde kullanılabilir. Bu eşitlikteki T_m ergime sıcaklığı ve T_s sinterleme sıcaklığıdır. Çok bileşenli sistemde sinterleme sıcaklığı bileşenlerin birinin ergime sıcaklığından biraz düşük ya da biraz yüksek olarak kabul edilmesi uygun görülmüştür.

Sinterleme sırasında, sinterleme sıcaklığına bağlı olarak; yüzeysel ve hacimsel difüzyon ya da adezyon ile taneler arası bağ oluşur. Sıcaklığa bağlı olarak sinterleme işleminde, porozitenin azalımı ve porozite oranının azalması, taneler arası temas yüzeyinin artması gibi iki farklılık oluşmaktadır.

3.1.4. Deney numunelerinin hazırlanması

Tez çalışmasında kullanılacak kompozitler Ti matris malzemeli ve B₄C takviye malzemeli olup toz metalurjisi yöntemiyle elde edilecektir. Çalışmada takviye elemanı

(B₄C) oranı değiştirilerek farklı kompozitler hazırlanacaktır. Bu amaçla %5, %10, %15, %20, %30, %50 oranlarında takviye elemanı kullanılarak kompozit numuneler üretilecektir. Üretilen numunelerin radyasyon soğurma özellikleri belirlenecektir. Bunun yanında B₄C oranına göre iç yapı ve sertlikteki değişimler belirlenecektir. Çalışma sonunda radyasyon zırhlama açısından optimum B₄C yüzdesi üretim parametreleri belirlenmiş olacaktır.

Çalışma için numune hazırlık aşamasında ilk olarak amaçla %5, %10, %15, %20, %30, %40 içeren Ti matrisli 6 adet numune ve sadece Ti'den oluşan 1 adet numune ile toplam 7 adet numune için hazırlanması gereken toz kütleleri bileşen oranlarına göre hesaplanma işlemi gerçekleştirilir.

Aşağıda sırasıyla her bir karışım yüzdesine göre ilgili toz kütlelerinin bulunmasına yer verilmiştir (Denklem (3.1)'den sırayla Denklem (3.25)'e kadar). Bu hesaplamalarda Saf Ti %95'lik, karışımlarda %93'lük bir sıkıştırma esnasına karşı direnç göstereceği ön görülerek, sıkıştırma oranına göre hesaplanmıştır.

Çap: 35 mm

Kalınlık: 6 mm

$$\rho_{Ti} = 4.5 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\rho_{B_4C} = 2.55 \frac{gr}{cm^3}$$

$$V = 0.35 \times 0.6 \times \pi = 5.77 \text{ cm}^3 \quad (3.1)$$

- **Saf Ti**

$$m_{toz} = 0.95 \times 5.77 \times 4.5 = 24.67 \quad (3.2)$$

- **%95 Ti %5 B₄C**

$$\rho = \frac{95+5}{\frac{95}{4.5} + \frac{5}{2.55}} = \frac{100}{21.11+1.96} = \frac{100}{23.07} = 4.33 \frac{gr}{cm^3} \quad (3.3)$$

$$m_{toz} = 0.93 \times 5.77 \times 4.33 = 23.23 \text{ gr} \quad (3.4)$$

$$m_{Ti} = 23.23 \times 0.95 = 22.07 \text{ gr} \quad (3.5)$$

$$m_{B_4C} = 23.23 - 22.07 = 1.16\text{gr} \quad (3.6)$$

- **%90 Ti %10 B₄C**

$$\rho = \frac{90+10}{\frac{90}{4.5} + \frac{10}{2.55}} = \frac{100}{20+3.92} = \frac{100}{23.92} = 4.18 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \quad (3.7)$$

$$m_{\text{toz}} = 0.93 \times 5.77 \times 4.18 = 22.43\text{gr} \quad (3.8)$$

$$m_{\text{ti}} = 22.43 - 0.9 = 20.19\text{gr} \quad (3.9)$$

$$m_{B_4C} = 22.43 - 20.19 = 2.24\text{gr} \quad (3.10)$$

- **%85 Ti %15 B₄C**

$$\rho = \frac{85+15}{\frac{85}{4.5} + \frac{15}{2.55}} = \frac{100}{18.89+5.88} = \frac{100}{24.77} = 4.03 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \quad (3.11)$$

$$m_{\text{toz}} = 0.93 \times 5.77 \times 4.03 = 21.62\text{gr} \quad (3.12)$$

$$m_{\text{ti}} = 21.62 \times 0.85 = 18.37\text{gr} \quad (3.13)$$

$$m_{B_4C} = 21.62 - 18.37 = 2.24\text{gr} \quad (3.14)$$

- **%80 Ti %20 B₄C**

$$\rho = \frac{80+20}{\frac{80}{4.5} + \frac{20}{2.55}} = \frac{100}{17.78+7.84} = \frac{100}{25.61} = 3.9 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \quad (3.15)$$

$$m_{\text{toz}} = 0.93 \times 5.77 \times 3.90 = 20.92\text{gr} \quad (3.16)$$

$$m_{\text{ti}} = 20.92 \times 0.8 = 16.74\text{gr} \quad (3.17)$$

$$m_{B_4C} = 20.92 - 16.74 = 4.18\text{gr} \quad (3.18)$$

- **%70 Ti %30 B₄C**

$$\rho = \frac{70+30}{\frac{70}{4.5} + \frac{30}{2.55}} = \frac{100}{15.56+11.76} = \frac{100}{27.32} = 3.66 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \quad (3.19)$$

$$m_{\text{toz}} = 0.93 \times 5.77 \times 3.66 = 19.64\text{gr} \quad (3.20)$$

$$m_{\text{ti}} = 19.64 \times 0.7 = 13.75\text{gr} \quad (3.21)$$

$$m_{B_4C} = 19.64 - 13.75 = 5.89\text{gr} \quad (3.22)$$

- **%60 Ti %40 B₄C**

$$\rho = \frac{60+40}{\frac{60}{4.5} + \frac{40}{2.55}} = \frac{100}{113.33+15.68} = \frac{100}{27.3229,01} = \frac{3.66\text{gr}}{\text{cm}^3} \quad (3.23)$$

$$m_{\text{toz}} = 0.93 \times 5.77 \times 3.66 = 19.64\text{gr} \quad (3.24)$$

$$m_{\text{ti}} = 19.64 \times 0.7 = 13.75\text{gr} \quad (3.25)$$

$$m_{\text{B}_4\text{C}} = 19.64 - 13.75 = 5.89\text{gr} \quad (3.26)$$

Çalışmada %99 saflıkta 0-100 µm boyutunda Ti ve B₄C tozları kullanılmıştır. Tozlar hesap edilen miktarda hassas terazide tartılarak alınır ve karışım oluşturmak için karıştırıcıya konulur. Numune üretimi B₄C takviye elemanı ile Ti matris malzemelerinin homojen şekilde karıştırılabilmesi için ZrO₂ bilyeler ile birlikte çelik bir kaba koyulması ile başlamaktadır. Tozlar daha sonra planet değirmende 60 dk boyunca 300 dev/dk hızla 5:1 kütle oranıyla karıştırılır. Bununla birlikte kalıbın sıkıştırma işlemi öncesi iç yüzeyinin temizlenmesi gerekmektedir. Temizleme işlemi için kalıp yüzeyi etil alkol ile temizlenir. Temizlenen yüzey katı yağlayıcının çözündürülmesi ile elde edilen sıvı ile yağlanarak sıkıştırma esnasında toz-kalıp yüzey etkileşimi aza indirgenmesi sağlanır. Çalışmada kullanılan kalıp Şekil 3.6'da verilmektedir.



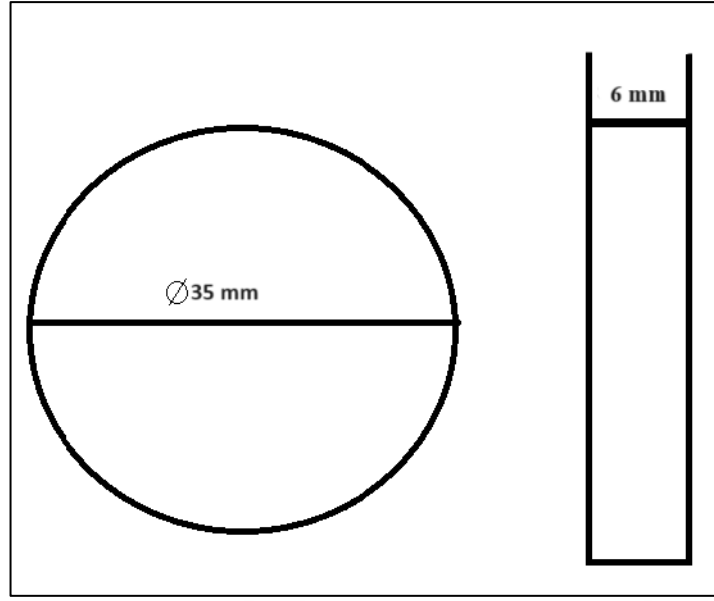
Şekil 0.6. Numune üretimi sırasında kullanılan kalıp örneği

Karıştırılan tozlar daha sonra tek etkili pres ile soğuk sıkıştırma işlemine tabi tutulur. Presleme için kullanılan tek etkili hidrolik pres ve kalıbın konumu Şekil 3.7’de verilmektedir.



Şekil 3.7. Kalıp sıkıştırma işlemi

Daha sonra tozlara nihai boyut, şekil ve mekanik özellik kazandırmak için sinterleme işlemi uygulanmaktadır. Sinterleme işlemi argon gaz ortamında vakum fırın içerisinde yapılacaktır. Sıkıştırma işlemi sonrasında numuneler 35 mm çap ve 6 mm yükseklikte olacaktır (Şekil 3.8). Sinterlenen numuneler sertlik ölçümleri ile iç yapı incelemeleri yapılacaktır.



Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan şekil ve boyutları

3.1.5. Radyasyon ölçümlerinin yapılması

Radyasyon bilindiği üzere duyu organları tarafından algılanamamaktadır. Bu yüzden de radyasyonu ölçebilmek için hassas cihazlar bulunmaktadır. Bu cihazlar radyasyonun maddeler ile etkileşimi prensibine bağlı olarak ölçüm yapmaktadır. Bu şekilde ölçüm yapan cihazlara radyasyon dedektörü adı verilmektedir. Radyasyon, maddenin içinden geçtiği esnada madde atomu veya molekülüyle etkileşip enerjisinin bir bölümü veya tamamını etkileşim ortamında kimyasal, fotokimyasal, iyonizasyon ve benzeri olaylardan dolayı kaybetmektedir.

Doğrusal zayıflatma katsayısı tayini için Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Fizik bölümü bünyesinde bulunan NaI(Tl) dedektörlü gama spektroskopi sistemi, NIM modülü ve MAESTRO-32 spektrum analiz yazılımı kullanılacaktır. Sisteme ek olarak ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoaktif kaynakları deneysel çalışmalarda gama kaynağı olarak kullanılacaktır. Çalışmada radyasyon ölçümlerinde 3 farklı gama enerjisi kullanılmıştır.

3.1.6. Lineer zayıflatma katsayısının ölçümü

Lineer zayıflatma katsayısı (LAC) (μ), her atomun toplam gama etkileşme olasılığı; compton saçılması, fotoelektrik etki ve çift oluşumu etkileşimlerinin gerçekleşme

olasılığının toplamıdır (Hubble, 1982). Başka bir ifade ile lineer zayıflatma katsayısı; her bir çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığı olan radyoaktif bozunma sabiti (λ) ile eş anlamlı olan soğurucu ortamda birim uzunluk başına meydana gelen etkileşim olasılığı olarak açıklanabilir (Martin, 2006).

Denklem (3.27)'de t kalınlığındaki bir soğurucudan geçen dar bir foton demetinin şiddetindeki değişim verilmektedir.

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (3.27)$$

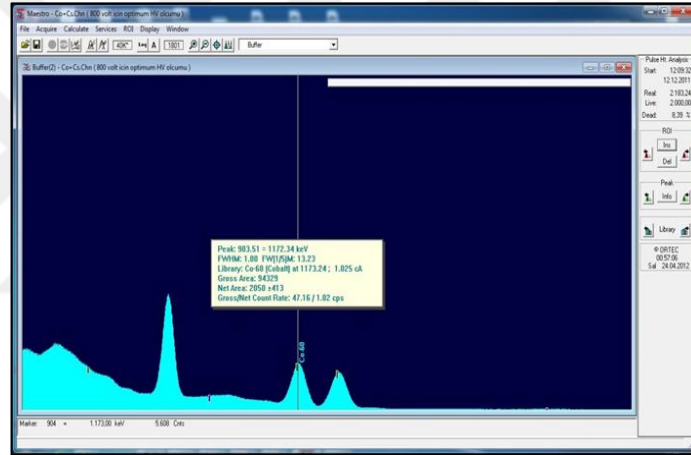
Burada I malzemeden çıktıktan sonraki radyasyon şiddeti, I_0 malzemeye gelen radyasyon şiddeti t: malzeme kalınlığı, ve μ : toplam zayıflatma katsayısı olup fotoelektrik (τ), Compton (σ) ve çift oluşum (κ) katsayılarının toplamıdır ($\mu=\tau+\sigma+\kappa$). Lineer zayıflatma katsayısının birimi 1/cm'dir.

3.1.7. NaI(Tl) dedektörlü gama spektroskopi sistemi

Radyoaktif kaynaktan çıkan ışınların NaI(Tl) dedektörü ile etkileşim yapan gama radyasyonunun oluşturduğu atmaların anlamlı sayısal sinyallere dönüştürmek için elektronik cihazlara ihtiyaç vardır. Bu sinyalleri analiz etmek için yazılıma da ihtiyaç vardır. Dedektördeki radyasyon tarafından üretilen sinyal, bir yükseltici kullanılarak güçlendirilir ve şekillendirilir ve çok kanallı bir analizöre sahip bir DSPEC LF modülüne gönderilir. 16384 kanallı DSPEC LF modülü tarafından dijital formata dönüştürülen bilgiler, MAESTRO-32 yazılımı kullanılarak ekranda spektrum olarak görüntülenir. Gama radyasyonu spektrumunun oluşturduğu tepe noktaları Gauss eğrisi şeklindedir. Enerji başına sinyal sayısı ve kanal sayısı yazılım tarafından kaydedilir. Sistem yüksek voltaj ünitesinden güç almaktadır. Bu cihaz tarafından 750 V'lık bir dedektör çalışma voltajı sağlanmaktadır. Şekil 3.9'da DSPEC LF ile yüksek gerilim modülü ve Şekil 3.10'da MAESTRO-32 yazılımıyla elde edilen örnek bir spektrum gösterilmiştir.



Şekil 3.9. DSPEC LF modülü (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta)



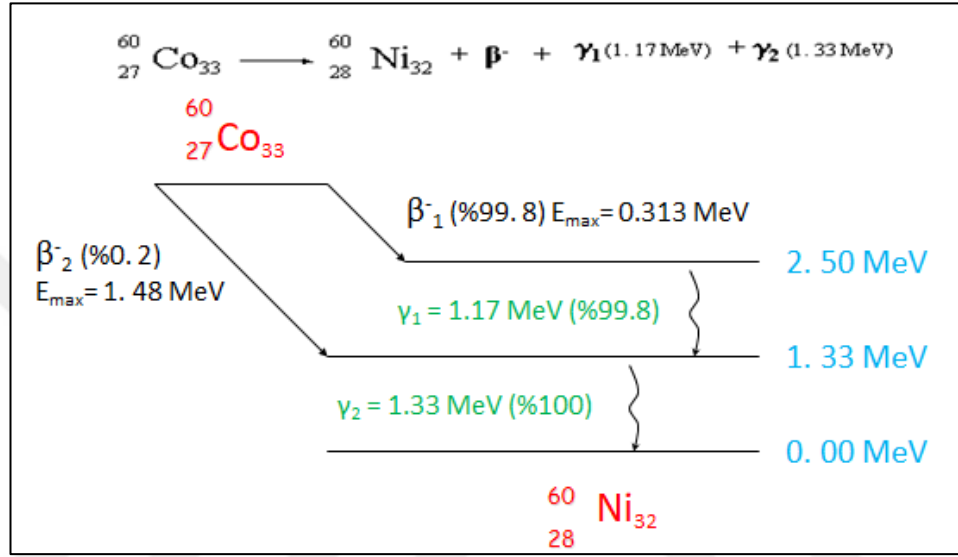
Şekil 3.10. MAESTRO-32 yazılımı ile elde edilmiş örnek spektrum

3.1.8. Radyoaktif kaynaklar

Deneysel çalışmalarda ‘Spectrum Techniques’ firmasından temin edilen iki farklı radyoaktif kaynak kullanılmıştır. Bu kaynakların ikisi de 1 μ Ci aktiviteye sahip ^{60}Co ve ^{137}Cs radyoaktif izotoplar olup birer β - yayıcıdır. Ürün çekirdekler (Co için ^{60}Ni (Nikel) ve Cs (Sezyum) için ^{137}Ba (Baryum 137) kararsız yapıdadırlar ve γ ışıması yaparak fazla enerjilerini verirler. ^{60}Co 0.1 ns aryla 1173 keV ve 1332 keV enerjili, ^{137}Cs 662 keV enerjili fotonlar yayar. Bu deneysel çalışmada üç farklı gama enerjisi kullanılmıştır. ^{60}Co ve ^{137}Cs radyoaktif kaynaklarının bazı özellikleri Çizelge 3.2’de verilmekte, ^{60}Co kaynağının bozunma şeması ise Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Kullanılan radyoaktiflerin bazı özellikleri

	Yarı ömür	Bozunma modu	γ enerjisi	Aktivite	Ürün çekirdek
^{60}Co	5.27 yıl	β^-	1173 keV-1332 keV	1 μCi	^{60}Ni
^{137}Cs	30.1 yıl	β^-	662 keV	1 μCi	^{137}Ba

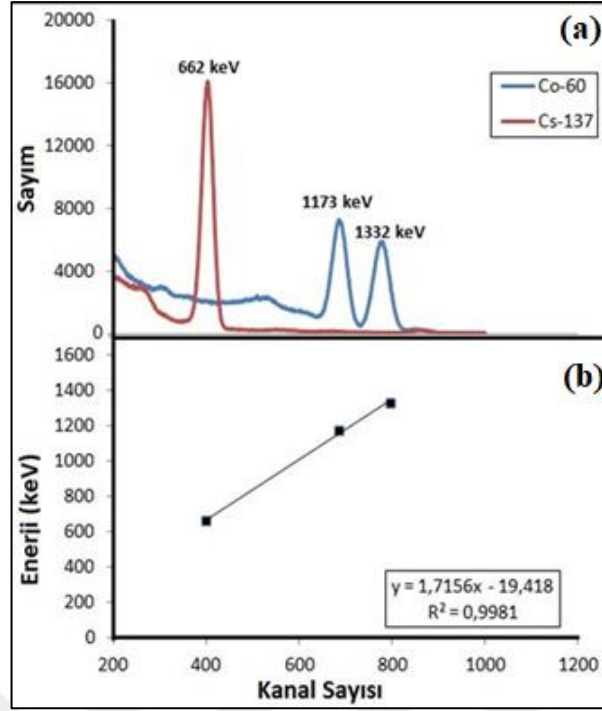


Şekil 3.11. ^{60}Co 'e ait bozunma şeması

3.1.9. Dedektörün enerji kalibrasyonu

Dedektörün belirli bir radyasyon enerjisi karşısında gerekli cevabı verebilmesi için ölçüm cihazının ilk olarak bu enerji karşısında vermesi gereken cevap cihaza tanıtılır. Kalibrasyonda enerjisi bilinen bir radyasyon kaynağı kullanılır. Çalışmada kullanılan NaI (Tl) dedektörünün kalibrasyonu, standart radyasyon kaynakları ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1173 keV- 1332 keV) kullanılarak yapılmıştır.

