

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM MATRİSLİ  
KOMPOZİTLERDE BOR MİNERALİ İLAVESİNİN MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN DENEYSEL TASARIM YÖNTEMLERİ  
İLE İNCELENMESİ**

**ORÇUN YÖNTEM**

**KOCAELİ 2019**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM MATRİSLİ  
KOMPOZİTLERDE BOR MİNERALİ İLAVESİNİN MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN DENEYSEL TASARIM YÖNTEMLERİ İLE  
İNCELENMESİ**

**ORÇUN YÖNTEM**

**Dr. Öğr. Üyesi Şenol ŞAHİN**  
Danışman, Kocaeli Üniv.

**Doç. Dr. Nejat Yıldırım SARI**  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

**Dr. Öğr. Üyesi Osman İYİBİLGİN**  
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



**Tezin Savunulduğu Tarih: 17.07.2019**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Alüminyum birçok özelliği bakımından endüstri için çok kritik bir elementtir. Dünyada en çok bulunan 3.element, endüstride ise en çok kullanılan 2. metaldir. Birçok yönden, dünyanın en çok kullanılan metali olan çelik ile kıyaslanabilecek özelliklere sahiptir.

Otomotiv endüstrisinde ağırlık azaltımı yakıt tasarrufu için çok önemli bir kriterdir, yapılan araştırmalar da ağırlıkta %10 düşüş yakıt sarfiyatında %6-7 arasında tasarruf sağladığı ortaya çıkmıştır. Alüminyum daha hafif, daha güvenli ve daha güçlü ekipmanlar otomobiller, kamyonlar ve spor amaçlı taşıtlar üretmek için oldukça önemli bir malzemedir.

Alüminyumun mekanik özelliklerini iyileştirmek için tez çalışmamda kullandığımız bor elementi ise ülkemiz için son derece stratejik, değerli ve kullanım alanı oldukça fazla olan metal ile ametal arası yarı iletken bir elementtir. Birlikte kullanıldığı malzemeye birçok önemli nitelik kazandıran bor elementinin dünyada ve ülkemizde kullanımı gittikçe artmaktadır. Dünya rezervinin yaklaşık %72'si Türkiye'de bulunmakla beraber bor elementi nükleer uygulamalar, yakıtlar, otomotiv, enerji, elektronik, uzay ve hava araçları, kimya, deterjan, tarım, inşaat, cam askeri araç gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Tez çalışmamda; bor mineralinin toz metalurjisi ile üretilen alüminyum malzemenin mekanik özelliklerini deneysel tasarım yöntemi ile inceledim.

Kendi araştırma konusu fikrinin bir bölümünü hem yüksek lisans tez konusu olarak çalışmama izin veren hem de tez çalışmamda; lisans ve lisanüstü öğrenim hayatım boyunca bana destek verip yol gösterip, motive eden değerli danışman öğretmenim sayın Dr. Öğr. Üyesi Müh. Şenol Şahin'e teşekkürlerimi sunarım.

Gerek iş hayatım gerekse öğrenim hayatım boyunca bana sürekli destek veren eşim Ayşem Eda Yöntem ve her koşulda desteklerini hissettiğim, beni hayatım boyunca destekleyen annem Fisun Yöntem ve babam Ahmet Cengiz Yöntem'e teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2019

Orçun YÖNTEM

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ .....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT .....	viii
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	2
1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler .....	2
1.1.1. Matris malzemeleri.....	3
1.1.1.1. Alüminyum matrisli kompozitler .....	3
1.1.1.2. Magnezyum matrisli kompozitler .....	4
1.1.1.3. Bakır matrisli kompozitler.....	5
1.2.1. Takviye malzemeleri.....	5
1.2.1.1. Bor karbür.....	6
1.2. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	7
1.2.1. Katı faz üretim yöntemleri .....	8
1.2.1.1. Toz metalurjisi.....	8
1.2.1.2. Difüzyon bağı yöntemi .....	10
1.2.2. Sıvı faz üretim yöntemleri .....	10
1.2.2.1. Sıvı metal infiltrasyon .....	11
1.2.2.2. Sıkıştırma döküm .....	11
1.2.2.3. Sıvı metal karıştırma .....	12
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	14
2.1. Kullanılan Malzemeler.....	14
2.1.1. Alüminyum ve alüminyum esaslı malzemeler.....	14
2.1.2. Mikronize toz susuz bor maddesi.....	14
2.2. Deneysel Tasarım Metodları.....	14
2.2.1. Tam faktöriyel tasarım .....	15
2.2.2. Plackett-Burman tasarımı.....	15
2.2.3. Taguchi metodu.....	16
2.2.3.1. Kontrol edilebilir parametrelerin ve faktörlerin belirlenmesi .....	19
2.3. Kompozit Hammadde Hazırlanması.....	21
2.4. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Deney Numunesi Üretimi .....	21
2.5. Deney Şartları, Araçlar, Makineler ve Donanımlar .....	23
3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	24
3.1. Yoğunluk Deneyleri.....	24
3.2. Sertlik ve Malzeme Parametreleri Testleri .....	25
3.3. Aşınma ve Tribolojik Parametre Testleri.....	26
3.4. İstatistiksel Analiz.....	28
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	32
KAYNAKLAR .....	33

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	35
ÖZGEÇMİŞ .....	36



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Endüstriyel uygulamalarda kullanılan matris malzemesi dağılımı .....	3
Şekil 1.2.	Bor karbür bileşiği.....	6
Şekil 1.3.	Toz metalurjisi proses adımları .....	9
Şekil 1.4.	Sıcak pres uygulama örneği .....	9
Şekil 1.5.	Sıkıştırma döküm şematik gösterimi.....	12
Şekil 1.6.	Sıvı metal karıştırma yöntemi şematigi.....	12
Şekil 2.1.	Deney tasarımı süreci modeli.....	15
Şekil 2.2.	Bilyalı değirmende karıştırma (a) bilyalı değirmen (b) numune.....	22
Şekil 2.3.	Sıcak pres cihazı.....	22
Şekil 2.4.	Zımpara ve parlatma cihazı .....	23
Şekil 2.5.	Hassas kesme makinesi .....	23
Şekil 3.1.	Saf, 1050, 5754 serisi kompozitlerin aşınma hızı anlamlılık verileri .....	28
Şekil 3.2.	Saf, 1050, 5754 serisi kompozitlerin sinyal/gürültü oranları verileri .....	29
Şekil 3.3.	Saf, 1050, 7072 serisi kompozitlerin aşınma hızı anlamlılık verileri .....	29
Şekil 3.4.	Saf, 1050, 7072 serisi kompozitlerin sinyal/gürültü oranları verileri .....	30
Şekil 3.5.	Saf, 5754, 7072 serisi kompozitlerin aşınma hızı anlamlılık verileri .....	30
Şekil 3.6.	Saf, 5754, 7072 serisi kompozitlerin sinyal/gürültü oranları verileri .....	31

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	SiC, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve magnezyum malzemenin mekanik özellikleri.....	4
Tablo 1.2.	MMK içinde kullanılan bazı takviye bileşenlerinin özellikleri.....	6
Tablo 1.3.	Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri .....	9
Tablo 2.1.	Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu.....	18
Tablo 2.2.	Saf, 1050, 5754 Serisi Alüminyum kompozit malzemelere uygun ortogonal dizinin seçilmesi.....	20
Tablo 2.3.	Saf, 1050, 7072 Serisi Alüminyum kompozit malzemelere uygun ortogonal dizinin seçilmesi.....	20
Tablo 2.4.	Saf, 5754, 7072 Serisi Alüminyum kompozit malzemelere uygun ortogonal dizinin seçilmesi.....	21
Tablo 3.1.	Saf, 1050, 5754 Serisi Alüminyum kompozitlerin yoğunluk ölçümleri .....	24
Tablo 3.2.	Saf, 1050, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin yoğunluk ölçümleri .....	24
Tablo 3.3.	Saf, 5754, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin yoğunluk ölçümleri .....	25
Tablo 3.4.	Saf, 1050, 5754 Serisi Alüminyum kompozitlerin mekanik özellikleri.....	25
Tablo 3.5.	Saf, 1050, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin mekanik özellikleri.....	26
Tablo 3.6.	Saf, 5754, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin mekanik özellikleri.....	26
Tablo 3.7.	Saf, 1050, 5754 Serisi Alüminyum kompozitlerin aşınma özellikleri.....	27
Tablo 3.8.	Saf, 1050, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin aşınma özellikleri.....	27
Tablo 3.9.	Saf, 5754, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin aşınma özellikleri.....	27

