

# Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş 6061 Al Matrisli B<sub>4</sub>C Takviyeli Kompozit Malzemelerin Radyasyon Absorbsiyon Özelliklerinin İncelenmesi

Elif Dicle TURŞUCULAR<sup>1\*</sup>, Remzi VAROL<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9339-2688), [512210025@ogr.uludag.edu.tr](mailto:512210025@ogr.uludag.edu.tr)

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2427-0710), [remzivarol@sdu.edu.tr](mailto:remzivarol@sdu.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 04.03.2023 ve Kabul Tarihi 17.07.2023)

(DOI: 10.35354/tbed.1260061)

**ATIF/REFERENCE:** Turşucular, E.D., Varol, R., (2023). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş 6061 Al Matrisli B<sub>4</sub>C Takviyeli Kompozit Malzemelerin Radyasyon Absorbsiyon Özelliklerinin İncelenmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13 (2), 57-64.

## Öz

Bu çalışmada, B<sub>4</sub>C (Bor Karbür) takviye elemanı ile 6061Al matris elemanı belirli oranlarda (B<sub>4</sub>C katkısı olmadan salt 6061Al, %5 B<sub>4</sub>C katkısıyla,%10 B<sub>4</sub>C katkısıyla,%15 B<sub>4</sub>C katkısıyla,%20 B<sub>4</sub>C katkısıyla) bir araya getirilerek toz metalurjisiyle (sıcak pres sinterleme yöntemine bağlı olarak) kompozit malzeme olarak 5 adet numune imal edilmiştir.Bu numunelerin radyasyon absorblama özelliklerinin incelenmesi ve değişen bileşen oranlarına bağlı olarak radyasyon absorblama özellikleri ile doğrusal (lineer) zayıflatma katsayısı ve enerji değerlerinin; imalatı sağlanan malzemelerin yoğunluk ve kalınlıklarının iç yapı,sertlik değerleri ve gerilme değerlerine bağlı değişimlerinin nasıl seyredeceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.Çalışma kapsamında üretilen numunelere tatbik edilen deneyler sonucunda elde edilen verilerle NIST XCOM üzerinden hesaplanan teorik verilerin mukayeseleri ve amaçlanan değişimlerin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir.Numunelerde artan Bor Karbür (B<sub>4</sub>C) yüzdelerine bağlı olarak doğrusal (lineer) zayıflatma katsayılarının azaldığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** B<sub>4</sub>C / 6061 Al Kompozit malzeme, Toz metalürjisi, Radyasyon, Nötron soğurma, Radyasyon koruma

## Investigation Of Radiation Absorption Properties of 6061Al Matrix B<sub>4</sub>C Reinforced Composite Materials Produced by Powder Metallurgy Method

### Abstract

In this study, 5 samples were produced as composite material by powder metallurgy (depending on the hot press sintering method) by combining the B<sub>4</sub>C (Boron Carbide) reinforcement element and the 6061 Al matrix element in certain proportions (6061 Al without B<sub>4</sub>C additive, B<sub>4</sub>C additive with 5%,B<sub>4</sub>C additive with 10%,B<sub>4</sub>C additive with 15%,B<sub>4</sub>C additive with 20% ).The aim of the study is to investigate the radiation absorption properties of these samples and to determine how the changes in the component ratios affect the radiation absorption properties and linear attenuation coefficients and energy values;and how the changes in the internal structure,hardness values and stress values,depending on the densities and thicknesses of the materials produced,will proceed. The data obtained as a result of the experiments applied to the samples produced within the scope of the study and the theoretical data calculated over NIST XCOM were compared and the intended changes were determined. It was observed that linear attenuation coefficients decreased depending on the increasing Boron Carbide (B<sub>4</sub>C) percentages in the samples.

**Keywords:** B<sub>4</sub>C / 6061 Al Composite material, Powder metallurgy, Radiation, Neutron absorption, Radiation protection

\* Sorumlu Yazar: [512210025@ogr.uludag.edu.tr](mailto:512210025@ogr.uludag.edu.tr)

## 1. Giriş

Radyasyon (veya ışınım), elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı veya aktarımıdır. Radyasyon, evrenin var olduğu andan günümüze kadar doğal olarak her yerde bulunmaktadır. 20. yüzyılın ortalarında bilim ve teknolojiye muazzam ilerleşim sonucunda yapay radyasyonla da tanışılmıştır ve radyasyonun zararlı etkilerine karşı hem günümüz dünyası hem de gelecek nesilleri de kapsayan bir radyasyondan korunma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla öncelikle radyasyonla çalışanların, sonrasında halkın ve daha sonrasında da çevrenin radyasyonun zararlı etkilerine karşı korunması hedeflenmektedir. [1] Değişik niteliklerdeki radyasyon kaynakları, sürekli olarak insanlar ve diğer canlılar üzerinde etkili olmaktadır. Doğal radyasyonun şiddeti yapay yollarla elde edilene göre oldukça azdır. Madde içerisindeki atomun çekirdeğinde nötronların sayısı, protonların sayısına nazaran oldukça fazla veya oldukça az ise; bu tip maddeler kararsız yapı sergiler, çekirdeğindeki nötronlar gama ( $\gamma$ ), alfa ( $\alpha$ ) ve beta ( $\beta$ ) gibi farklı ışınlar yayarak parçalanırlar. [2,3]

Etrafına bu biçimde ışın saçıp parçalanarak maddelere radyoaktif maddeler adı verilir. Taşıdıkları enerji miktarına göre iyonlaştırıcı veya iyonlaştırmayan radyasyon diye ayrılır. [4] Etkileştiği maddede iyonlar meydana getiren iyonlaştırıcı radyasyondur. İyonlaştırıcı radyasyon en temelde, alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) parçacıkları, X ve gama ( $\gamma$ ) ışınları ile nötronlar olmak üzere beş çeşittir. Canlı dokular ile DNA'da mevcut genler dahil olarak iyonlaşma olayı herhangi bir maddede oluşabilir. Bundan dolayı canlılar için iyonlaştırıcı radyasyon zararlıdır. Zararsız iyonlaştırıcı olmayan radyasyona ise görünür ışık, mikrodalgalar ve radyo dalgaları örnek verilebilir. İyonlaştırıcı radyasyon çeşitleri alfa parçacıkları ( $\alpha$ ), beta parçacıkları ( $\beta$ ), nötronlar, gama ışınları ( $\gamma$ ) ve X-ışınları olarak sıralanabilir. [5]