MAESTRO-32 yazılımı ile dedektöre her iki kaynak için eşit zaman dilimlerinde spektrumlar alınan ve spektrumlardaki gama enerjilerinin karşılığındaki kanal numarası tanıtılır. Şekil 3.12'deki iki kaynağa ait tepe noktaları ve karşılığındaki enerji kanal fitini göstermektedir.



Şekil 3.12. Çalışmadaki kaynakların enerji spektrumları (a) ve enerji-kanal fiti (b)

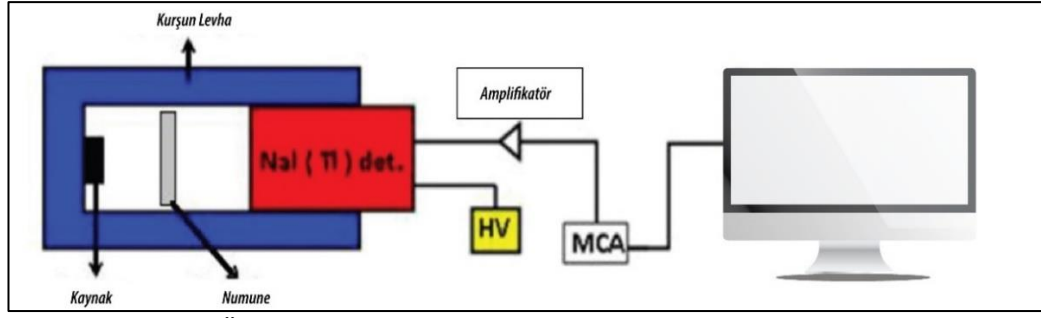
3.1.10. Zayıflatma katsayısının deney yoluyla elde edilmesi

Hem X-ışını hem de γ -ışını testleri kapsamında inceltilmiş bir radyasyon demetinin bir engelle etkileşiminden sonra zayıflayan demet şiddeti, Denklem (3.27)'de verilen Beer-Lambert Yasası ile değişmektedir.

$$\mu = \frac{1}{t} \ln \frac{I_0}{I} \quad (3.27)$$

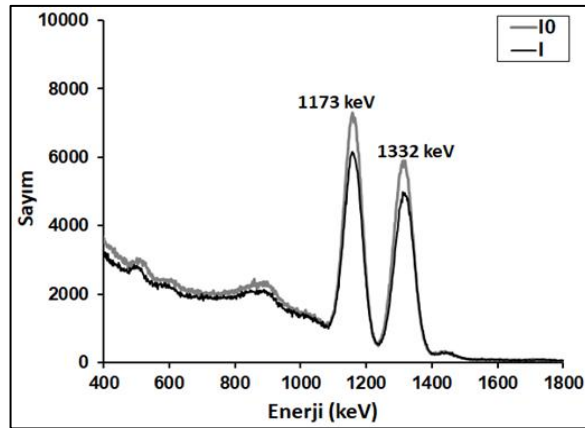
Bu denklemde, toplam zayıflatma katsayısı (μ)

ifadesiyle hesaplanır. Denklemde t soğurucu maddenin santimetre biriminden kalınlığını, I_0 ve I , sırasıyla zayıflatılmamış ve zayıflatılmış radyasyon demeti şiddetini göstermektedir. Dolayısıyla $\mu = \mu(t, I_0, I)$ olacak biçimde üç değişkenli bir fonksiyondur. Ölçümlerdeki amaç Denklem (3.27)'deki üç değişkenin deneysel olarak belirlenmesidir. Şekil 3.13'te ölçümler için ince demet geometrisine uygun olacak biçimde hazırlanmış olan deney düzeneği gösterilmiştir (Turşucular, 2023).



Şekil 3.13. Ölçümlerde kullanılan kaynak-malzeme-dedektör düzeneği

Deneylerde ilk olarak örneklem ölçümü olarak bilinen I_0 ölçümü yapılmıştır. Bunun için radyoaktif kaynak ve dedektör arasında malzeme yokken kaynağın radyasyon şiddeti önceden belirlenmiş bir zaman dilimi boyunca ölçülmüştür. Tüm malzemeler için alınan bu I_0 örneklem ölçümü kullanılmıştır. Daha sonra kaynak ile dedektör arasına zayıflatma deneyine tabi tutulacak olan malzemeler konularak malzeme tarafından zayıflatılmış radyasyon şiddetini temsil eden I şiddeti için ölçüm yapılmıştır. Deneylerde, ölçüm geometrisinin ve tüm numuneler için ölçüm sürelerinin aynı olmasına özen gösterilmektedir. Şekil 3.14'te gama ışın şiddetine örnek spektrum olarak ^{60}Co kaynağından MAESTRO-32 spektrum analiz yazılımı yardımıyla alınan zayıflatılmış (I) ve zayıflatılmamış (I_0) verilmiştir. Spektrumda kaynağın 1173 ve 1332 keV enerjili tepe noktalarının her ikisi de Gauss dağılımına uymaktadır.



Şekil 3.14. ^{60}Co kaynağı için zayıflatılmamış (I_0) ve zayıflatılmış (I) gama ışını spektrumları

Bir malzemenin farklı gama enerjileri kullanılması durumundaki radyasyon kalkanı olarak performansını belirlemek için kullanılan parametrelerden birisi de ortalama serbest yol (MFP) olarak ifade edilir. MFP kalkan malzemesi ile bir gama

radasyonunun etkileşime girmeden önceki kat edeceği ortalama mesafeye denir ve Denklem (3.28)'de verildiği gibi hesaplanır.

$$\text{MFP } (\lambda, \text{ cm}) = \frac{1}{\mu} \quad (3.28)$$

Yarı değer katmanı (HVL) gama radyasyonu için kalkan olarak kullanılacak bir malzemenin radyasyon zayıflatma etkisini belirleme amacıyla kullanılmaktadır. HVL zayıflatılmış radyasyon yoğunluğunun gelen radyasyon yoğunluğuna karşılık gelen kalkan malzemesine ait kalınlığı olup Denklem (3.29) ile hesaplanmaktadır.

$$\text{HVL } (X_{1/2}, \text{ cm}) = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (3.29)$$

Onuncu Değer Katmanı (TVL) kalkan malzemesi kalınlığı olup; zayıflatılmış radyasyon yoğunluğunun gelen radyasyon yoğunluğunun onda birine karşılık gelmekte ve Denklem (3.30) kullanarak hesaplanmaktadır.

$$\text{TVL } (X_{1/10}, \text{ cm}) = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (3.30)$$

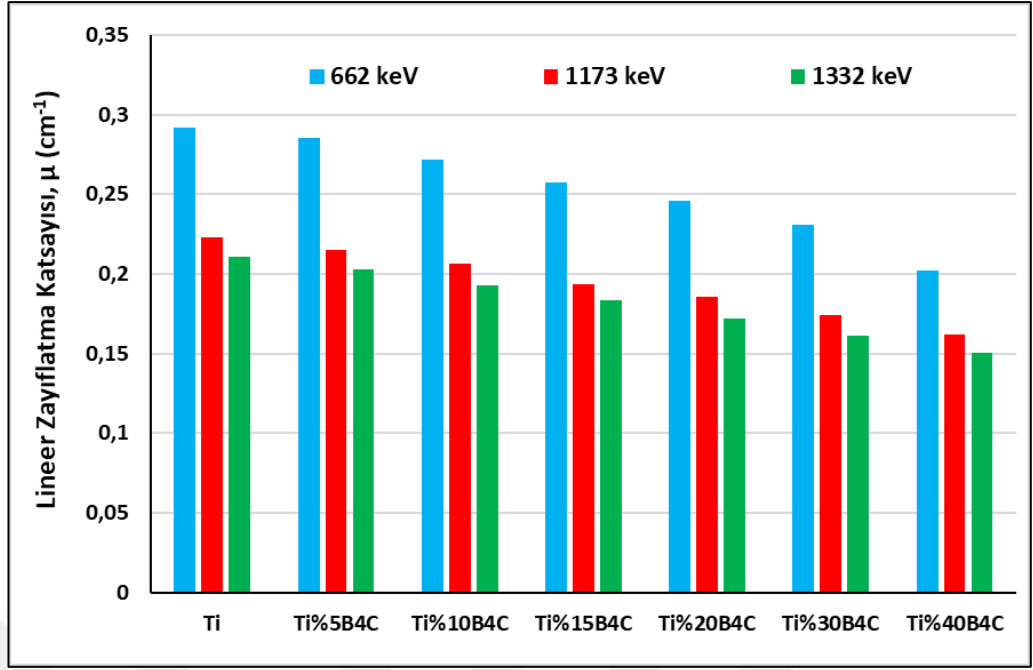
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında %5, %10, %15, %20, %30, %40 oranlarında B₄C takviye elemanı kullanılarak kompozit numuneler üretilmiştir. Toz metalürjisi yöntemiyle hazırlanan numunelerin radyasyon özelliklerini belirlemek amacıyla radyasyon deneyleri yapılmıştır. Radyasyon deneyleri için Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü bünyesindeki Gamma Spektroskopi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneyel çalışmalarda NaI (TI) detektörü, NIM modülü ve MAESTRO-32 spektrum analiz yazılımından oluşan bir sistem kullanılmıştır. Çalışmada gama soğurma özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla ⁶⁰Co ve ¹³⁷Cs olmak üzere iki adet radyoaktif kaynak ve 3 farklı gama enerjisi kullanılmıştır. Çizelge 4.1'de üretilen örneklerin her birine ait numune kalınlık ve kütle değerleri verilmektedir.