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	:	Alüminyum
cm	:	Santimetre
HV	:	Vickers Sertlik Birimi
g	:	Gram
GPa	:	Gigapascal
Mg	:	Magnezyum
mm	:	Milimetre
MPa	:	Megapascal
n	:	Poison Oranı
N	:	Newton

### Kisaltmalar

B <sub>4</sub> C	:	Bor Karbür
MMK	:	Metal Matrisli Kompozitler
SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu
SB	:	Susuz Bor
SiC	:	Silisyum Karbür
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	:	Silisyum Nitrür
S/N	:	Sinyal/Gürültü Oranı
TiN	:	Titanyum Nitrür
WC	:	Wolfram Karbür



# TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE BOR MİNERALİ İLAVESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN DENEYSEL TASARIM YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

## ÖZET

Alüminyum sektörünün gelişmesiyle birlikte artık her alanda karşımıza çıkan kompozit malzemelerin kullanım alanları oldukça yaygınlaşmıştır. Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin özelliklerini geliştirmek amacıyla mekanik özellikleri daha iyi olan çeşitli takviyeler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; yüksek sertlik, kimyasal kararlılık ve iyi mekanik özelliklere sahip susuz bor mineralleri alüminyum metali içine ilave edilerek metal matrisli kompozit yapılar elde edilmiştir. Öğütme sayesinde boyutları küçültülen susuz bor ve alüminyum malzemelerin tozları homojen bir şekilde karıştırılarak toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Presleme ile sıkıştırılan tozlar sonrasında sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Hazırlanan kompozit yapılar; özelliklerinin incelenmesi ve deneysel verilerin teorik verilerle karşılaştırılması amacıyla analiz edilmiştir.

Numuneler hazırlanırken Taguchi deneysel tasarım metodundan yararlanılmıştır. Bu sayede belirli parametreler seçilerek, seçilen parametreler üzerinden deney grupları incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda numunelerin morfolojileri SEM analizleri ile incelenmiştir. Sertlik değerleri Vickers Sertlik Testi ile ölçülmüş ve aşınma deneyleri yapılmıştır.

Bu çalışma sayesinde alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde susuz bor mineralinin etkisini incelemek amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve analizler sonucunda beklenen değerlerin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, Aşınma Özellikleri, Bor, Deneysel Tasarım, Mekanik Özellikler.

# **THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BORON MINERAL ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM MATERIAL PRODUCED BY POWDER METALLURGY BY MEANS OF EXPERIMENTAL DESIGN METHODS**

## **ABSTRACT**

With the development of the aluminum industry, the usage areas of composite materials which are encountered in every field have become widespread. Various reinforcements with better mechanical properties are used to improve the properties of the aluminum matrix composite materials. In this study; waterless boron minerals having high hardness, chemical stability and good mechanical properties were added to aluminum metal and metal matrix composite structures were obtained. Thanks to grinding, the powder of waterless boron and aluminum materials whose size has been reduced has been produced by powder metallurgy by mixing them homogeneously. The squeezed powders were then sintered. Composite structures prepared; and experimental data were compared with theoretical data.

The Taguchi experimental design method was used to prepare the samples. In this way, specific parameters were selected and experimental groups were examined on selected parameters. As a result of the studies, the morphologies of the samples were examined by SEM analysis. Hardness values were measured by Vickers Hardness Test and wear tests were performed.

In this study, experimental studies have been carried out to investigate the effect of waterless boron mineral on the mechanical properties of aluminum composites.

**Key words:** Aluminum, Wear Properties, Boron, Experimental Design, Mechanical Properties.

## GİRİŞ

Kompozit malzemeler; en az iki farklı malzemenin birleşmesi ile oluşan, matris ve takviye adı verilen bileşenlerinin arayüzey oluşturarak bir araya gelip tek bir malzeme gibi davrandığı ileri teknolojik bir malzeme grubudur. Gelişen teknoloji ile birlikte kimyasal ve mekanik dayanımları yüksek ve aynı zamanda hafif malzemelere karşı bir çok sektörde artan talepler kompozit malzemelere olan ilgiyi de artırmıştır [1]. Hafifliğin önem kazandığı otomotiv sektöründe de devam eden alternatif malzeme arayışı ile birlikte alüminyum malzemelere eğilim başlamış ve mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla alüminyumun matris olarak kullanıldığı metal matrisli kompozitler tercih sebebi olmuştur [2]. Metal matrisli kompozit üretiminde tercih edilen takviye malzemeleri ise; mekanik özellikleri iyi ve sertlik değerleri yüksek seramik malzemelerdir. Bor Karbür ( $B_4C$ ), elmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert mühendislik malzemesidir ve metal matrisli kompozitler için önemli bir takviye malzemesidir [3]. Ergime sıcaklığı yüksek, kimyasal açıdan kararlı, sertlik değerleri yüksek  $B_4C$  mineralinin yoğunluk değerleri düşük ve dayanım özellikleri iyi olan alüminyum matris içinde kullanılması ile mukavemet/yoğunluk oranı yüksek ve aşınma özellikleri iyi bir malzeme geliştirilmesi hedeflenmektedir [4, 5].

Özellikle otomotiv, havacılık ve beyaz eşya sektörlerinde hem hafif (veya ağırlığı azaltılmış) hem de rijitliği artırılmış malzemelere ihtiyaç duyulmakta olup üretimde kullanılan malzemelerin iç özelliklerinden beklenen performans alınmadığı takdirde üretim verimsizliği, kalite problemleri ve buna bağlı olarak müşteri memnuniyetsizliği gibi durumlarla karşılaşmak kaçınılmazdır [6].

Bu çalışmayla nihai ürün performansını artırmaya yönelik SB (susuz bor) katkı oranının etkisiyle üretim parametrelerinin etkileri birlikte değerlendirilerek en etkili katkı oranının ve üretim parametrelerinin saptanması ve böylece eğilme mukavemetini artırarak rijitliği yüksek, kompozit malzeme geliştirilmesi amaçlanmıştır.

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal kompozit malzemeler uzun yıllardır günlük yaşamın birçok alanında uygulama alanı bulmuşlardır. Metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesinde ana hedef; kompozit yapının, yapıyı meydana getiren matris ve takviye adı verilen bileşenlerden daha üstün özellikler göstermesidir [7, 8].

Metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesinde beklenen özelliklerin en önemlilerinden bir tanesi de hafifliktir. Hafif metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesinde önemli gelişmeler son yıllarda başarılıdır ve bu sayede metal matrisli kompozit malzemeler otomotiv başta olmak üzere bir çok farklı sektörde kullanım alanı bulmuştur [7].

Bu yenilikçi malzemeler, modern malzeme bilimi ve gelişimi için sınırsız olanaklar sunar; metal matrisli kompozit malzemelerin özellikleri, uygulamaya bağlı olarak istenen şekilde tasarlanabilir. Bu potansiyel doğrultusunda, metal matris kompozitler tasarımcının istediği tüm kavramları yerine getirir [8].

Metal matrisli kompozitler; yekpare olarak kullanılan malzemelere göre aşağıda belirtildiği gibi bir çok üstün özellik gösterirler;

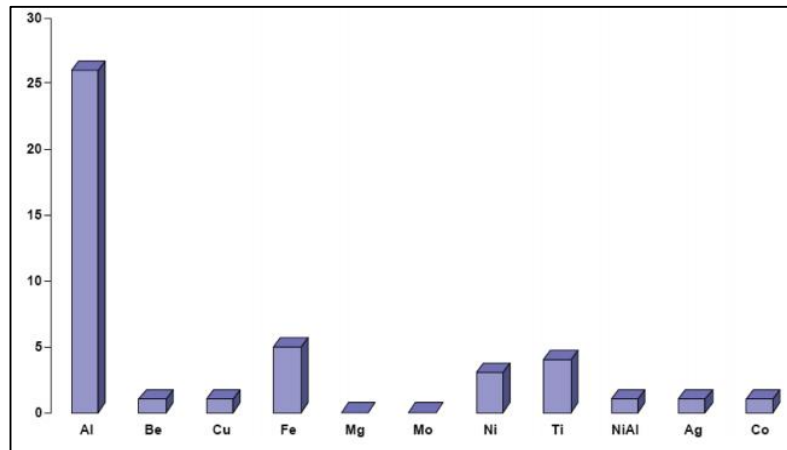
- Yüksek elektrik ve ısı iletkenlik,
- Düşük yoğunluk,
- Yüksek tokluk,
- Yüksek darbe dayanımı,
- Yüksek elastiklik modülü ve yüksek mukavemet,
- Yüksek yüzey sertliği,
- Isıl şoklara karşı düşük hassasiyet,
- Yüksek aşınma direnci,
- Yüksek yorulma direnci özellikleri gösterirler [9].