Toz metalürjisi (T/M) metal veya seramik tozlarının üretimi ve bu tozların mekanik ve termik etkilerle birleştirilerek parça haline getirme işlemidir. Toz metalürjisi yöntemiyle parça üretimi günümüzde çok yaygın olarak kullanılmakta olup, giderek bilinen klasik üretim yöntemlerine alternatif olmaktadır. [6] Toz metalürjisiyle karmaşık şekillere sahip parçaların üretimi diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Karmaşık şekle sahip bir ürünün elde edilmesi, bazen büyük boyutlardaki hammaddeden diğer imalat yöntemleri kullanılarak, bazen de toz metalürjisi yöntemi kullanılarak yapılır. Toz metalürjisi yönteminde presleme, pişirme (sinterleme) ve az sayıda talaşlı imalat gerekebilir. [7] Böylece tozların birbiri arasında metalürjik bağ oluşturması ve sert, rijit bir malzeme haline gelmesi sağlanır. Presleme olarak isimlendirilen toz sıkıştırma prosesi, imal edilmek istenen parçacığın şekil ve biçimine uygunluk gösterecek biçimde tasarlanan kalıplar kullanılarak pres tezgahlarında gerçekleştirilir. Bu metotta kullanılan, tipik bir kalıp ve bir veya birden fazla zımbadan meydana gelen ekipman oldukça pahalıdır. Bu sebeple, toz metalürjisi orta veya yüksek üretim miktarları için daha uygundur. Sinterleme adı verilen pişirme prosesi, metalin ergime derecesinin altındaki bir sıcaklık değerinde meydana getirilir. Toz metalürjisiyle her ne kadar 22 kg'a kadar parça imalatı imkan dahilindeyse de, çoğu toz metalürjisi ürününün kütlesi 2.2 kg'dan daha düşüktür. Toz metalürjisiyle en fazla imalatı gerçekleştirilen metaller demir alaşımları, çelik, ve alüminyum alaşımlarıdır. Diğer toz metalürjiyle şekillendirilen metaller bakır, nikel ve tungsten ile

molibden gibi refrakter metallerdir. Tungsten karbür gibi metal karbürler de sıklıkla toz metalürjisiyle şekillendirilir. [8]

Literatürde yapılan çalışmalarda, Al 6061 (AA 6061) alaşımı içerisine farklı oranlarda Bor Karbür ( $B_4C$ ) ve Grafen Nanoplaka (GNP) takviye edilen hibrit kompozit malzemenin tornada işleme deneyleri yapılarak kullanılan kesici takımların aşınma davranışları incelendiğinde hibrit kompozit yapı içerisindeki  $B_4C$  takviye oranının artışına bağlı olarak, tüm kesme parametrelerinde takım aşınmalarında önemli miktarlarda artışlar olduğu görülmüş olup kompozit yapı içerisindeki GNP katkısının işlenebilirliği bir miktar kolaylaştırdığı, grafenin katı yağlayıcı özellik sergilediği ve takım aşınmalarını azaltıcı etki gösterdiği tespit edilmiştir. [9] AA6061 matrisli %15  $B_4C$  p takviyeli Toz Metalürjisi (TM) yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilen kompozit levha formundaki numuneler farklı sürelerde yaşlandırma işlemine tabi tutulduğunda sertliklerinde meydana gelen değişim araştırılmış ve farklı sürelerde yapılan T6 yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulan numunelerin 4 saat sonunda en yüksek sertlik seviyesine ulaştığı görülmüştür. 4. saatten sonra artan zamana bağlı olarak metal matrisli kompozit malzemenin sertlik değerinin de düzenli olarak azaldığı tespit edilmiştir. En düşük sertlik değeri 12. saat sonunda elde edilmiştir. [10] Al/SiC Metal Matrisli Kompozitlerin (MMK),  $B_4C$  takviyesi yaparak ve yapmadan imal edilmesinden sonra, malzemelerin lazer ışın kaynağı karakteristikleri, kaynak bölgesinin bütünlüğü açısından incelendiğinde Toz Metalürjisi (T/M) ile üretilen Al/SiC MMK'lerin lazer ışın kaynağı ile kolayca kaynatılmadığı,  $B_4C$  ilavesi ile malzemenin kaynak kabiliyetinin arttığı görülmüştür. [11]

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyaller

Bu çalışmada kullanılan materyaller  $B_4C$  ve 6061 Al alüminyum alaşımıdır. Kullanılan  $B_4C$  ve 6061 Al tozları 'İSM Dış Ticaret' firmasından elde edilmiş olup, tozlar %99 saflıkta ve 0-99  $\mu m$  boyutlarındadır.  $B_4C$ , elmas ve kübik bor nitrürden sonra mohs skalasına göre dünyada bilinen en sert üçüncü malzemedir. Üretilebilirliği açısından ise en sert olanıdır.  $B_4C$ 'ün yapısında karbon atomlarının miktarı %8,8-20 arasında değişmektedir. [12 – 17] Tank zırhlarında, motor sabotaj tozlarında ve kurşun geçirmez yeleklerde olduğu gibi birçok endüstriyel uygulama alanı mevcuttur.  $B_4C$ , 2,52 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa, 55,255 g/mol molar kütleyle sahiptir. Yüksek elastisite modülü, sertlik, ısıl kararlılık; mükemmel kimyasal kararlılık, çok iyi korozyon dayanımı, yüksek darbe dayanımı gibi niteliklere sahip olan  $B_4C$ 'ün özellikleri Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Bor Karbür ( $B_4C$ ) Özellikler Tablosu