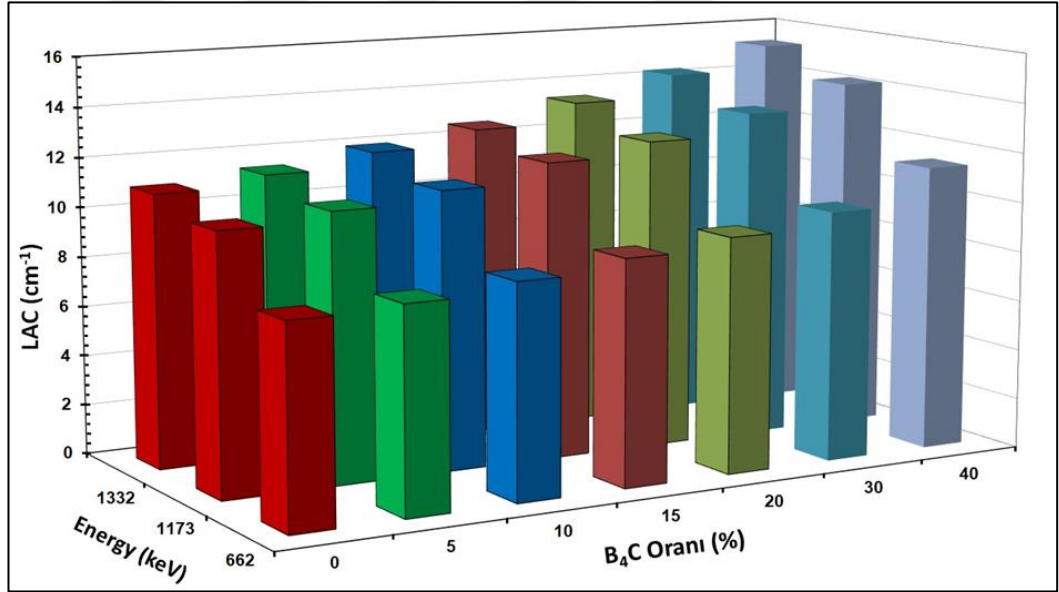
Çizelge 4.1. Çalışmada imal edilen ham numunelerin ölçülen kütle ve kalınlık değerleri

Numunelerin Bileşen Yüzdeleri (%)	Ölçülen Numune Kalınlıkları (mm)	Ölçülen Numune Kütleleri (gr)
%100 Ti	6.5 mm	24.67 gram
%95 Ti + %5 B ₄ C	6.5 mm	23.23 gram
%90 Ti + %10 B ₄ C	6.3 mm	22.43 gram
%85 Ti + %25 B ₄ C	6.5 mm	21.62 gram
%80 Ti + %20 B ₄ C	6.6 mm	20.92 gram
%70 Ti + %30 B ₄ C	6.7 mm	19.64 gram
%60 Ti + %40 B ₄ C	6.7 mm	18.45 gram

Şekil 4.1'de Toz metal yöntemiyle üretilen numunelerin doğrusal zayıflatma katsayılarının kullanılan gama enerjilerine göre değişimleri verilmektedir. Şekil incelendiğinde tüm gama enerjileri için en yüksek zayıflatma katsayısı B₄C ilave edilmemiş saf Ti numunesinde elde edilirken en düşük zayıflatma katsayısı %40 B₄C içeren numunede elde edilmiştir. Ayrıca tüm numuneler için elde edilen zayıflatma katsayıları artan gama enerjisiyle azaldığı da Şekil 5.1'de görülmektedir. Tüm numuneler için bakıldığında numune içerisindeki B₄C arttıkça zayıflama katsayıları da artmaktadır (Şekil 4.2).



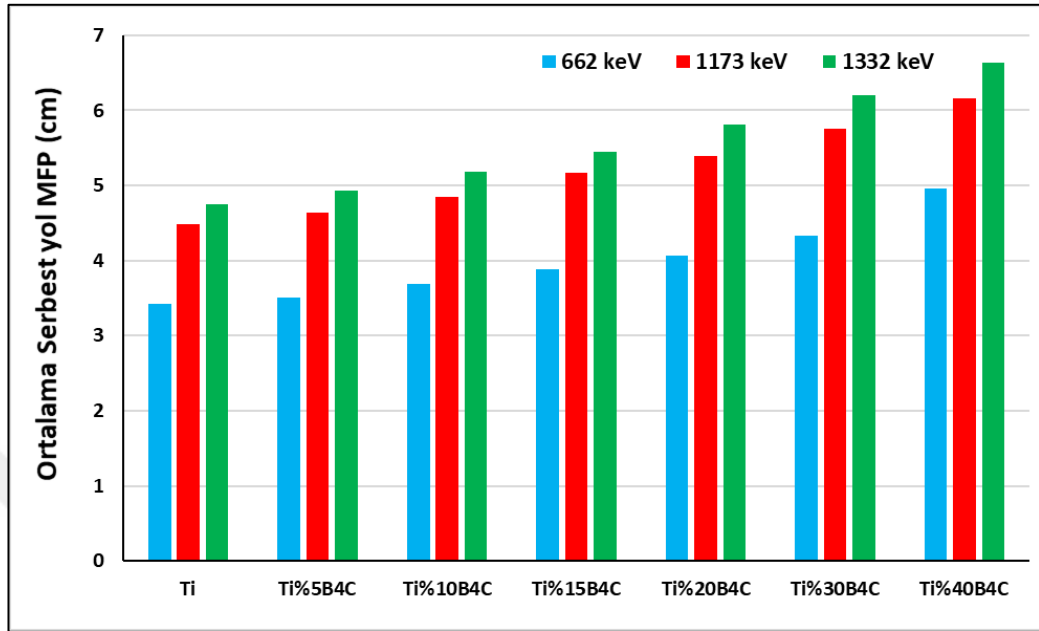
Şekil 4.1. Toz metal numunelerin μ katsayısı değerlerinin enerjiyle değişim grafiği



Şekil 4.2. Toz metal numunelerin μ katsayısı değerlerinin enerji ve B₄C oranına bağlı değişimi

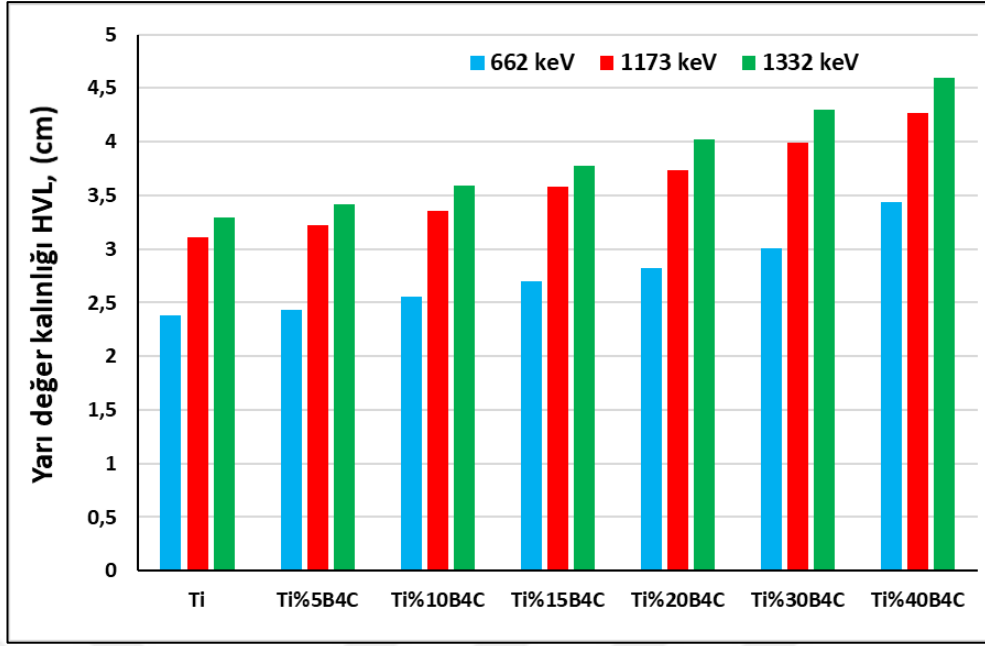
Gama ışınlarının iki etkileşimi arasındaki ortalama uzaklık olarak tanımlanan ortalama serbest yol (MFP); farklı oranlarda B₄C Toz metal numunelerin, ölçülmüş olan doğrusal zayıflatma katsayılarını kullanarak, daha önceden Denklem (4.28) ile ifade edilen ortalama serbest yol büyüklüklerinin hesaplaması yapılmıştır. Deneysel olarak elde edilen lineer soğurma katsayılarından faydalanarak hesaplanan ortalama serbest yol (MFP) değerleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere her

kompozit tipi için ortalama serbest yol değerleri hem artan B₄C oranı ile hem de artan gama enerjisi ile birlikte artmaktadır.