### 1.1.1. Matris malzemeleri

Matris malzemesi genel amacı itibari ile, yapışma ve yapışma özellikleri sayesinde bütün yapıyı bir arada tutmaya yarayan yapıdır. Kompozit malzemeler içinde üretim sırasında takviye ile desteklenecek ve yapıda gerekli katı formu sağlayan yapıya matris denir. Bu özellikle süreksiz takviyeli kompozitlerde gereklidir, çünkü takviyeler elle tutulabilir bir form sağlamak için yeterli uzunlukta değildir. Kompozit yapıların daha güçlü ve sert yapıda olması beklenir ancak matris yapısal olarak kompozit için zayıf olan ve takviye ile desteklenen taraftır. Bu nedenle sürekli bir faz olarak matris, enine özellikleri, lamineler arası mukavemeti ve kompozitin yüksek sıcaklık mukavemetini kontrol eder. Bununla birlikte, matris, dış kuvvetlerden kompozit yapıya etkin yük transferi sağlayarak kompozit malzemelerin en verimli şekilde kullanılmasını sağlar. Metal matrisli kompozitler, matris malzemesine göre farklı kategorilerde sınıflandırılırlar [8].

#### 1.1.1.1. Alüminyum matrisli kompozitler

Alüminyum matrisli kompozitler, metal matrisli kompozitler içerisinde otomotiv ve havacılık endüstrilerinde de yaygın olarak kullanıldığı için, en geniş kullanım alanı bulan malzemelerdir. SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve B<sub>4</sub>C gibi takviye bileşenleri ile sıklıkla kullanılan alüminyum matrisli kompozitlerin endüstride kullanım oranını gösteren grafik Şekil 1.1.'de verilmektedir [8].



Şekil 1.1. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan matris malzemesi dağılımı [8]

Magnezyum matrisli kompozit malzemeler de benzer avantajlara sahip olmasına karşın, imalatta karşılaşılan kısıtlamalar ve düşük ısı iletkenliği nedeniyle, alüminyum matrisli kompozitlere kıyasla yaygın olarak kullanılmazlar, özellikle uzay teknolojisi uygulamaları için geliştirilip kullanılırlar [8].

#### 1.1.1.2. Magnezyum matrisli kompozitler

Magnezyum, yapısal alaşımların kaynağı olarak kullanılan en hafif metallere bir tanesidir. Günümüzde magnezyum esaslı kompozit malzemeler hafif ve düşük yoğunluklu olmaları, yüksek sıcaklıkta iyi mekanik özellik göstermeleri ve mükemmel korozyon direnci özelliklerinden dolayı; havacılık ve uzay, otomotiv, denizcilik, biyomalzemeler gibi sektörlerde kullanım alanı bulmaktadır [10].

Düşük yoğunluk ve diğer mekanik özelliklerinden dolayı magnezyum metal yapıları kompozitlerin matris fazı olarak kullanılması durumunda bu kompozitlerin güçlendirilebilmesi ve sertlik değerlerinin geliştirilebilmesi için, literatürde seramik takviyelerin kullanımına rastlanmaktadır. SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi takviye malzemeler kompozit malzeme yapısına eklenerek aşınma ve sertlik değerlerinin değişimine etkileri literatürde sıklıkla karşılaşılan konular arasındadır. Takviye fazları ile birlikte kompozit malzemelerin mikrosertlikleri ve aşınma davranışlarının iyileştiği literatür çalışmalarından gözlemlenmektedir. Tablo 1.1'de magnezyum ile SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı malzemelerinin mekanik özellikleri gösterilmektedir [10].

Tablo 1.1. SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve magnezyum malzemenin mekanik özellikleri [10]

Özellikler	Magnezyum (Mg)	Silisyum Karbür	Alüminyum Oksit
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1,73	3,1	3,69
Erime Noktası(°C)	650	2200-2700	2072
Poisson Oranı	0,29	0,14	0,21
Renk	Parlak Gri	Siyah	Beyaz

### 1.1.1.3. Bakır matrisli kompozitler

Karbür, borür veya nitrür gibi seramik parçacıkları içeren bakır matrisli kompozitler son bir kaç yıl içerisinde büyük ilgi görmüştür. Bu ilginin sebebi bakır matrisli kompozit malzemelerin gösterdiği yüksek elektriksel ve termal iletkenlik, iyi mekanik ve tribolojik özellikler ve mikroyapısal stabilite değerleridir. Bakır matrisli kompozit malzemeler ile birlikte özellikle mükemmel elektrik iletkenliği ve yüksek sıcaklıklarda kararlılığı ile titanyum nitrür takviyeler sıklıkla kullanım alanı bulmaktadır. Ayrıca iyi korozyon direnci sayesinde de titanyum nitrür katkı malzemeler, bakır matrisli kompozitler için tercih sebebi olmaktadır [11].

### 1.1.2. Takviye malzemeleri

Günümüzde geleneksel malzeme kullanımının yetersiz kalması ve ihtiyaçları karşılayamaması durumunda geliştirilmiş ileri teknoloji malzemeleri ve kompozit malzemeler kullanımı artmıştır. Geleneksel malzemelerden oluşan matris bileşeninin içine, matris bileşeninin özelliklerini geliştirmek için bazı takviye malzemeleri ilave edilmek istenmesi konusu son yıllarda hızlı bir ilerleme kaydetmiştir. Yüksek mukavemet/ hafiflik özellikleri sayesinde geleneksel malzemelere rakip olan kompozit malzemelerin metal matrisli yapılarında daha çok SiC, B<sub>4</sub>C, TiN, TiC ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> gibi takviye malzemeleri kullanılmaktadır. Takviye malzemeleri olarak geçiş metallerinin nitrür, borür ve karbür gibi bileşiklerinin kullanılmasının sebebi bu malzemelerin kovalent ve iyonik bağlı seramiklere göre ıslatılabilirliklerinin yüksek olmasıdır. Bu malzemeler arasında ise en sık kullanım alanı bulan takviye malzeme; yüksek darbe ve aşınma direnci ile yüksek sertlik ve rijitlik değerlerine sahip olmasından dolayı B<sub>4</sub>C olmaktadır [12].

Takviye bileşeni seçilirken en önemli kriter; matris bileşeni ile oluşturduğu arayüzdür. Kompozit malzemelerin özellikleri; matris ve takviye malzemeleri ve bu iki bileşenin kendi arasında oluşturduğu arayüzeyin özelliklerine göre şekillenir. Metalurjik açıdan bakıldığında ise; takviye fazının herhangi bir bozulmaya uğramaması için kimyasal olarak kararlı olması, matris malzemesi tarafından ıslatılabilirliğinin yüksek olması, arayüzeyde kimyasal olarak çok düşük oranlarda tepkime olması önemli etkenlerdir. Tablo 1.2’de metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılabilen bazı takviye bileşenlerinin özellikleri verilmiştir [9].

Tablo 1. 2. MMK içinde kullanılan bazı takviye bileşenlerinin özellikleri [9]

Malzeme	Poison Oranı (n)	Kayma Modülü (GPa)	Eğme Mukavemeti (MPa)	Kırılma Tokluğu (MPa)
AlN	0,24	133	310	3,70
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0,24	120	490-980	5,60
SiC	0,16	200	580	2,80
B <sub>4</sub> C	0,16	195	310	3,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27-0,3	175	294-392	2,80-4,5
WC	0,20	287	1000	7,00

#### 1.1.2.1. Bor karbür

Siyah elmas olarak da bilinen tetrabor (B<sub>4</sub>C), yüzlerce bor bileşiği arasından en büyük pazar hacmine sahip olan bor bileşiğidir. Erime noktası 2350°C ve kaynama noktası 3500°C olan bor karbür üstün mekanik ve kimyasal özellikler gösteren önemli bir ileri teknoloji seramiğidir. Şekil 1.2’de görülen bor karbür bileşiği özellikle zırh üretiminde olmak üzere, yüksek sıcaklık uygulamalarında, nükleer reaktörlerde kullanılmaktadır. Bor karbür, elmas ve kübik bor nitrürden sonra en sert bileşik olarak bilinir [13, 14].