Ergime Sıcaklığı	2445 °C
Termal Genleşme Katsayısı	5,73 ppm/°C
Sertlik (Knoop 100g)(kgf.mm <sup>-2</sup> )	2900-3580
Vickers Mikrosertliği (GPa)	31,5
Kırılma Tokluğu (MPa. m <sup>-1/2</sup> )	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

6xxx serisi Al-Mg-Si alaşımlarıdır ve 6xxx serisini diğer serilerden ayıran özellik içinde alüminyuma katkı elementi olarak bulunduğu Magnezyum ve Silisyumdur.6xxx serisinde alüminyuma ilave edilen magnezyum alaşıma yüksek mukavemet ve süneklik ve mükemmel korozyon direnci kazandırır. Ayrıca kaynak kabiliyetini artırır. % 8 den fazla Mg içeren Al-Mg alaşımlarının mekanik özellikleri ısı ile geliştirilebilir ve ayrıca dövme alaşımlarında % 1-6 Mg şekil verme kolaylığı için kullanılır. Magnezyum Al-Si alaşımlarına da ısı ile yapabileceği kabiliyeti kazandırmak için ilave edilir. Silisyum bakırdan sonra alüminyuma ilave edilen en önemli alaşım elementidir. En fazla % 13 dolayında bulunabilen silisyum sıvı alüminyumun akışkanlığını artırır. Silisyum özellikle Mg, Ni ve Cu ile birlikte ısı ile sertleştirilebilen alaşım yapar. Ancak bu alaşımların çekme mukavemeti değerlerinin yüksekliği ilave edilen silisyum miktarı ile doğru orantılıdır. [18 – 20] 6xxx alüminyum serisinde olan 6061 Alüminyum Alaşımı, Alüminyumun çok yönlü ısı ile işlem uygulanabilen bir alaşımı olup kaliteli bir alaşım grubudur. Bu alaşım grubu yüksek korozyon dayanımının yanı sıra çok çeşitli mekanik özelliklere sahiptir. 6061 Alüminyum alaşımı kolay üretilebilirlik ve mükemmel şekillendirilebilirlik niteliklerine sahiptir. 6061 Alüminyum alaşımı %0,8 ila 1,2 Magnezyum ve %0,4 ila 0,8 Silis'ten meydana gelir ve %98,5-%98,6 arasında Alüminyum ve eser miktarda Bakır, Krom ve daha fazlasını içeren eser sayıda element içermektedir.6061 Al'ye ilişkin özellikler tablosu da Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. 6061 Al Özellikler Tablosu

Özellikler	6061 Al
Akma Mukavemeti	276 MPa
Erime Noktası	582-652 °C
Isıl İletkenlik	167 W/m°K
Elastisite Modülü	68,9 GPa
Elektriksel Direnç	$3,99 \times 10^{-6}$ ohm-cm
İşlenebilirlik	İyi
Sertlik (Brinell)	95

## 2.2. Metot

Materyal olarak (%5,%10,%15 ve %20) B<sub>4</sub>C takviye oranına sahip 6061 Al matrisli toz metalürjisiyle üretilmiş 4 adet numune ve oran değişiminin etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla sadece 6061 Al'den müteşekkil 1 adet numune olmak üzere toplamda 5 adet numune elde edilmesi amaçlanmaktadır.Katkılandırma yüzdeleri kütlece yapılmış ve karışım toplamları 12 gramda sabitlenmiş olup,her bir numune için kullanılan toz yüzdelere bağlı gramajlara Tablo 3'de yer verilmiştir.

Tablo 3. Numunelerdeki kütlece karışım oranları tablosu

Numunelerdeki Kütlece Karışım Oranları	Karışımdaki B <sub>4</sub> C Kütlesi	Karışımdaki 6061 Al Kütlesi
%100 6061 Al Numune	-	12 gr
%5 B <sub>4</sub> C, %95 6061 Al Kompozit Numune	0,6 gr	11,4 gr
%10 B <sub>4</sub> C, %90 6061 Al Kompozit Numune	1,2 gr	10,8 gr
%15 B <sub>4</sub> C, %85 6061 Al Kompozit Numune	1,8 gr	10,2 gr
%20 B <sub>4</sub> C, %80 6061 Al Kompozit Numune	2,4 gr	9,6 gr

Numuneler için toz karışımları hazırlanırken dijital terazi vasıtasıyla Tablo 3'deki gramajlarda tozlar ölçülerek kaba alınır ve kap içerisinde karıştırılarak presleme işlemi için kalıba dökülür.Bu işlemlere ilişkin görsele Şekil 1'de yer verilmiştir.



Şekil 1. Toz karışım hazırlama işlemleri

B<sub>4</sub>C ,155 MPa çekme mukavemetine sahip oldukça rijit bir malzeme olduğu için soğuk preslemeyle elde edilecek basınç değerleri, B<sub>4</sub>C ile 6061 Al'den oluşturulacak bir kompozit malzemeyi meydana getirmek için yeterli olmamaktadır.Sıcak preslemede daha yüksek basınç değerlerine çıkılabildiği için bu durum üretimde sıcak preslemenin kullanımını gerekli kılmaktadır.Şekil 2'de kullanılan sıcak pres makinesine yer verilmiştir.



Şekil 2. Sıcak Pres Makinesi

Karıştırıldıktan sonra kalıp boşluğuna yerleştirilen ve sıcak prese konulan tozlara ilk 100°C'ye ulaşana kadar 3,6 ton, 100°C'den proses boyunca ulaştığı maksimum sıcaklık değeri olan 475°C'ye kadar 1,8 ton ile basma işlemi gerçekleştirilir. 475°C'den sonra soğumaya bırakılır. 300-330 °C mertebelerine gelindiğinde ise presin kapağı açılır. Sıcak pres ile numune üretim işlemleri Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü bünyesindeki Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Sıcak pres üzerindeki dijital ekranda kuvvet, kütle [ton] birimine bağlı olarak 3,6 ton ve 1,8 ton olarak yer almaktadır. Presin basıncını tanımlarken basınç birimi olan [MPa] ele alınmaktadır. Denklem 1-4'de basıncın ilgili birimde bulunmasına yer verilmiştir.