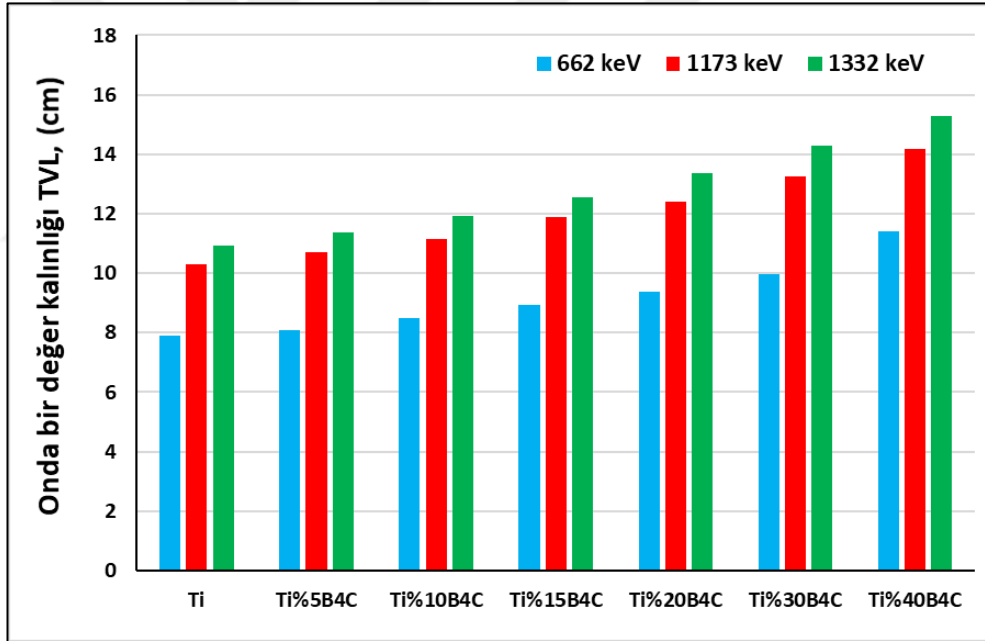


Şekil 4.3. Toz metal numunelerin hesaplanan ortalama serbest yol (MFP) değerleri

Gama ışını koruma etkinliği, Yarı Değer Kalınlığı (HVL) veya Onda bir Değer Kalınlığı (TVL) ile tanımlanır. Yarı Değer Kalınlığı, malzemeden geçen gama radyasyonunu yarıya indirmek için gereken soğurucu kalınlığıdır. Onda Bir Değer Kalınlığı, geçen gama radyasyonunu onda birine düşürmek için gereken malzeme kalınlığıdır. Yarı Değer Kalınlığı (HVL) ve Onda bir Değer Kalınlığı (TVL), deneysel olarak elde edilen lineer zayıflatma katsayısından Denklem (3.29) ve (3.30) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Yarı Değer Kalınlığı (HVL) ve Onda bir Değer Kalınlığı (TVL) sonuçları Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere MFP değerlerine benzer şekilde hem artan B₄C oranı ile hem de artan gama enerjisi ile birlikte artmaktadır.



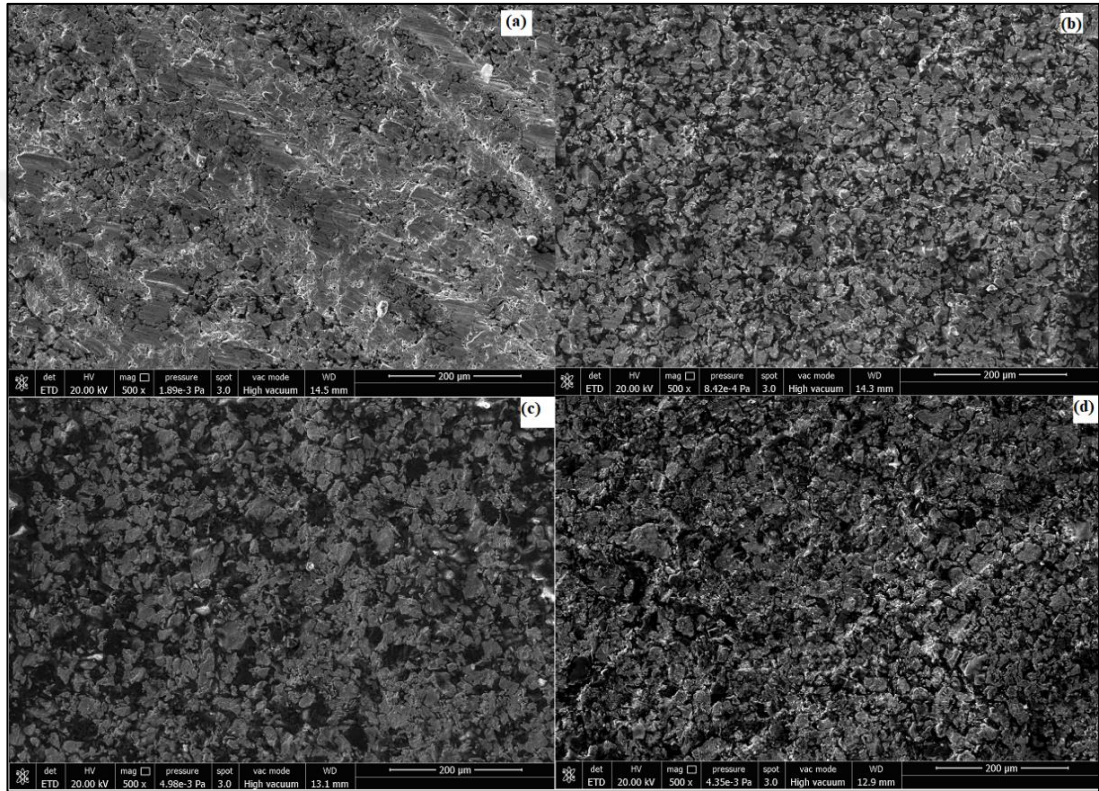
Şekil 4.4. Toz metal numunelerin hesaplanan Yarı Değer Kalınlığı (HVL) değerleri



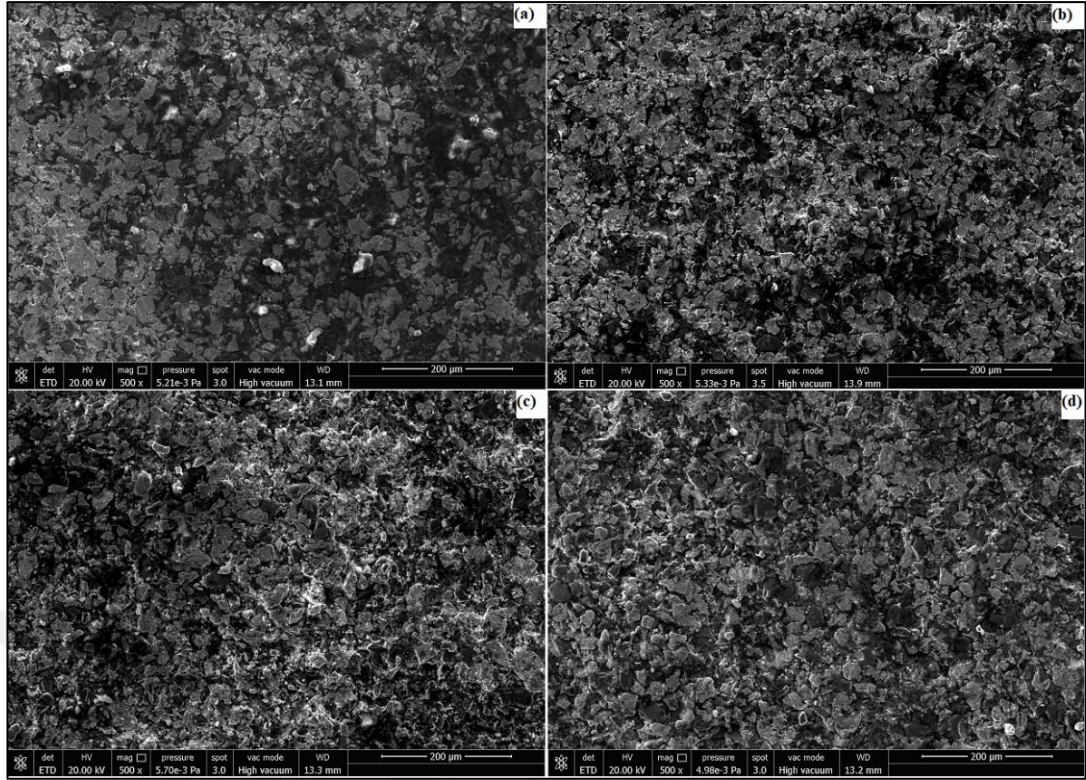
Şekil 4.5. Toz metal numunelerin hesaplanan Onda bir Değer Kalınlığı (TVL) değerleri

Tez çalışmasında ayrıca B₄C takviye elemanı kullanılarak hazırlanan kompozit numunelerin mikroyapı incelemeleri SEM kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.6'da %100 Ti, %95 Ti + %5 B₄C, %90 Ti + %10 B₄C, %85 Ti + %15 B₄C içeren numunelere ait iç yapı görüntüleri verilmektedir. Şekil 4.6 incelendiğinde B₄C'ün kompozit içerisine homojen dağıldığı belirlenmiştir. %100 Titanyum içeren numunede yapıda porozitenin çok az olduğu gözlemlenmiştir. B₄C oranı %5 olarak hazırlanan numunelerde B₄C ile

Ti matris malzeme toz boyutlarının birbirine yakın olduğu ve homojen bir şekilde karıştığı belirlenmiştir. Yapıda yer yer önemli olmayan oranda poroziteler meydana gelmiştir. Şekil 4.7’de sırası ile %20, %25%30 ve %40 B₄C ilave edilmiş numunelere ait SEM incelemeleri verilmektedir. Daha düşük oranlarda %B₄C ilave edilen kompozit malzemelerde olduğu gibi dağılımın homojen olduğu ve düşük porozitenin meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durum karıştırma ve sıkıştırma işlemlerinin başarılı bir şekilde yapıldığının bir göstergesi olarak düşünülmektedir.