Şekil 1.2. Bor karbür bileşiği [15]



İlk defa bor karbür bileşiği 1934 yılında keşfedilmiş ve özellikle 1950 yıllarından sonra bor karbürün özellikleri ve yapısı ile ilgili detaylı araştırmalar yapılmıştır [13]. Bor karbür doğrudan kovalent bağlar tarafından birbirine bağlanmış ikosahedral kümelere sahip rombohedral kafes yapısına ve  $2,52 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğa sahiptir. Sıcaklık değişimleri ile birlikte yapısından kaynaklanan sertlik ve mekanik özelliklerde düşüş olmaması en önemli özelliklerinden biridir. Tüm bu sebeplerden ötürü bor karbür elektrot malzemesi olarak, kesme takımlarında, aşınma dayanımı ve yüksek sertlik gerektiren uygulamalarda, askeri alanlarda tercih sebebi olan bir malzemedir.  $B_4C$  özellikle aşınma dayanımını artırması açısından metal matrisli kompozit malzemelerde sıklıkla takviye bileşeni olarak kullanılmaktadır [16].

## 1.2. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Metal matrisli kompozit malzemelerin, geleneksel malzemelere kıyasla sahip oldukları mekanik özellikler; özellikle son yıllarda bu malzeme grubu üzerindeki çalışmalara olan ilgiyi artırmıştır. Ancak metal matrisli kompozit malzemelerin üretim maliyetlerinin hala geleneksel malzemelerden daha yüksek olduğu söylenebilir [17].

Metal matrisli kompozit malzemelerin özellikleri matris malzemesi ve takviye malzemesinin özelliklerine göre değişiklik göstereceği için metal matrisli kompozit malzemelere üretim yöntemi seçilirken, nihai üründen beklenen özelliklerin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Üretim yöntemi seçilirken birçok parametre göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir;

- Kompozit malzemenin çalışma sıcaklığı aralığı,
- Üretilecek parçanın şekli,
- Beklenen mekanik ve fiziksel özellikler,
- Matris bileşeni ile takviye bileşeni uyumu,
- Takviye malzemesinin formu (sürekli veya süreksiz),
- Matris bileşeni ile takviye malzemesi arasında oluşabilecek reaksiyonlar,
- Üretim prosesi maliyeti gibi parametreler üretim yöntemini seçerken dikkat edilmesi gereken parametrelerdendir [17, 18].

Bunlara ek olarak; takviye bileşeninin matris bileşeni içerisinde homojen olarak dağılımı, matris ile takviye malzemelerinin arasında oluşacak arayüzey ve reaksiyonlar da metal matrisli kompozit malzemelerin üretimlerinde tercih edilecek yöntemi belirleyen unsurlardır.

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri genel hatlarıyla katı faz üretim yöntemleri ile sıvı faz üretim yöntemleri olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Katı faz ve sıvı faz üretim yöntemleri aşağıda Tablo 1.3.'de gösterilmektedir.

Tablo 1.3. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri [17]

Katı faz Üretim Yöntemleri	Sıvı Faz Üretim Yöntemleri
Toz Metalurjisi	Sıvı Metal İnfilyasyon
	Sıkıştırma Döküm
Difüzyon Bağlı Yöntemi	Sıvı Metal Karıştırma
	Plazma Püskürtme

### 1.2.1. Katı Faz Üretim Yöntemleri

Katı faz üretim yöntemleri matris bileşeninin malzeme formunun katı halde olduğu metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan yöntemlerdir. İşlem süresi olarak sıvı faz yöntemlere göre daha fazla zaman alan yöntemlerdir. Toz metalurjisi yöntemi ve difüzyon bağı yöntemi olmak üzere iki başlık altında incelenecektir [18].

#### 1.2.1.1. Toz metalurjisi yöntemi

Toz metalurjisi, ince toz halindeki malzemelerin harmanlanarak bir kalıbın içinde arzu edilen bir şekle veya forma girmesi için sıkıştırılmasını, ardından sıkıştırılmış tozun kontrollü bir atmosferde sinterleme adı verilen işlem ile ısıtılmasını içeren bir süreçtir. Nihai parçayı oluşturmak için toz parçacıklarının toz metalurjisi ile şekillendirilmesi işlemi dört temel adımdan oluşur. Bunlar, Şekil 1.3.'de gösterildiği

şekli ile ilk olarak toz üretimi, üretilen tozların harmanlanması ve homojen karışımının sağlanması, tozların bir kalıp içinde yüksek basınç yardımıyla sıkıştırılması ve son olarak sıcaklık yardımı ile sinterlenmesi aşamalarından oluşur. Sıkıştırma işlemi genellikle oda sıcaklığında ve yüksek basınçta gerçekleştirilir. Sinterleme işlemi ise genellikle yüksek sıcaklıklarda ve atmosferik basınçta gerçekleştirilen bir işlemdir [19].

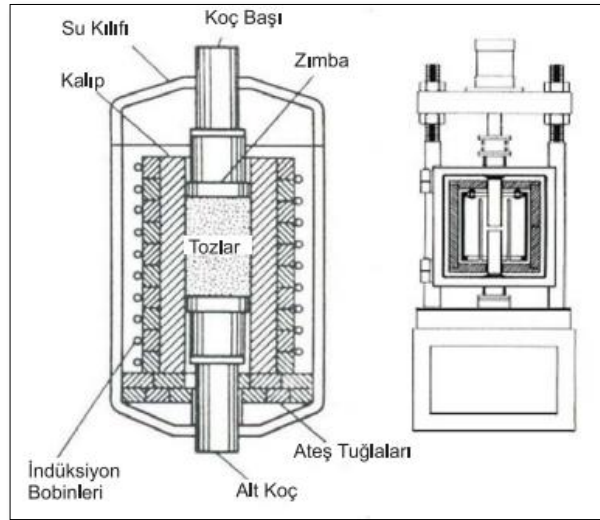


Şekil 1.3. Toz metalurjisi proses adımları

Toz metalurjisi prosesi, döküm veya deformasyon işlemlerinin uygulanması için zorluk teşkil eden çok yüksek mukavemet ve yüksek erime sıcaklığına sahip tek veya çok sayıda malzemenin imal edilmesi gereken parçalar için uygun bir prostedir [19].

Gelişen teknoloji ile birlikte hem preslemenin hem de sinterleme işleminin aynı anda yapıldığı karmaşık sistemler son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır [17].

Şekil 1.4.'de sıcak uygulama ile aynı anda pres uygulayan toz metalurjisi prosesi resmedilmektedir.



Şekil 1.4. Sıcak pres uygulama örneği [17]

Toz metalurjisi prosesi esnasında metal tozlarının hazırlanması için bir kaç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler;

- Elektrolitik ayırıştırma yöntemi
- Kimyasal yöntemler
- Atomizasyon yöntemi
- Mekanik yöntemler olarak sınıflandırılabilir.

Ayrıca mekanik yöntemler ise; talaş kaldırma, değirmende öğütme ve mekanik alaşımlama şeklinde kendi içinde gruplara ayrılabilir [20].

#### **1.2.1.2. Difüzyon bağı yöntemi**

Difüzyon bağı oluşturarak üretim yöntemi; katı faz metal matrisli kompozit üretim teknikleri arasında en pratik yöntemdir. Bu yöntem içerisinde metal folyo veya levha olarak matris malzemesi kullanılmaktadır. Kullanılan bu metal matris üzerine takviye malzemeleri olan lifler veya elyaflar istenilen açıda ve istenilen miktarda yerleştirilir. Bu işlemin sonrasında matris ve takviye bileşenleri arasında difüzyon sayesinde bir bağ oluşması beklenir ve bu şekilde bir kompozit malzeme elde edilir. Matris ve takviye malzemeleri arasında bir etkileşim olduğu için bu iki bileşenin de yüzeyleri temiz ve oksit tabakasından arındırılmış olmalıdır. Bu nedenle çeşitli kimyasal işlemler de uygulanır [18].

Difüzyon bağı işlemi düşük sıcaklıklarda gerçekleşen bir yöntem olduğundan dolayı özellikle sıvı fazdan üretim yöntemlerine kıyasla takviye bileşeninde bozulma veya ayrışma görülmemektedir [18].

#### **1.2.2. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri**

Metal matrisli kompozit üretimi yöntemleri arasında matris bileşenin sıvı formda kullanılması ile ortaya çıkmış üretim yöntemleridir. Sıvı matris bileşeni ile birlikte katı formda kullanılan takviye bileşeninin bir arayüzey oluşturarak kompozit yapıyı oluşturması beklenen uygulamalarda en önemli parametre matris bileşeninin ıslatabilirlik davranışdır. Bu şekilde matris malzemesi ile takviye bileşeni arasında oluşan yüzey sayesinde kompozit malzemenin mekanik özellikleri ve mukavemet

değerleri değişkenlik gösterir [18]. Bu çalışma içerisinde sıvı faz üretim yöntemlerinden sıvı metal infiltrasyonu, sıkıştırma döküm ve sıvı metal karıştırma teknikleri açıklanacaktır.