3,6 ton için;

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} \quad (1)$$

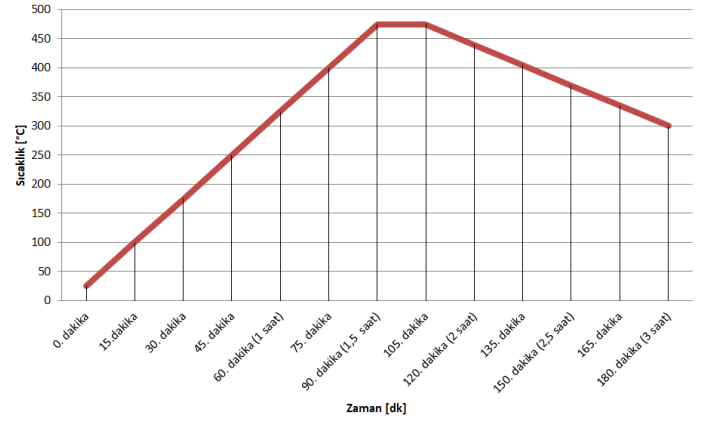
$$P = \frac{(3,6 \cdot 10^3) \text{kg} \times (9,81) \text{ms}^{-2}}{\frac{(\pi) \times (30)^2 \text{mm}^2}{4}} = 49,987 \text{ MPa} \sim 50 \text{ MPa} \quad (2)$$

1,8 ton için;

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} \quad (3)$$

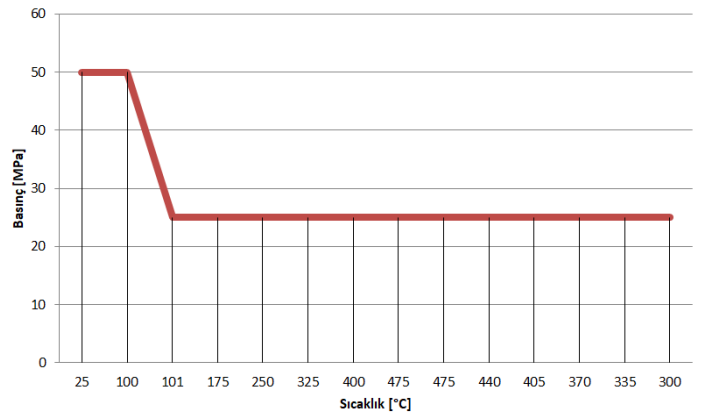
$$P = \frac{(1,8 \cdot 10^3) \text{kg} \times (9,81) \text{ms}^{-2}}{\frac{(\pi) \times (30)^2 \text{mm}^2}{4}} = 24,993 \text{ MPa} \sim 25 \text{ MPa} \quad (4)$$

bulunur. Bu eşitliklerde P basınç, F kuvvet, A numune kesit alanı, m kütle, g yerçekimi ivmesi ve D numune çapı olarak yer almaktadır. Sıcak presin sıcaklık-zaman grafiğine Şekil 3'de yer verilmiştir.



Şekil 3. Sıcak presin sıcaklık-zaman grafiği

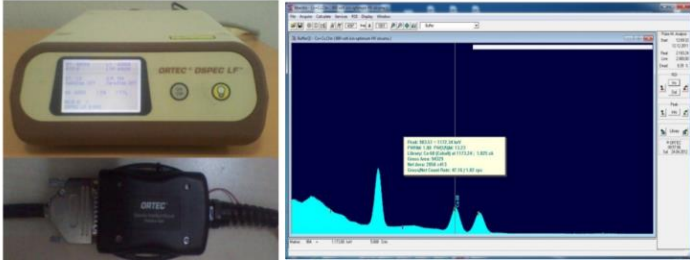
Sıcak presin sıcaklık-basınç grafiği Şekil 4'de yer almaktadır.



Şekil 4. Sıcak presin sıcaklık-basınç grafiği

Radyasyon ölçümleri kapsamındaki deneysel çalışmalarda NaI(Tl) 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. Radyasyon absorpsiyon deneyleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü bünyesindeki Gamma Spektroskopi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Radyoaktif kaynaktan çıkan ışınlar NaI(Tl) dedektörü ile etkileşen gama radyasyonunun oluşturduğu atmaların anlamlı sayısal sinyallere dönüşmesi için elektronik cihazlara ve sinyallerin analizi için de yazılıma ihtiyaç vardır. Radyasyonun dedektörde oluşturduğu sinyaller yükseltici yardımıyla yükseltilir, şekillendirilir ve içerisinde çok kanallı analizöre sahip DSPEC LF'e gönderilir. 16384 kanala sahip DSPEC LF ile sayısal hale çevrilen bilgiler MAESTRO-32 yazılımı yardımıyla ekranda spektrum olarak gözlenir. Gama radyasyonu spektrumunu oluşturan pikler Gauss eğrisi şeklindedir. Her bir enerji ve kanal numarası başına düşen sinyal sayısı yazılım tarafından kaydedilir. Sistem bir yüksek gerilim birimi ile beslenmektedir. Dedektör çalışma gerilimi olan 750 V bu birim tarafından sağlanır. Şekil 5'de Solda DSPEC LF (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta) ile Sağda MAESTRO-32 yazılımı yardımıyla elde edilen örnek bir spektrum gösterilmiştir.