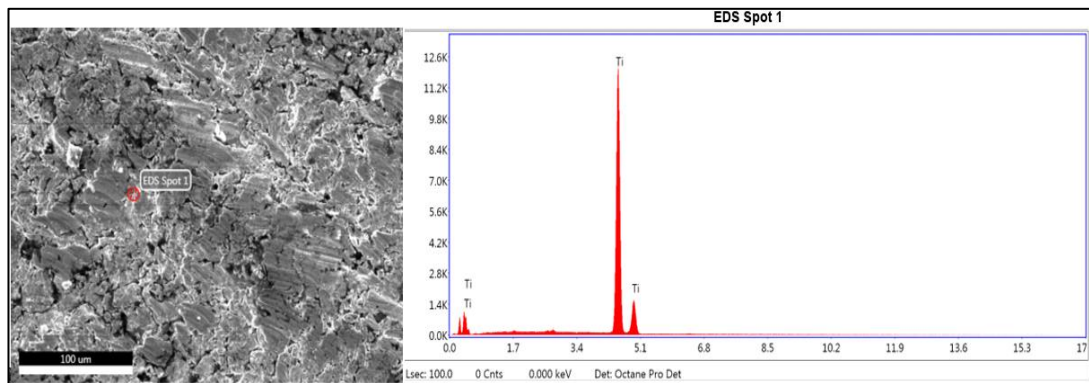
Şekil 4.6. (a) %100 Ti, (b) %95 Ti + %5 B₄C, (c) %90 Ti + %10 B₄C, (d) %85 Ti + %15 B₄C içeren numunelere ait iç yapı görüntüleri



Şekil 4.7. (a) %80 Ti + %20 B₄C, (b) %75 Ti + %25 B₄C, (c) %70 Ti + %30 B₄C, (d) %60 Ti + %40 B₄C içeren iç yapı görüntüleri

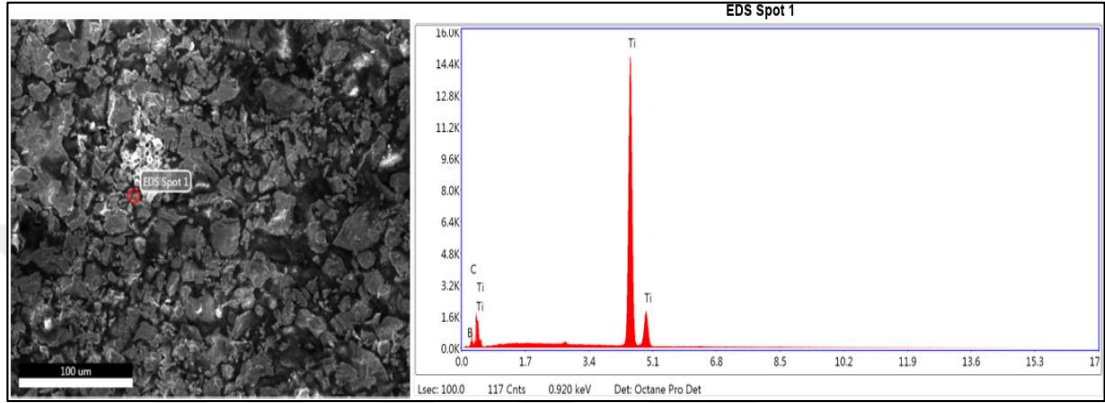
Ayrıca %100 Ti, %90 Ti + %10 B₄C, %85 Ti + %15 B₄C ve %80 Ti + %20 B₄C, %75 Ti + %25 B₄C, %70 Ti + %30 B₄C ve %60 Ti + %40 B₄C içeren numunelere ait EDS incelemeleri yapılmış olup Şekil 4.8 - Şekil 4.14'te verilmektedir.

Şekil 4.8 incelendiğinde %100 Ti olacak şekilde hazırlanmış numunelerde beklenildiği gibi sadece Ti pikine rastlandığı belirlenmiştir.



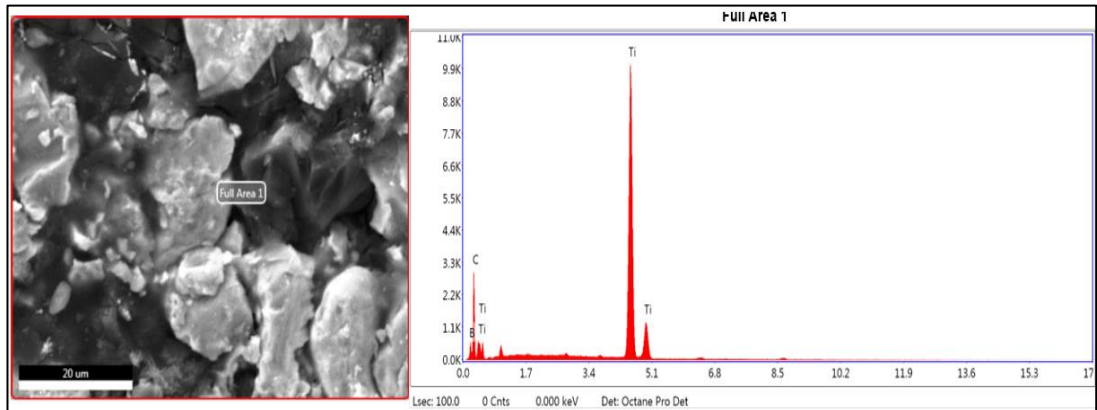
Şekil 4.8. %100 Ti kompozit numunesine ait EDS analizi

Ti matris malzeme içerisine %5 oranında B₄C ilave edilmesi durumunda (Şekil 4.9) Ti piklerinin yanında B ve C pikleri gözlemlenmiştir. B₄C oranının %10 olarak belirlendiği numunelerde de %5 B₄C içeren numunelere benzer pikler elde edilmiştir. %10 B₄C ve %15 B₄C ilave edilmiş numuneler incelendiğinde (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11) Ti piklerinin bir miktar düştüğü bununla birlikte C ve B piklerinde artışın meydana geldiği belirlenmiştir.

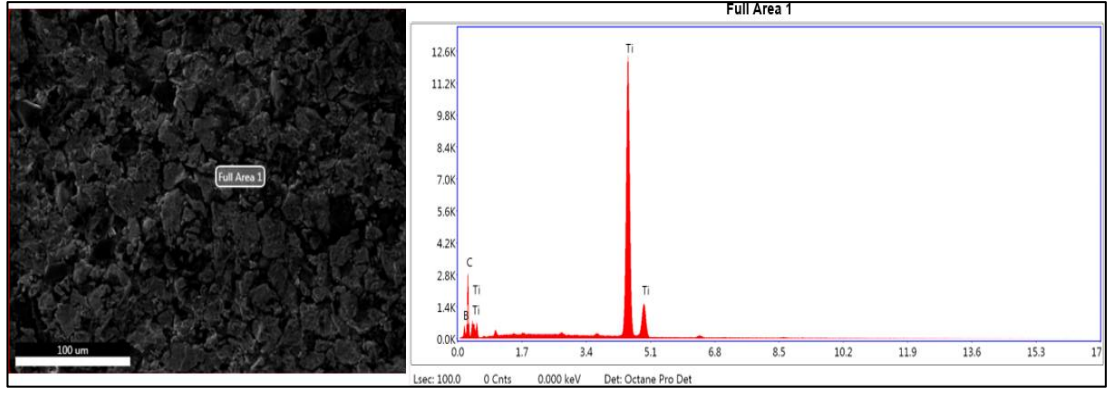


Şekil 4.9. %95 Ti + %5 B₄C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi

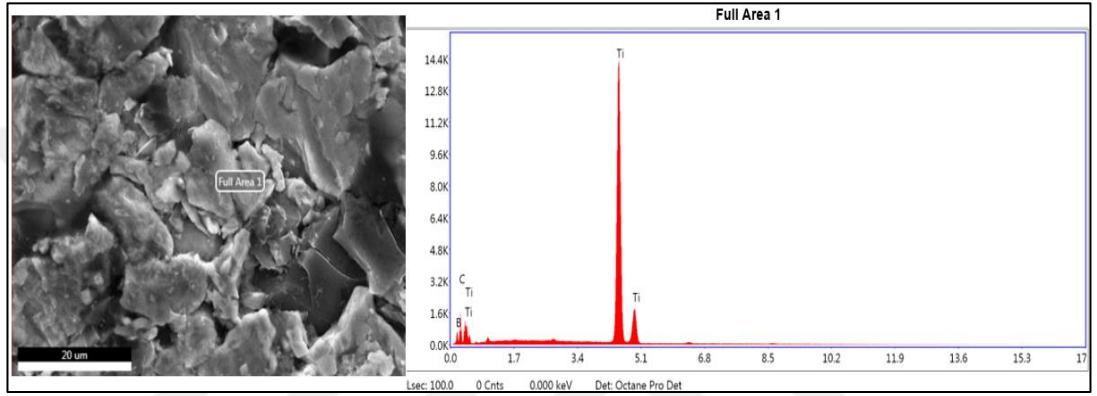
Ti-B₄C sistemlerde Ti-B ve C ait olan TiB₂, TiB and TiC fazlarının oluştuğu daha önceki çalışmalarda belirlenmiştir (Zhang vd., 1999; Jia vd., 2014). Her ne kadar daha düşük Gibbs serbest enerjisi (ΔG) ve entalpisi (ΔH), TiB₂'nin TiB'e göre oluşma olasılığını artırsa da katı hal sinterlemesinde sınırlı kütle taşıma hızı nedeniyle Ti-B₄C reaksiyon ürünleri neredeyse her zaman TiC ve TiB'dir (Jia vd., 2014). Bu nedenle Ti matrisine ilave edilen B₄C parçacıkları Ti matrisinde hem mekanik olarak tutunmakta hem de kimyasal bir bağ meydana getirmektedir (Sousa vd., 2021).