#### **1.2.2.1. Sıvı metal infiltrasyonu**

Sıvı faz üretim yöntemlerinde; sıvı matris fazının takviye bileşenini ıslatabilirliği her koşulda mümkün olmamaktadır. Islatma en basit hali ile sıvı bileşenin katı partiküller üzerindeki yayılması ile sağlanmaktadır. Islanmanın tam anlamıyla mümkün olmadığı durumlarda sıvı metalin takviye bileşenine infiltrasyonu bir çözüm yöntemi olarak kullanılabilir. Sıvı infiltrasyon yönteminde temel prensip bir kap içerisinde takviye bileşeninin alınması ve bu bileşenin sıvı matris bileşeni eklenerek ıslatılmasıdır [18, 20].

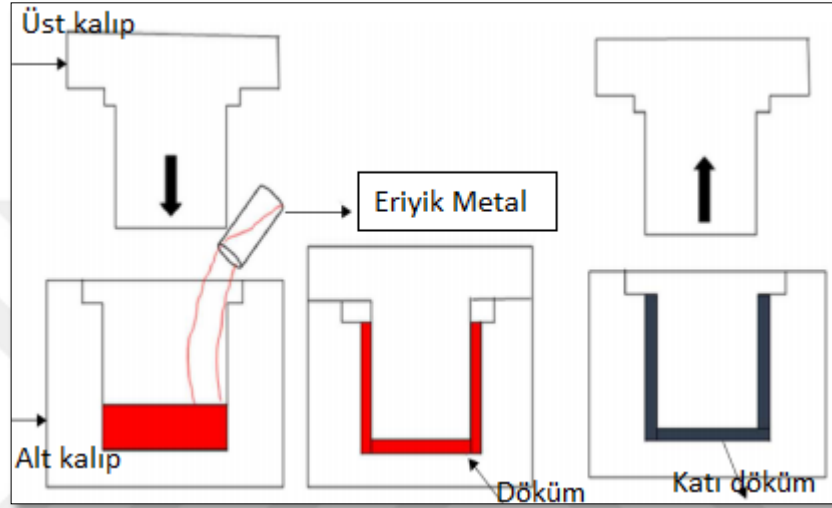
Sıvı infiltrasyon işleminin gerçekleşmesi için temel kriter ıslatabilirlik olduğu için, sıvı metalin ıslatma mekanizması içinde temas açısı önemli bir olgudur. Temas açısı 0°C olduğu noktada sıvı metal yüzeyi mükemmel ıslatırken, temas açısının 180°C olduğu seviyede sıvı metal yüzeyi ıslatamaz hale gelmektedir. Genel olarak takviye malzemeler ile sıvı metal arasındaki temas açısı 90°C'yi geçmektedir ve bu durumda katı yüzeydeki kılcal boşluklara sıvı metalin infiltrasyonunu sağlamak için bir dış basınç uygulaması da gerekli hale gelmektedir. Basınç uygulaması sayesinde vakum ortamında sıvı metalin oksitlenmesi ve yapıda gaz kabarcığı kalmaması da sağlanmış olarak dezavantajlar önlenmiş olur [21].

Metal matrisli kompozit malzeme için sıvı metal infiltrasyonu yönteminde takviye bileşeninin ıslanması; alaşımların kompozisyonu, yüzey özellikleri ve yüzey gerilimi, arayüzey reaksiyonları, atmosfer, sıcaklık ve zaman gibi parametrelerden etkilenmektedir [22].

#### **1.2.2.2. Sıkıştırma döküm**

Sıkıştırma döküm yöntemi 1800'lü yıllara dayanan çok eski bir yöntemdir. İlk olarak 1878 yılında Chernov isimli araştırmacı tarafından önerilen fikir; erimiş metale katılabilirken buhar basıncı uygulanması esasına dayanarak metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılır. Uygulamalı olarak bu yöntem 1931 yılına kadar

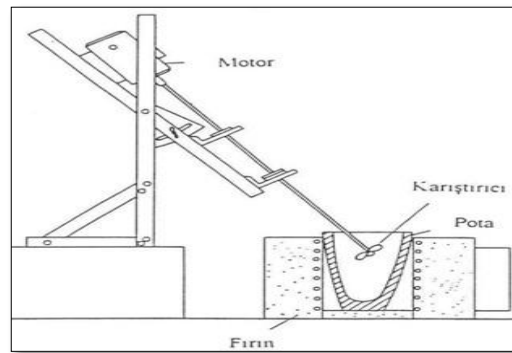
yapılmamış, sadece teoride kalmıştır. Bu yöntemin uygulanmasında; kapalı ve sabit bir kalıp içerisine erimiş metalin boşaltılması ve hareketli kalıp yardımı ile basınç sayesinde metalin katılaştırılması adımları yer almaktadır. Şekil 1.5.'te şematik diyagramı verilen bu yöntemden elde edilen malzemenin kaynak edilebilirliği, ısıl işlenebilirlik kabiliyeti yüksektir. Ayrıca yüzey kalitesi iyi ve boyutsal kararlılığı da yüksektir [22].



Şekil 1.5. Sıkıştırma döküm şematik gösterimi [22]

### 1.2.2.3. Sıvı metal karıştırma

Sıvı metal karıştırma yönteminde; katı partiküllerden oluşan takviye bileşeninin Şekil 1.6.'daki gibi mekanik karıştırıcı yardımı ile sıvı olan metal matris bileşeni ile karıştırılması esası bulunmaktadır. Bu yöntemde önemli olan kriter, bileşenlerin birbirleri içinde homojen olarak karışmasıdır [23].



Şekil 1.6. Sıvı metal karıştırma yöntemi şematığı [24]

Katı partiküllerin sıvı metal bileşen ile karıştırılması esnasında kullanılan birbirinden farklı teknikler aşağıdaki gibi verilmiştir;

- Sıvı metal içerisine (matriks alaşımı ve partikül şeklindeki takviye malzemesinden oluşan) küçük briketlerin ilavesi ve karıştırılması,
- Bir enjeksiyon tabancası kullanarak; sıvı içerisine inert gaz ile seramik partiküllerin enjekte edilmesi,
- Sıvı metalin mekanik olarak karıştırılmasıyla elde edilen vorteks yardımıyla seramik partiküllerin sıvı metal içerisine katılması,
- Sıvı metal kalıba doldurulurken seramik partiküllerin sıvı metal içersine ilavesi,
- Karşılıklı hareket eden çubuklar kullanılarak seramik partiküllerin sıvı içerisine itilmesi,
- Merkez-kaç etki ile partiküllerin sıvı metal içerisine dağıtılması,
- Sıvı metal ultrasonla devamlı titreşirken, seramik partiküllerin sıvı metal içerisine takviye edilmesidir [23].

## **2. MALZEME VE YÖNTEM**

### **2.1. Kullanılan Malzemeler**

#### **2.1.1. Alüminyum ve alüminyum esaslı malzemeler**

Bu çalışmada, tane boyu elek altı 1.8 mm, ticari ismi saf alüminyum (Al), 1050, 5754, 7072, aynı sırayla yoğunluğu  $2710 \text{ kg/m}^3$ ,  $2800 \text{ kg/m}^3$ ,  $2660 \text{ kg/m}^3$ ,  $2720 \text{ kg/m}^3$  olan Al serisi malzemeler kullanılmıştır.

#### **2.1.2. Mikronize toz susuz bor maddesi**

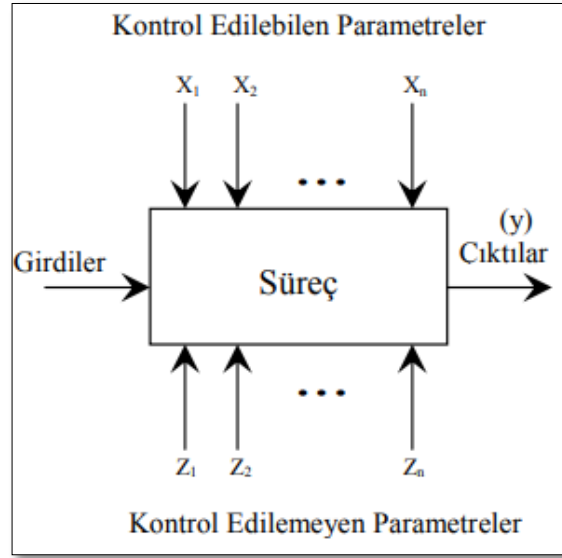
Çalışma kapsamında tane boyu elek altı  $20 \text{ }\mu\text{m}$ , ticari ismi Etibor-68 ve yoğunluğu  $2370 \text{ kg/m}^3$  olan mikronize toz susuz bor katkı malzemesi kullanılmıştır.