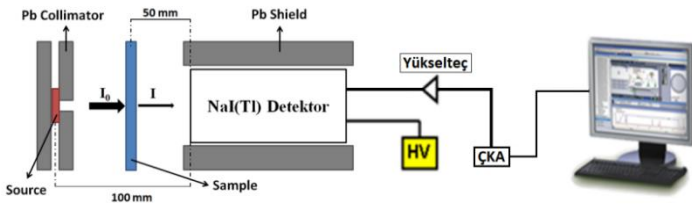


Şekil 5. Solda DSPEC LF (üstte) ve yüksek gerilim modülü (altta) ile Sağda MAESTRO-32 yazılımı yardımıyla elde edilen örnek bir spektrum

$\gamma$ -ışını testleri kapsamında inceltmiş bir radyasyon demetinin bir engelle etkileşmesinden sonraki zayıflatılmış demetin şiddeti, Beer-Lambert Yasasına ait denklem ile değişmektedir. Bu denklemde (Denklem 5), toplam zayıflatma katsayısı ( $\mu$ )

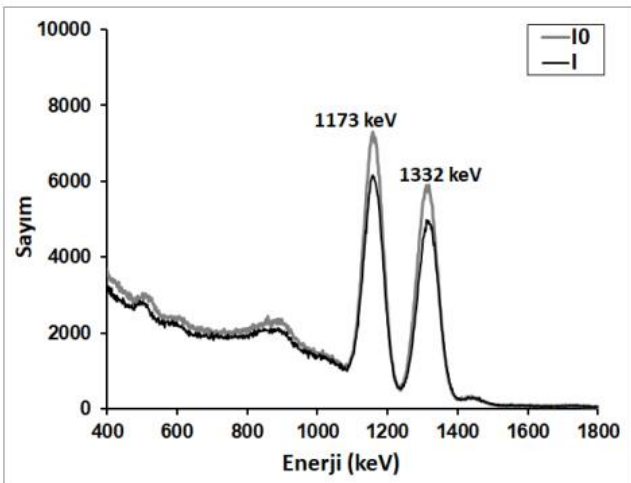
$$\mu = \frac{1}{t} \ln \frac{I_0}{I} \quad (5)$$

ifadesiyle hesaplanır. Burada  $t$  soğurucu maddenin cm cinsinden kalınlığını,  $I_0$  ve  $I$ , sırasıyla zayıflatılmamış ve zayıflatılmış radyasyon demeti şiddetlerini,  $\mu$  toplam zayıflatma katsayısını temsil etmektedir. Ölçümler için ince demet geometrisine uygun biçimde tasarlanmış olan deney düzeneği Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Ölçümlerde kullanılan kaynak-malzeme-detektör düzeneği

Şekil 7'de  $^{60}\text{Co}$  kaynağından MAESTRO-32 spektrum analiz yazılımıyla alınan zayıflatılmamış ( $I_0$ ) ve zayıflatılmış ( $I$ ) gama ışın şiddetine örnek bir spektrum verilmiştir. Spektrumda kaynağın 1173 ve 1332 keV enerjili piklerinin her ikisi de Gauss dağılımına uymaktadır.



Şekil 7.  $^{60}\text{Co}$  kaynağı için zayıflatılmamış ( $I_0$ ) ve zayıflatılmış ( $I$ ) gama ışını spektrumları (Akyıldırım.H,2011'den alındı.[21])

Farklı gama enerjilerinde radyasyon kalkanı açısından bir malzemenin performansını belirlemek için kullanılan diğer bir parametre, ortalama serbest yoldur (MFP). MFP, bir gama radyasyonunun kalkan malzemesi ile etkileşime girmeden önce kat edebileceği ortalama mesafe olarak tanımlanır (Denklem 6).

$$\text{MFP} = 1/\mu \quad (6)$$

MFP, ortalama serbest yol ve  $\mu$  zayıflatma katsayısıdır.

Gama radyasyon kalkanı olarak kullanılacak bir malzemenin radyasyon zayıflatma etkisinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, Yarı Değer Katmanı (HVL) kavramıdır. Bu kavram, zayıflatılmış radyasyon yoğunluğunun gelen radyasyon yoğunluğunun yarısına karşılık gelen kalkan malzemesinin kalınlığı olarak tanımlanır. Onuncu Değer Katmanı (TVL), zayıflatılmış radyasyon yoğunluğunun gelen radyasyon yoğunluğunun onda birine karşılık gelen kalkan malzemesinin kalınlığı olarak tanımlanır ve Denklem 7 ve Denklem 8 ile hesaplanır.

$$\text{HVL} = \ln 2 / \mu \quad (7)$$

$$\text{TVL} = \ln 10 / \mu \quad (8)$$

HVL, yarı değer katmanı, TVL, onuncu değer katmanı ve  $\mu$  zayıflatma katsayısıdır.

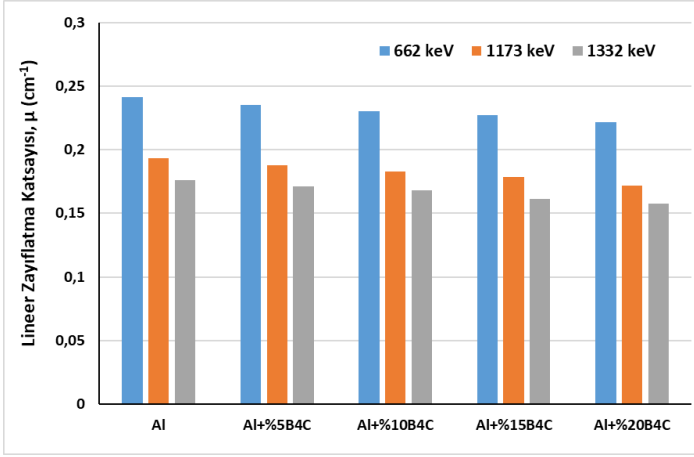
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Değişen  $\text{B}_4\text{C}$  oranlarına göre 6061 Al matrisli toz metalürjisiyle üretilen numunelerin her birine ait ölçülen numune kalınlığı ve kütle değerleri aşağıda bir tablo halinde Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. Numunelerin ölçülen kalınlık ve kütle verileri çizelgesi