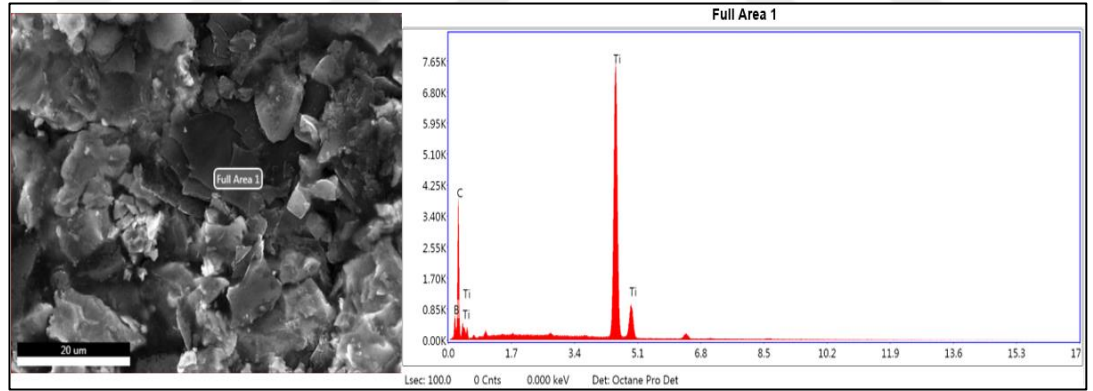
Şekil 4.10. %90 Ti + %10 B₄C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi



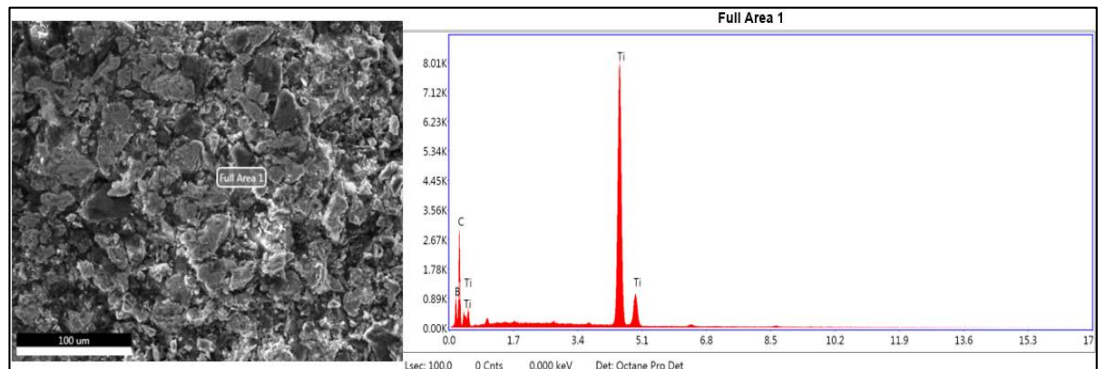
Şekil 4.11. %85 Ti + %15 B₄C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi



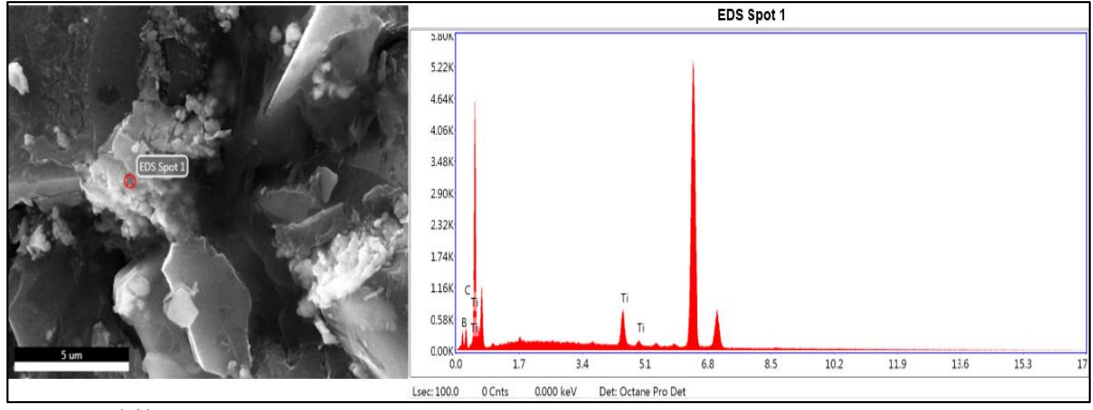
Şekil 4.12. %80 Ti + %20 B₄C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi



Şekil 4.13. %75 Ti + %25 B₄C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi



Şekil 4.14. %70 Ti + %30 B₄C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi

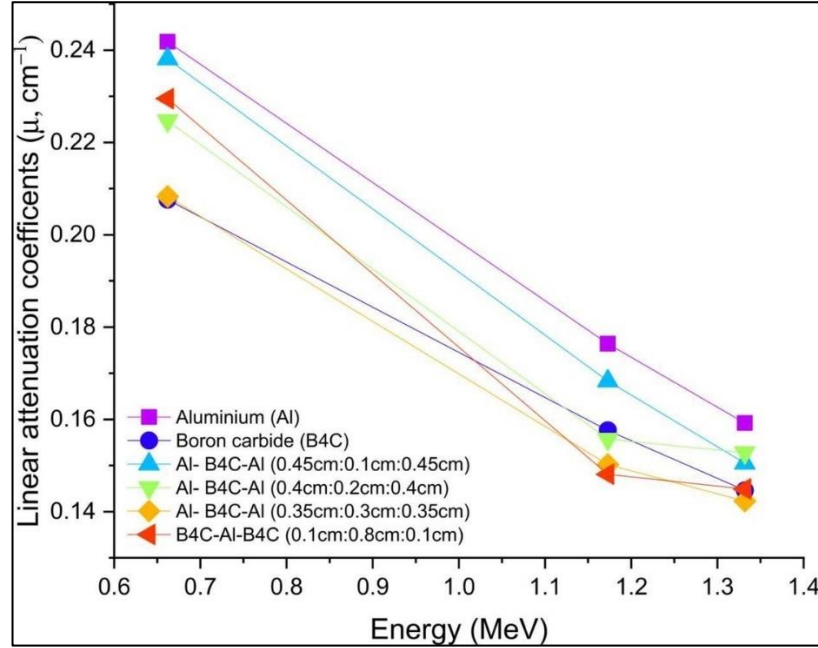


Şekil 4.15. %60 Ti + %40 B₄C Ti kompozit numunesine ait EDS analizi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Titanyum matris malzeme içerisine farklı oranlarda (%5, %10, %15, %20, %30 ve %40) B₄C ilave edilerek Toz Metalurjisi yöntemiyle imal edilen numunelerin radyasyon absorblama özellikleri belirlenmiştir. Tüm gama enerjilerine göre doğrusal zayıflatma katsayıları incelendiğinde en yüksek zayıflatma katsayısı saf Ti numunede; en düşük zayıflatma katsayısı ise %40 B₄C ilave edilmiş numunelerde elde edilmiştir. Bunun yanında numunelerin ortalama serbest yol değerleri belirlenmiş olup her kompozit grubu için serbest yol değerleri hem artan gama enerjisi hem de artan B₄C oranı ile artmaktadır.

Literatürde alüminyum ve bor karbürün 662, 1173 ve 1332 enerjilerine karşı lineer zayıflatma katsayısı değerlerine bakıldığında, Şekil 5.1'deki grafikte Al, B₄C ve çeşitli Al ve B₄C katmanlı malzemelerin örneği gösterilmektedir. Bu örnekteki LAC değeri en yüksek olan Al Şekil 4.1'de gösterilen grafik ile karşılaştırıldığında Ti, Ti %5 B₄C, Ti %10 B₄C, Ti %15 B₄C ve Ti %20 B₄C kompozit malzemelerinin daha yüksek olduğu, Ti %30 B₄C ve Ti %40 B₄C kompozit malzemelerinin daha düşük olduğu gözükmektedir.