### **2.2. Deneysel Tasarım Metodları**

Gelişen teknoloji ile birlikte ürün ve süreç geliştirme faaliyetleri; birçok sektörde rekabet edebilmek için önemli bir konuma ulaşmıştır. Üretim kalitesinin ve veriminin artırılması ile birlikte işletmenin karlılığının artırılması beklentileri oluştuğunda üretim süreci ve süreç çıktılarının da daha iyi analiz edilip yorumlanması ihtiyacı oluşmuştur. Üretim sürecini ve bu süreci etkileyen faktörleri inceleyebilmek ve karşılaşılan problemleri minimuma indirebilmek amacıyla deneysel tasarım metodları son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlandı [24].

Deney tasarımı metodu kullanmanın en temel amacı süreçte oluşabilecek hataları minimuma indirebilmektir. Bir deney tasarımı oluşturulurken kontrol listesinde sürece etki eden tüm parametreler faktörler olarak belirtilir ve kontrol edilebilen faktörler ile kontrol edilemeyen faktörler belirlenir. Şekil 2.1.'de bir deney tasarımı sürecinin genel modeli verilmektedir [25].





Şekil 2.1. Deney tasarımı süreci modeli [24]

### 2.2.1. Tam Faktöriyel Tasarım

İstatistiksel olarak iki veya daha fazla faktörden oluşan ve her faktörün birbiri ile farklı seviyelerde etkileşime girdiği deney tasarımı tam faktöriyel deney tasarımı olarak adlandırılır. Tam faktöriyel deney tasarımı ilk olarak on dokuzuncu yüzyılda John Bennet ve Joseph Henry Gilbert tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Deneysel uygulama sürecine etki eden parametreler için kullanılan faktör terimi ise ilk olarak Ronald Fisher tarafından 'Deneme Tasarımı' kitabında kullanılmıştır [25].

Tam faktöriyel deney tasarımında ana amaç, her terimin yani faktörün ayrı ayrı etkisini ve bu faktörlerin birbirleri arasındaki etkileşimini bir model vasıtasıyla analiz etmektir. Örneğin analiz edilecek üç faktör var ise ( $a \times b \times c$ ) önce birinci faktör a seviyede, ardından ikinci faktör b seviyede ve son olarak üçüncü faktör c seviyede test edilir. a seviyedeki n adet faktörün koşu sayısı  $a^n$ 'dir. İki seviyeli tam faktöriyel tasarımlarda en sık kullanılan tasarım  $2^n$ 'dir [25].

### 2.2.2. Plackett-Burman Tasarımı

Plackett-Burman tasarımı, bir deneyde hangi faktörlerin önemli olduğunu bulmanıza yardımcı olan bir deneysel tasarım metodudur. Bu tasarım önemsiz faktörleri gürültü

olarak gösterir, bu göreceli olarak önemsiz faktörler hakkında büyük miktarda veri toplamaktan kaçındığımız anlamına gelir [25].

‘Hardard Matrix Tasarımları’ olarak da bilinen Plackett-Burman tasarımları Plackett ve Burman tarafından geliştirilen iki seviyeli kesirli faktör tasarımlarını içeren bir deneysel tasarım metodudur. Genellikle biyomühendislik uygulamalarında tercih edilen bu metod için çalıştırma sayısı 4’ün katları olacak şekilde seçilir. Bazı durumlarda deneysel hataları belirlemek için tekrarlardan yararlanılabilir. Bu yöntem birçok bilimsel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [25]. Bu yöntemde deneysel sonuçlar üzerinde faktörlerin etkileri için (2.1) numaralı denklem kullanılır.

$$y = \beta_0 + \sum_{t=1}^k \beta_t x_t \quad (2.1)$$

### 2.2.3. Taguchi Metodu

Taguchi deneysel tasarım yöntemi; Japon mühendis Dr. Genichi Taguchi tarafından 1940’lı yıllarda elektronik kontrol laboratuvarında bir dizi istatistiksel deney teknikleri tasarımı sonunda geliştirilen ve günümüzde de sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Temel amacı kullanıcı dostu bir deney tasarımı elde etmek olan Taguchi metodu; parametre tasarımı, tolerans tasarımı ve sistem tasarımı üzerine kurulmuştur. Deney parametrelerinin optimizasyonunda ortogonol diziler yardımı ile kullanılan bu yöntem kesirli faktöriyel tasarımına da bir örnektir [25, 26].

Taguchi yönteminde; ortogonal diziler kullanılarak, deney sonuçlarına etki edecek parametreler için seviyeler belirlenir. Bu sayede deneysel süreçte yapılacak deneylerin sayısı azaltılır ve daha çok sayıda yapılacak deney faktörler ile belirlenen seviyelere göre azaltılmış olur. Her bir parametrenin her bir seviyesi için bütün kombinasyonlar adına deney yapmak bir çok açıdan olumsuzluklar içerir, zaman ve maliyet kaybına neden olur. Bu yöntem ile 3 faktörlü 3 seviyede yapılacak bir deney tasarımı L9 ortogonal dizisi sayesinde toplam 9 deneyle tamamlanmış olur. Taguchi metodu; değişken sayısı 3 ile 50 arasında değiştiği durumlarda daha etkindir [25, 26].

Taguchi deneysel tasarım metodu toplamda sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olmak üzere 3 adımda gerçekleşir:

Sistem tasarımı; bu yöntemin ilk aşamasını oluşturur. Bu aşamada deney içeriğindeki tüm materyaller değerlendirilir, deneyler için hangi yöntemlerin kullanılacağı belirlenerek sistemin fizibilitesi yapılır. Bu aşamadaki amaç, minimum maliyet ile en iyi ürün tasarımını elde ederek müşteri memnuniyetini maksimuma çıkarmaktır [26].

Parametre tasarımı; deneysel tasarım esnasında süreç iyileştirmesine katkı sağlayacak en önemli adım parametre tasarımıdır. Deneysel çalışmalar sonucunda geliştirilecek ürünün özelliklerini en iyi seviyeye çıkarabilmek için parametrelerin iyileştirilmesi esastır. Bu aşamada parametreler için en iyi seviyelerin seçilmesi önemlidir. Deneysel tasarım girdileri olarak kontrol edilemeyen parametreler belirlenir çünkü bu parametreler ürün kalitesini olumsuz etkileyebilir. Bu aşamada Taguchi metodunun gerekliliği olarak ortogonal diziler kullanılır ve sinyal gürültü oranı (S/N) analizi ile hesaplamalar yapılabilir [26].

Parametre tasarımı aşamasında parametreler belirlendikten sonra; faktörler ve seviyelere göre bir ortogonal dizinin seçilmesi gerekmektedir. Tablo 2.1’de Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu verilmektedir [26].

Tablo 2.1. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu [26]

		Seviye Sayısı						
		2	3	4	5			
Parametre Sayısı	P = 2,S = 2	L4	P = 2,S = 3	L9	P = 2,S = 4	L'16	P = 2,S = 5	L25
	P = 3,S = 2		P = 3,S = 3		P = 3,S = 4		P = 3,S = 5	
	P = 4,S = 2		P = 4,S = 3		P = 4,S = 4		P = 4,S = 5	
	P = 5,S = 2		P = 5,S = 3		P = 5,S = 4		P = 5,S = 5	
	P = 6,S = 2	L8	P = 6,S = 3	L18	P = 6,S = 4	L'32	P = 6,S = 5	
	P = 7,S = 2		P = 7,S = 3		P = 7,S = 4		P = 7,S = 5	
	P = 8,S = 2	L11	P = 8,S = 3	L27	P = 8,S = 4	L'32	P = 8,S = 5	L50
	P = 9,S = 2		P = 9,S = 3		P = 9,S = 4		P = 9,S = 5	
	P = 10,S = 2		P = 10,S = 3		P = 10,S = 4		P = 10,S = 5	
	P = 11,S = 2	L16	P = 11,S = 3	L36			P = 11,S = 5	
	P = 12,S = 2		P = 12,S = 3			P = 12,S = 5		
	P = 13,S = 2		P = 13,S = 3					
	P = 14,S = 2		P = 14,S = 3					
	P = 15,S = 2	L32	P = 15,S = 3					
	P = 16,S = 2		P = 16,S = 3					
	P = 17,S = 2		P = 17,S = 3					
	P = 18,S = 2		P = 18,S = 3					
	P = 19,S = 2		P = 19,S = 3					
	P = 20,S = 2		P = 20,S = 3					
	P = 21,S = 2		P = 21,S = 3					
	P = 22,S = 2		P = 22,S = 3					
	P = 23,S = 2		P = 23,S = 3					
	P = 24,S = 2							
	P = 25,S = 2							
	P = 26,S = 2							
	P = 27,S = 2							
	P = 28,S = 2							
	P = 29,S = 2							
	P = 30,S = 2							
	P = 31,S = 2							

Tolerans tasarımı ise, Taguchi metodu içinde parametre tasarımı çalışmaları sonucu karşılaşılan olumsuzluklardan dolayı istenilen hedef değerlere ulaşamayan durumlarda gerekli olmaktadır. Tolerans tasarımı aşamasında elde edilen değerlerden yararlanılarak çıktıların hedef değerlerden sapma gerekçesi ile meydana gelen kayıplar bulunur ve bu sapmaların azaltılması amaçlanır [26].