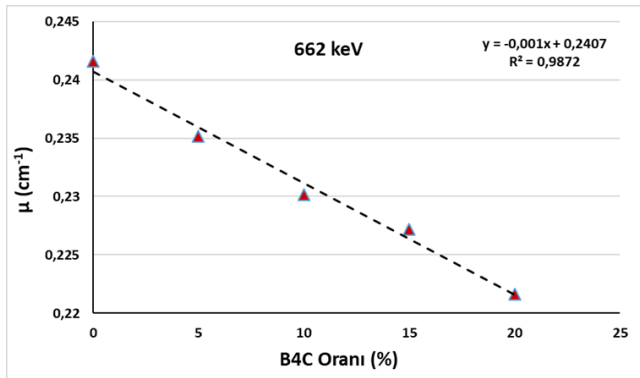
Numunelerin Bileşen Yüzdeleri (%)	Ölçülen Numune Kalınlıkları (mm)	Ölçülen Numune Kütleleri (gr)
%5 $\text{B}_4\text{C}$ + % 95 6061Al	6,145 mm	11,65 gram
%10 $\text{B}_4\text{C}$ + % 90 6061Al	6,526 mm	12,22 gram
%15 $\text{B}_4\text{C}$ + % 85 6061Al	6,573 mm	12,12 gram
%20 $\text{B}_4\text{C}$ + % 80 6061Al	6,650 mm	12,07 gram

Şekil 8'de toz metalürjisi yöntemiyle üretilen numunelerin doğrusal zayıflatma katsayılarının kullanılan gama enerjilerine göre değişimleri verilmektedir. Şekil incelendiğinde en yüksek zayıflatma katsayısı  $\text{B}_4\text{C}$  ilave edilmemiş 6061 Al numunede elde edilirken sırası ile %5, %10, %15 ve %20  $\text{B}_4\text{C}$  numunelerde elde edilmiştir. Ayrıca zayıflatma katsayısının artan gama enerjisiyle azaldığı da Şekil 8'de görülmektedir.

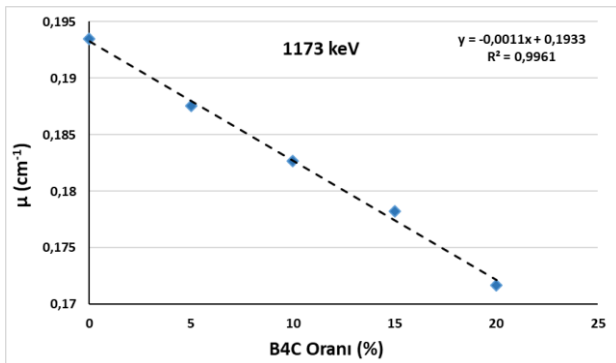


Şekil 8. Toz metalürjisiyle üretilmiş numunelerin  $\mu$  katsayısı değerlerinin enerjile değişim grafiği

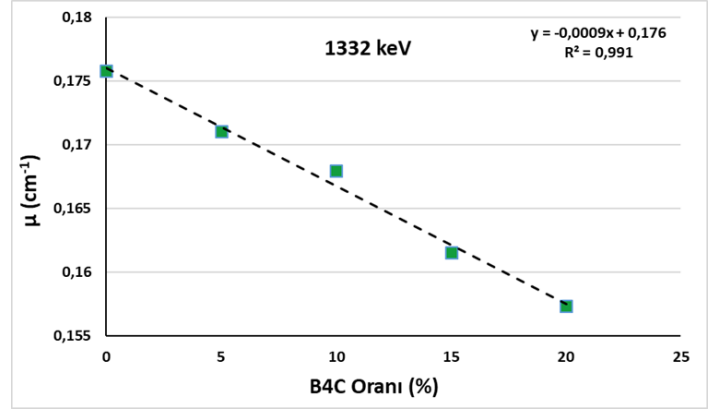
Her bir numunenin ilgili bileşen oranındaki malzeme kompozisyonunun sahip olduğu hesaplanan kütle zayıflatma katsayısı ( $\mu/\rho$ ) değerleri (teorik veriler) 'NIST (National Institute of Standards and Technology) XCOM' isimli platform üzerinden gerçekleştirilmektedir. Şekil 9-11'de zayıflatma katsayıları sırasıyla 662 keV, 1173 keV ve 1332 keV enerjisi için kompozitteki B<sub>4</sub>C oranının bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir. Bu şekillerden de görülebileceği gibi, lineer zayıflatma katsayıları ( $\mu$ ), artan gama ışını enerjileri ve B<sub>4</sub>C oranının azalmasıyla birlikte azalmıştır. Her bir numune için NIST XCOM'da hesaplanan zayıflatma katsayıları ile gamma spektroskopi laboratuvarında gerçekleştirilen deneyler sonucunda ölçülen zayıflatma katsayıları arasındaki regresyon analizi yapılmış olup bu ilişkiler için R<sup>2</sup> zayıflatma oranı için yaklaşık %98'in üzerinde bulunmuştur.



Şekil 9. Toz metal numunelerin B<sub>4</sub>C 'nin bir fonksiyonu olarak doğrusal zayıflatma katsayılarının 662 keV enerjideki değişimi

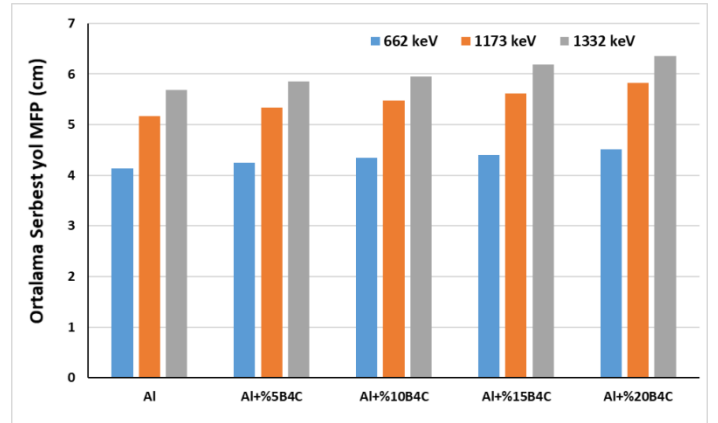


Şekil 10. Toz metal numunelerin B<sub>4</sub>C 'nin bir fonksiyonu olarak doğrusal zayıflatma katsayılarının 1173 keV enerjideki değişimi