Şekil 5.1. Literatürden LAC örneği (Özkavak ve Günoğlu, 2023)

4.5 gr/cm³ yoğunluğa sahip olan Titanyum matris malzeme içerisine 2.55 gr/cm³ yoğunluğa sahip B₄C ilave edilmiş; ilave edilen B₄C oranı artırıldıkça (%5, %10, %15, %20, %30 ve %40), numune yoğunluk değerlerinin sırasıyla 4.33 gr/cm³; 4.18 gr/cm³; 4.03 gr/cm³; 3.9 gr/cm³; 3.66 gr/cm³; 3.66 gr/cm³ düştüğü gözlenmiştir. Çalışma için hazırlanan numuneler toz metalürjisi yöntemiyle üretildiklerinden ve B₄C'nin dayanımından dolayı şekil değiştirmeyip sıkıştırılamamasından dolayı iç yapısı poroziteli haldedir. Bu özelliklerinden dolayı malzemenin kendinden yağlamalı yatak ve burçlarda gibi alanlarda kullanılmaları öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

- Akkurt, I., Calik, A., & Akyıldırım, H. (2011). The boronizing effect on the radiation shielding and magnetization properties of AISI 316L austenitic stainless steel. *Nuclear Engineering and Design*, 241(1), 55-58. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2010.10.009>
- ALMisned, G., Günoğlu, K., Özkavak, H. V., Baykal, D. S., Tekin, H. O., Karpuz, N., & Akkurt, I. (2023). An investigation on gamma-ray and neutron attenuation properties of multi-layered Al/B₄C composite. *Materials Today Communications*, 36, 106813. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106813>
- Altuntaş, O. (2013). *Yüksek Karbonlu Toz Metal Çeliklerin Mikroyapı ve Darbe Tokluğu Özelliklerine Küreselleştirme Isıl İşlemleri Etkilerinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Aygün, B. (2015). *Nükleer Uygulamalarda Radyasyon Güvenliği Amacıyla Yeni Kalkan Malzemelerin Deneysel ve Monte Carlo Simülasyon Kodları (Cern-Fluka ve Geant4) ile Belirlenmesi ve Fabrikasyonu*. (Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Bıçaklı, E. (2018). *Yaşlandırma İşleminin Tam Yoğun ve T/M Aa2024 Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Buyuk, B., & Tugrul, A. B. (2014). Gamma and neutron attenuation behaviours of boron carbide–silicon carbide composites. *Annals of Nuclear Energy*, 71, 46-51. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.03.026>
- Büyük, B. (2013). *Tungsten, Titanyum, Bor İçeren Bazı Malzemelerin Gama ve Nötron Radyasyonu Karşısındaki Davranışlarının İncelenmesi, XCOM Bilgisayar Programı ile İrdelenmesi ve Yeni Bir Radyasyon Zırh Malzeme Önerisi*. (Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü)
- Büyük, B., & Tuğrul, B. (2015). TiB₂ katkılı B₄C-SiC kompozit malzemelerin Co-60 gama radyoizotop kaynağı karşısındaki davranışlarının incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1), 24-29. <https://doi.org/10.5505/pajes.2014.29052>
- Cengiz, M. (2016). *B₄C Esaslı Kompozitlerin B₄C/Me Başlangıç Tozlarından Hareketle Spark Plazma Sinterleme (Sps) Yöntemi ile Üretilmesi ve Karakterizasyonu*. (Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Chen, H. S., Wang, W. X., Nie, H. H., Zhou, J., Li, Y. L., Liu, R. F., Zhang, Y. Y., & Zhang, P. (2018). Microstructure evolution and mechanical properties of B₄C/6061Al neutron absorber composite sheets fabricated by powder metallurgy. *Journal of Alloys and Compounds*, 730, 342-351. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.09.312>

- Çimen, B. (2018). *İyonlaştırıcı Radyasyon ve Çevre Güvenliği*. (Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Demir, E. (2020). *Özel Hibrit Kompozit Malzemelerin Radyasyon Karşısında Davranışının İncelenmesi- Xcom ile İrdelenmesi, Xe26+ İyonları Karşısında Hasarının Sırm Simülasyonu ile Değerlendirilmesi*. (Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü)
- Erdem, S. (2014). *Bir Üniversite Hastanesinde İyonizan Radyasyon Kaynakları ile Çalışan Sağlık Çalışanlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Durumlarının Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü)
- Erdemir, F. (2011). *Hızlı Katılaştırma Yöntemi ile Üretilmiş Nikel-Bakır (Monel 400) Alaşımı Tozların Presleme ve Sinterleme Parametrelerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Eren, M. (2015). *Gama ve Beta Işınlarının Grafen Alan Etkili Transistör Karakteristikleri Üzerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- German, R. M. (1998). *Powder Metallurgy of Iron and Steel*. John Wiley & Sons Inc.
- Gökmen, U. (2022). Gamma and neutron shielding properties of B4C particle reinforced Inconel 718 composites. *Nuclear Engineering and Technology*, 54(3), 1049-1061. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.09.028>
- Gunoglu, K., Özkavak, H. V., & Akkurt, İ. (2021). Evaluation of gamma ray attenuation properties of boron carbide (B4C) doped AISI 316 stainless steel: Experimental, XCOM and Phy-X/PSD database software. *Materials Today Communications*, 29, 102793. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102793>
- Günoğlu, K., Güler, S. H., Güler, Ö., Almisned, G., Ozkavak, H. V., Albayrak, M. G., Akkurt, İ., Issa, B., & Tekin, H. O. (2024). A comprehensive microstructural and transmission analysis on oxide dispersion-strengthened (ODS) alloys: Impact of erbium oxide (Er2O3) concentration on physical, structural, gamma-ray, and neutron attenuation properties. *Ceramics International*, 50(7), 10476-10484.
- Günoğlu, K. (2012). *Türkiye'deki Bazı Doğal Taşların Radyoaktivite Tayini ve Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması*. (Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Hubbell, J. H. (1982). Photon mass attenuation and energy-absorption coefficients. *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 33(11), 1269-1290. [https://doi.org/10.1016/0020-708X\(82\)90248-4](https://doi.org/10.1016/0020-708X(82)90248-4)
- Jia, L., Li, S. F., Imai, H., Chen, B., & Kondoh, K. (2014). Size effect of B4C powders on metallurgical reaction and resulting tensile properties of Ti matrix composites by in-situ reaction from Ti-B4C system under a relatively low

temperature. *Materials Science and Engineering: A*, 614, 129-135.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.07.020>

Kıpçak, S. (2009). *Bazı Bor Bileşiklerinin Nötron Zırhlamasında Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Üniversitesi)

Martin, J. E. (2006). *Physics For Radiation Protection: A Handbook*. John Wiley & Sons.

Oh, J. H., Gwon, S. H., Kim, T. H., Sun, J. Y., & Choi, S. (2021). Synthesis of titanium boride nanoparticles and fabrication of flexible material for radiation shielding. *Current Applied Physics*, 31, 151-157.
<https://doi.org/10.1016/j.cap.2021.08.009>

Özkan, Ş. G., Tombal, T. D., Ünver, İ. K., & Osmanlioğlu, A. E. (2016). Bor bileşiklerinin özellikleri, üretimi, kullanımı ve nükleer reaktör teknolojisinde önemi. *Journal of Boron*, 1(2), 86-95.

Pierson, H. O. (1996). *Handbook of Refractory Carbides and Nitrides*. Noyes Publications.

Qiu, X., Qi, L., Tang, J. R., Wang, J. Q., & Xiong, T. Y. (2022). A viable approach to repair neutron shielding B4C/6061 Al composite sheets through cold spray and hot rolling co-treatment. *Journal of Materials Science & Technology*, 106, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2021.06.085>

Soltani, Z., Beigzadeh, A., Ziaie, F., & Asadi, E. (2016). Effect of particle size and percentages of Boron carbide on the thermal neutron radiation shielding properties of HDPE/B4C composite: Experimental and simulation studies. *Radiation Physics and Chemistry*, 127, 182-187.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.06.027>

Sousa, L., Alves, A. C., Guedes, A., & Toptan, F. (2021). Corrosion and tribocorrosion behaviour of Ti-B4C composites processed by conventional sintering and hot-pressing technique. *Journal of Alloys and Compounds*, 885, 161109.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.161109>

Söyler, M. (2007). *Toz Metalurjisi ve Uygulamaları*. (Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fen Bilimleri Enstitüsü)

Suri, A. K., Subramanian, C., Sonber, J. K., & Murthy, T. C. (2010). Synthesis and consolidation of boron carbide: a review. *International Materials Reviews*, 55(1), 4-40. <https://doi.org/10.1179/095066009X1250672166521>

Sürücü, A. M., & Subaşı, S. (2021). Nanomateriyallerin kompozit malzemelerin radyasyon zırhlama özelliklerine etkisinin incelenmesi. *El-Cezeri*, 8(1), 182-194. <https://doi.org/10.31202/ecjse.812372>

- Şirin, M. (2020). The effect of titanium (Ti) additive on radiation shielding efficiency of Al₂₅Zn alloy. *Progress in Nuclear Energy*, 128, 103470. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2020.103470>
- Turşucular, E. D. (2023). *Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş 6061 Al Matrisli B₄C Takviyeli Kompozit Malzemelerin Radyasyon Absorbsiyon Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Turşucular, E. D., & Varol, R. (2023). Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş 6061 Al matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemelerin radyasyon absorpsiyon özelliklerinin incelenmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13(2), 57-64. <https://doi.org/10.35354/tbed.1260061>
- Yavuz, N., & Güner, R. (2002). Demir esaslı toz metal parçaların elektrik direnç kaynağında optimum kaynak şartlarının belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), 221-228.
- Yılmaz, D., Aktaş, B., Çalık, A., & Aytar, O. B. (2019). Boronizing effect on the radiation shielding properties of Hardox 450 and Hardox HiTuf steels. *Radiation Physics and Chemistry*, 161, 55-59. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.04.019>
- Zhai, H., Zhong, S., Li, J., Chen, Y., Cui, Y., Chen, Z., Sun, G., & Wang, H. (2021). The neutron shielding modeling and experimental characteristic in TiB₂/Al composites. *Materials Today Communications*, 27, 102194. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102194>
- Zhang, X., Lü, W., Zhang, D., Wu, R., Bian, Y., & Fang, P. (1999). In situ technique for synthesizing (TiB+ TiC)/Ti composites. *Scripta Materialia*, 41(1), 39-46. [https://doi.org/10.1016/S1359-6462\(99\)00087-1](https://doi.org/10.1016/S1359-6462(99)00087-1)

ÖZGEÇMİŞ