Taguchi deney tasarımında kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda gürültü oranı (S/N) fonksiyonu olarak nitelendirilen üç farklı amaca uygun fonksiyonlar vardır. Bunlar;

Performans karakteristiği adı verilen sonucun en düşük en iyi olduğu durumda;

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2.2)$$

En yüksek (büyük) en iyi olduğu durumda;

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2.3)$$

Nominal en iyi olduğunda;

$$S/N = 10 \log \left( \frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (2.4)$$

Burada  $y_i$  = Performans karakteristiğinin  $i$ . gözlem değeri  $n = 1$  denemedeki test sayısı,  $\bar{y}$  = Gözlem değerlerinin ortalaması,  $S^2$  = Gözlem değerlerinin varyansı olup S/N oranı büyüdükçe hedef etrafında ürün varyansı küçülür.

### 2.2.3.1. Kontrol edilebilir parametrelerin ve faktörlerin belirlenmesi

Çalışma kapsamında kontrol edilebilir parametreler malzeme cinsi, susuz bor maddesinin kompozit malzeme içindeki katkı oranı, proses esnasındaki ısıtma hızı ve fırında malzemenin bekleme süresi gibi parametrelerdir. Kompozit malzemelerin özelliklerini eniyilemek ve en iyi (uygun) üretim (sinterleme proses) parametre seviyelerini belirlemek için Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Önce, deneysel sonuçlar üzerinde etkili olan kontrol edilebilir parametreler ve her bir parametre için farklı seviyeler belirlenmiştir.

Deneyler için uygun ortogonal dizi belirlenirken, faktörlerin seviye sayısına ve buna göre toplam serbestlik derecelerine göre karar verilir. Bu toplam serbestlik derecesine veya daha fazla sayıda denemeye sahip ortogonal dizi uygun dizi olarak seçilir. Bir faktör için serbestlik derecesinin bir eksisi bu faktörün seviye sayısına eşittir. Bu çalışmada, ortogonal dizi L9 deney için seçilmiştir, çünkü ortogonal dizi L9 dört faktöre sahiptir. Ayrıca uygulanacak deneysel koşullar Tablo 2.2., Tablo 2.3. ve Tablo 2.4.'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2. Saf, 1050, 5754 Serisi Alüminyum kompozit malzemelere uygun ortogonal dizinin seçilmesi

		Faktörler							
		A		B		C		D	
Deney no	Deney adı	Malzeme [ Al Serisi ]		Susuz Bor oranı [ ağırlıkça yüzde ]		Isıtma Hızı [ °C/dak ]		580oC 'de Bekleme Süresi [ dak ]	
1	ASF1	1	Saf	1	1	1	5	1	5
2	ASF2	1	Saf	2	2,5	2	10	2	10
3	ASF3	1	Saf	3	5	3	20	3	20
4	A101	2	1050	1	1	2	10	3	20
5	A102	2	1050	2	2,5	3	20	1	5
6	A103	2	1050	3	5	1	5	2	10
7	A501	3	5754	1	1	3	20	2	10
8	A502	3	5754	2	2,5	1	5	3	20
9	A503	3	5754	3	5	2	10	1	5

Tablo 2.3. Saf, 1050, 7072 Serisi Alüminyum kompozit malzemelere uygun ortogonal dizinin seçilmesi

		Faktörler							
		A		B		C		D	
Deney no	Deney adı	Malzeme [ Al Serisi ]		Susuz Bor oranı [ ağırlıkça yüzde ]		Isıtma Hızı [ °C/dak ]		580oC 'de Bekleme Süresi [ dak ]	
1	ASF1	1	Saf	1	1	1	5	1	5
2	ASF2	1	Saf	2	2,5	2	10	2	10
3	ASF3	1	Saf	3	5	3	20	3	20
4	A101	2	1050	1	1	2	10	3	20
5	A102	2	1050	2	2,5	3	20	1	5
6	A103	2	1050	3	5	1	5	2	10
7	A701	3	7072	1	1	3	20	2	10
8	A702	3	7072	2	2,5	1	5	3	20
9	A703	3	7072	3	5	2	10	1	5

Tablo 2.4. Saf, 5754, 7072 Serisi Alüminyum kompozit malzemelere uygun ortogonal dizinin seçilmesi

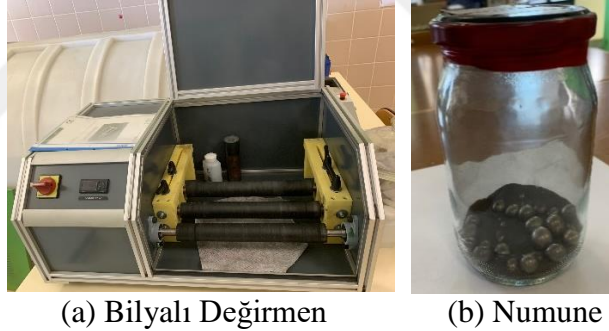
		Faktörler							
		A		B		C		D	
Deney no	Deney adı	Malzeme [ Al Serisi ]		Susuz Bor oranı [ ağırlıkça yüzde ]		Isıtma Hızı [ °C/dak ]		580oC 'de Bekleme Süresi [ dak ]	
1	ASF1	1	Saf	1	1	1	5	1	5
2	ASF2	1	Saf	2	2,5	2	10	2	10
3	ASF3	1	Saf	3	5	3	20	3	20
4	A504	2	5754	1	1	2	10	3	20
5	A505	2	5754	2	2,5	3	20	1	5
6	A506	2	5754	3	5	1	5	2	10
7	A701	3	7072	1	1	3	20	2	10
8	A702	3	7072	2	2,5	1	5	3	20
9	A703	3	7072	3	5	2	10	1	5

### 2.3. Kompozit Hammadde Hazırlanması

Deneysel çalışma için uygun ortogonal dizinin belirlenmesinden sonra, deney numunelerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Belirtilen plana göre üretilen deney numuneleri tez içeriğinde belirtilen testlere tabi tutulmuş ve elde edilen değerler Minitab programında istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

### 2.4. Toz Metalurjisi Yöntemi ile Deney Numunesi Üretimi

Toz metalurjisi yöntemi kullanılarak çalışma kapsamında sırasıyla, toz hazırlanması, toz karışımların belirlenen parametrelere uygun homojen karıştırılması, sıcak pres cihazı ile presleme ve sinterleme işlemi yapılmıştır. Önce, farklı yüzde ağırlık oranında Al/SB (99/1, 97.5/2.5 ve 95/5) kompozit karışımlar, Şekil 2.2’de görüldüğü gibi bilyalı değirmende; içinde nikel bilya bulunan cam kavanoz içerisinde, devir hızı 250 rpm ve karıştırma süresi 45 dakika olan karıştırma parametrelerinde hazırlanmıştır.



Şekil 2.2. Bilyalı değirmende karıştırma (a) bilyalı değirmen ile (b) numune

Sonra Al/SB kompozit malzemeleri, DIEX marka VS50 model indüksiyon fırınında, iç çapı 20 mm olan grafit kalıpta hem sabit 50 MPa uygulama basıncı (sıkıştırma) altında hem de sabit 600°C sinterleme sıcaklığında fakat farklı sinterleme sıcaklığına ısıtma hızlarında ve farklı sinterleme sıcaklığında bekleme sürelerinde Şekil 2.3.’deki cihazda elde edilmiştir.