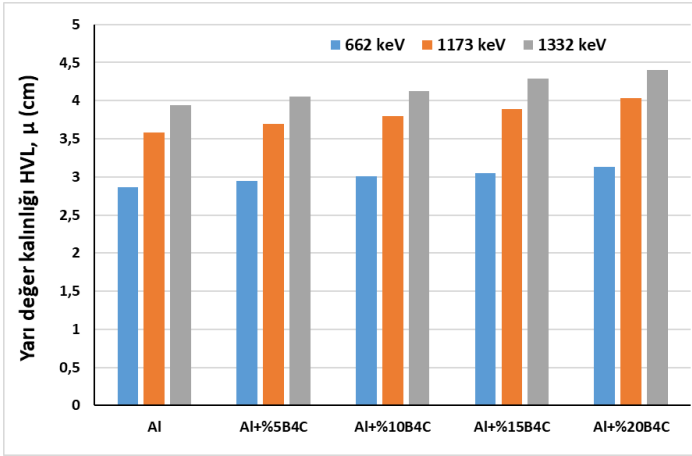
Şekil 11. Toz metal numunelerin B<sub>4</sub>C 'nin bir fonksiyonu olarak doğrusal zayıflatma katsayılarının 1332 keV enerjideki değişimi

Gama ışınlarının iki etkileşimi arasındaki ortalama uzaklık olarak tanımlanan ortalama serbest yol (MFP); farklı oranlarda B<sub>4</sub>C toz metal numunelerin, ölçülmüş olan doğrusal zayıflatma katsayılarını kullanarak, daha önceden Denklem 6 ile ifade edilen ortalama serbest yol büyüklüklerinin hesaplaması yapılmıştır. Deneysel olarak elde edilen lineer soğurma katsayısından faydalanarak hesaplanan ortalama serbest yol (MFP) değerleri Şekil 12'de gösterilmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere her kompozit tipi için ortalama serbest yol değerleri hem artan B<sub>4</sub>C oranı ile hem de artan gama enerjisi ile birlikte artmaktadır.

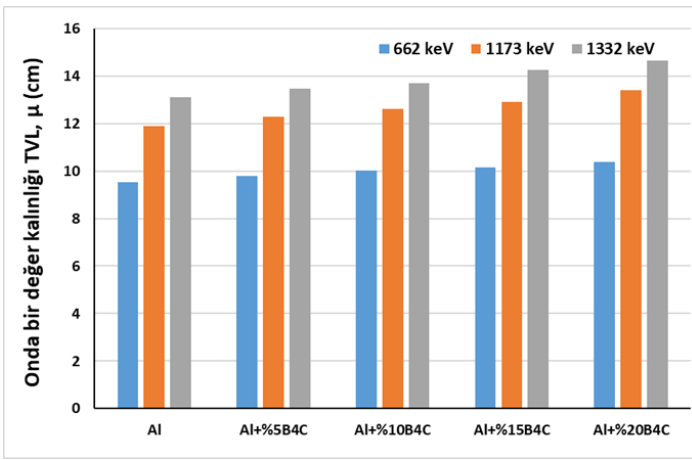


Şekil 12. Toz metal numunelerin hesaplanan ortalama serbest yol (MFP) değerleri

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 7 ve 8 kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Yarı Değer Kalınlığı (HVL) ve Onda bir Değer Kalınlığı (TVL) sonuçları Şekil 13 ve Şekil 14'de gösterilmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere artan gama enerjisiyle yarı değer kalınlığı (HVL) ve onda bir değer kalınlığı (TVL) her kompozit tipi için hem artan B<sub>4</sub>C oranı ile hem de artan gama enerjisi ile birlikte artmaktadır.



Şekil 13. Toz metal numunelerin hesaplanan Yarı Değer Kalınlığı (HVL) değerleri



Şekil 14. Toz metal numunelerin hesaplanan Onda bir Değer Kalınlığı (TVL) değerleri

#### 4. Sonuç

Çalışmada farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) B<sub>4</sub>C ilave edilerek Toz Metalurjisi yöntemiyle üretilen numunelerin radyasyon özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan 6061 Al Alüminyum içerisine Toz Metalurjisi yöntemiyle ilave edilen B<sub>4</sub>C oranı arttıkça 6061 Al Alüminyumun lineer zayıflatma katsayısının düştüğü gözlenmiştir.

2,7 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olan 6061 Al Alüminyum içerisine katılan 2,52 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip B<sub>4</sub>C oranı artırıldıkça (%5 B<sub>4</sub>C,%10 B<sub>4</sub>C,%15 B<sub>4</sub>C,%20 B<sub>4</sub>C),numune yoğunluk değerlerinin sırasıyla (2,69 gr/cm<sup>3</sup> , 2,68 gr/cm<sup>3</sup> , 2,67 gr/cm<sup>3</sup> , 2,66 gr/cm<sup>3</sup>) düştüğü gözlenmiştir.

6061 Al Alüminyum ve B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit numunelerin her birine üretimleri esnasında maksimum 50 MPa basınç uygulanmıştır. B<sub>4</sub>C'nin çekme mukavemetinin 155 MPa olması (Tablo 1) ve çekme mukavemetinin uygulanan basınç değerinin oldukça üstünde yer alması bununla birlikte 2900-3580 kgf.mm<sup>-2</sup> Knoop sertlikte son derece sert bir malzeme olmasından ötürü uygulanan basınç değeri altında elastik ve plastik deformasyon göstermemektedir. Bu durum Tablo 3'de belirtildiği gibi 6061 Al Alüminyum içerisindeki artan B<sub>4</sub>C yüzdelere bağlı olarak (%5 B<sub>4</sub>C, %10 B<sub>4</sub>C, %15 B<sub>4</sub>C, %20 B<sub>4</sub>C) sırasıyla ölçüm sonuçlarına göre numune kalınlıklarının 6,145 mm, 6,526 mm, 6,573 mm, 6,650 mm olacak şekilde artmasına sebebiyet vermiştir.

Üretilen 6061 Al matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli malzemeler,toz metalurjisiyle üretildiklerinden ve B<sub>4</sub>C'nin dayanımından dolayı şekil değiştirmeyip sıkıştırılmamasından ötürü poroziteli bir iç yapıya sahiptirler.Bu durum radyoaktif zırhlama özelliklerini azaltmıştır bu nedenle B<sub>4</sub>C katkısının artması radyoaktif zırhlama gerektiren alanlarda (tank zırhlarında, motor sabotaj tozlarında,kurşun geçirmez yeleklerde v.s...) kullanımına ilave bir katkıda bulunmamaktadır.Fakat sahip oldukları bu gözenekli (poroziteli) yapı sayesinde,bu malzemenin kendinden yağlamalı yatak ve burçlarda ve ses yutucu akustik panel kaplamalarında kullanılabilceği öngörülmektedir.

Çalışmanın devamı olarak literatürdeki mevcut çalışmalarda eksik olan üretim parametreleri ve içerik oranları arasındaki optimizasyon probleminin giderilerek, parça imalatına uygun optimum parametrelerin belirlenmesi de bilimsel birikime yapılacak katkı olarak özetlenebilir.

#### Kaynakça

- [1] Zeyrek, C. (2013). İyonize radyasyon uygulamaları için güvenlik ve korunmaya yönelik genel kavramlar. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(3), 1-9.
- [2] Uludağ, H. İ. (2010). Radon Kirliliği ve Halk Sağlığı İlişkisi. Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, İzmir.
- [3] Ulutin, H. C., Çınar, U., & Barişik, T. (2019). Yeraltı Maden İşletmelerinde Radon Gazı Tehlikesi Ve Korunma Önlemleri. Turan: Stratejik Arastirmalar Merkezi, 11(41), 508-512.
- [4] Akbal, A. (2008). Elektromanyetik dalgaların mitotik kromozomlar, bakteri gelişimi, enzim aktivitesi ve dna üzerine etkileri/The effect of electromagnetic waves on mitotic chromosome, bacterium growth, enzyme activity and dna.
- [5] Akılı,V., 2019. Bizmut Oksit-Kurşun Klorür-Tellür Oksit Sisteminin Isıl, Optik ve Yapısal Açından İncelenerek Camlaşma Davranışlarının Belirlenmesi ve Camların Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 146s, İstanbul..
- [6] Güven, Ş. (2011). Toz metalurjisi ve metalik köpükler. Teknik Bilimler Dergisi, 1(2), 22-28.
- [7] Babayev, Y. Toz Metalurjisi İle Üretilmiş İki Metal Parçanın Difüzyon Kaynağıyla Birleştirilmesinde Sıcaklığın Kaynak Bölgesine Etkisinin İrdelenmesi.
- [8] Groover, M.P, 2016. Modern İmalatın Prensipleri. Çev.Yurdakul,M., İç,Y.T., Nobel Yayınevi, 1002s, Ankara.
- [9] Yağmur, S., & Muharrem, P. U. L. (2022). Al 6061/B<sub>4</sub>C /GNP Hibrit Kompozitin İşlenmesinde Takım Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. International Journal of Engineering Research and Development, 14(2), 816-828.

- [10] Karakoç, H., Karabulut, Ş., Çalın, R., Kırmızı, G., & Çıtak, R. AA6061 Matrisli %15  $B_4C_p$  Takviyeli Kompozit Malzemelerin TM Yöntemi ile Üretimi ve T6 Yaşlandırma Süresinin Sertliğe Olan Etkilerinin İncelenmesi.
- [11] Karaoğlu, S. (2011). T/M ile Üretilen Al/SiC MMK'lerde  $B_4C$  Katkısının Laser Işın Kaynağı Karakteristiklerine Etkileri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(1), 27-32.
- [12] Ergün, N. (2006). Borkarbür Silisyum Karbür Kompozitlerinin Reaktif Sıcak Presleme İle Üretilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [13] Alkan, M. (2008). Kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi yöntemi ile bor karbür tozu üretimi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [14] Özer, H. (2014). Kendiliğinden İlerleyen Yüksek Sıcaklık Sentezi Yöntemi İle  $B_4C$  Üretiminde Katalizörlerin Etkilerinin Araştırılması (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [15] Cengiz, M. (2016).  $B_4C$  esaslı kompozitlerin  $B_4C$  /Me başlangıç tozlarından hareketle spark plazma sinterleme (sps) yöntemi ile üretilmesi ve karakterizasyonu (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [16] Günay, B. (2017). Bor Karbürün Karakterizasyonu ve Nano  $B_4C$  Partikülü Üretimi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [17] Bakan, S. (2020). Dinamik/termokimyasal yöntemle bor karbür ( $B_4C$ ) seramik tozu üretimi (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- [18] Eruslu, N., Altınoğlu, A., & Taptık, Y. (1990). Alaşımlar Ders Notu. İTÜ, İstanbul.
- [19] Gökşahin, E. (2007). Sert eloksal ile kaplanmış 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışının incelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [20] Kamber, O. (2017). Al 6061 matrisli geleneksel ve atık takviyeli hibrit kompozitlerin tribolojik davranışlarının incelenmesi (Master's thesis, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [21] Akyıldırım, H. (2011). Ağır betonların nükleer radyasyon zırhlama özelliklerinin araştırılması (Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).