Şekil 2.3. Sıcak pres cihazı

Zımpara işlemleri için kalınlığı minimum 4 mm ve dış çapı 20 mm olan Al/SB deney numuneleri, Al/SB kompozit malzemelerin önce 600-1000 ve 2000 numaralı grid SiC zımpara sayesinde tüm yüzeylerinin temizlenmesi ve iki paralel yüzeyinin hazırlanması Şekil 2.4.'te verilen cihaz yardımı ile elde edilmiştir. Aynı cihazda parlatma işlemleri de 9 $\mu$ m, 3 $\mu$ m ve 1  $\mu$ m cuha ile elmas parlatıcı solüsyon yardımıyla tamamlanmıştır.



Şekil 2.4. Zımpara ve parlatma cihazı

Eğme numuneleri, 20 mm x 4 mm x 4 mm ölçülerinde, çapı 20 mm olan deney numunelerinin orta bölgesinden hassas disk testere ile kesilerek elde edilmiştir. Elmas uçlu kesme diski kullanılan hassas kesme makinesi Şekil 2.5'te gösterilmektedir.





Şekil 2.5. Hassas kesme makinesi

## 2.5. Deney Şartları, Araçlar, Makineler ve Donanımlar

Deney numuneleri hazırlanırken toz metalurjisi yöntemi kullanılmıştır. Numune hazırlanma aşamasının ilk basamağı tozların bilyalı değirmende öğütülerek hazırlanması ve sıcak pres cihazında preslenmesidir. Preslenmiş numuneler sonrasında sinterleme işlemine tabi tutulur. Numuneler hazırlanırken proses aşamasında yapılan bazı değişiklikler ile deney parametreleri oluşturulmuştur. Numuneler hazırlandıktan sonra elde edilen numunelere yoğunluk, sertlik ölçümleri, aşınma ve tribolojik testler, üç noktalı eğme testi ve fraktografik analizler yapılmıştır ve deney sonuçları bulgular ve tartışma başlığı altında incelenmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Yoğunluk Deneyleri

Belirlenen 4 faktöre göre hazırlanan kompozit malzemelerin yoğunluk deney sonuçları aşağıda Tablo 3.1., Tablo 3.2. ve Tablo 3.3.'de belirtilmektedir.

Tablo 3.1. Saf, 1050, 5754 Serisi Alüminyum kompozitlerin yoğunluk ölçümleri

Deney no	Deney adı	A	B	C	D	Yoğunluk [ g / cm <sup>3</sup> ]	Standart Sapma [ g / cm <sup>3</sup> ]
1	ASF1	1	1	1	1	2,6353	±0,0445
2	ASF2	1	2	2	2	2,6226	±0,0014
3	ASF3	1	3	3	3	2,5932	±0,0229
4	A101	2	1	2	3	2,6626	±0,0113
5	A102	2	2	3	1	2,6346	±0,0015
6	A103	2	3	1	2	2,5862	±0,0002
7	A501	3	1	3	2	2,6630	±0,0021
8	A502	3	2	1	3	2,6321	±0,0010
9	A503	3	3	2	1	2,6011	±0,0116

Tablo 3.2. Saf, 1050, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin yoğunluk ölçümleri

Deney no	Deney adı	A	B	C	D	Yoğunluk [ g / cm <sup>3</sup> ]	Standart Sapma [ g / cm <sup>3</sup> ]
1	ASF1	1	1	1	1	2,6353	±0,0445
2	ASF2	1	2	2	2	2,6226	±0,0014
3	ASF3	1	3	3	3	2,5932	±0,0229
4	A101	2	1	2	3	2,6626	±0,0113
5	A102	2	2	3	1	2,6346	±0,0015
6	A103	2	3	1	2	2,5862	±0,0002
7	A701	3	1	3	2	2,6823	±0,0043
8	A702	3	2	1	3	2,6510	±0,0364
9	A703	3	3	2	1	2,6520	±0,0044

Tablo 3.3. Saf, 5754, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin yoğunluk ölçümleri

Deney no	Deney adı	A	B	C	D	Yoğunluk [ g / cm <sup>3</sup> ]	Standart Sapma [ g / cm <sup>3</sup> ]
1	ASF1	1	1	1	1	2,6353	±0,0445
2	ASF2	1	2	2	2	2,6226	±0,0014
3	ASF3	1	3	3	3	2,5932	±0,0229
4	A504	2	1	2	3	2,6510	±0,0121
5	A505	2	2	3	1	2,5901	±0,0001
6	A506	2	3	1	2	2,6144	±0,0006
7	A701	3	1	3	2	2,6823	±0,0043
8	A702	3	2	1	3	2,6510	±0,0364
9	A703	3	3	2	1	2,6520	±0,0044

### 3.2. Sertlik ve Malzeme Parametreleri Testleri

Mekanik testler kapsamında numunelere TS EN ISO 14577-1 (3) standartına göre analizler yapılmış ve malzemenin elastik davranışından plastik deformasyona geçişinde önemli bir parametre olan yük altında gerilme değerleri ve sertlik ölçümleri Tablo 3.4., Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.4. Saf, 1050, 5754 Serisi Alüminyum kompozitlerin mekanik özellikleri

Deney no	Deney adı	A	B	C	D	Elastik Modül [ N / mm <sup>2</sup> ]	Standart Sapma [ N / mm <sup>2</sup> ]	Vickers Sertlik [ HV ]	Standart Sapma [ HV ]
1	ASF1	1	1	1	1	54,576	±2,925	25,326	±0,259
2	ASF2	1	2	2	2	58,443	±2,628	24,022	±0,789
3	ASF3	1	3	3	3	31,720	±3,012	19,845	±0,691
4	A101	2	1	2	3	51,800	±2,653	25,232	±0,678
5	A102	2	2	3	1	42,726	±7,218	22,373	±0,484
6	A103	2	3	1	2	44,632	±14,678	23,474	±2,588
7	A501	3	1	3	2	68,458	±3,198	60,234	±4,239
8	A502	3	2	1	3	56,870	±1,327	58,174	±1,920
9	A503	3	3	2	1	44,572	±12,958	59,393	±3,214

Tablo 3.5. Saf, 1050, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin mekanik özellikleri

Deney no	Deney adı	A	B	C	D	Elastik Modül [ N / mm <sup>2</sup> ]	Standart Sapma [N / mm <sup>2</sup> ]	Vickers Sertlik [ HV ]	Standart Sapma [ HV ]
1	ASF1	1	1	1	1	54,576	±2,925	25,326	±0,259
2	ASF2	1	2	2	2	58,443	±2,628	24,022	±0,789
3	ASF3	1	3	3	3	31,720	±3,012	19,845	±0,691
4	A101	2	1	2	3	51,800	±2,653	25,232	±0,678
5	A102	2	2	3	1	42,726	±7,218	22,373	±0,484
6	A103	2	3	1	2	44,632	±14,678	23,474	±2,588
7	A701	3	1	3	2	68,240	±8,087	28,279	±1,016
8	A702	3	2	1	3	43,125	±1,893	24,546	±0,724
9	A703	3	3	2	1	53,265	±1,001	30,013	±2,308

Tablo 3.6. Saf, 5754, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin mekanik özellikleri

Deney no	Deney adı	A	B	C	D	Elastik Modül [ N / mm <sup>2</sup> ]	Standart Sapma [N / mm <sup>2</sup> ]	Vickers Sertlik [ HV ]	Standart Sapma [ HV ]
1	ASF1	1	1	1	1	54,576	±2,925	25,326	±0,259
2	ASF2	1	2	2	2	58,443	±2,628	24,022	±0,789
3	ASF3	1	3	3	3	31,720	±3,012	19,845	±0,691
4	A504	2	1	2	3	69,044	±6,371	59,913	±4,266
5	A505	2	2	3	1	50,385	±2,620	44,297	±2,884
6	A506	2	3	1	2	23,508	±1,078	43,045	±1,472
7	A701	3	1	3	2	68,240	±8,087	28,279	±1,016
8	A702	3	2	1	3	43,125	±1,893	24,546	±0,724
9	A703	3	3	2	1	53,265	±1,001	30,013	±2,308

### 3.3. Aşınma ve Tribolojik Parametre Testleri

Deney numunelerine uygulanan aşınma testi 1N kuvvet değeri altında 50 dev/dak zamanında 5 mm dönme çapı ile 6 mm çapında bilye kullanılarak uygulanmıştır. Aşınma testleri; hazırlanan numunelerin çeşitli kombinasyonları şeklinde deney grupları oluşturularak uygulanmıştır. Aşınma testi yapılırken deney öncesi numune ağırlığı deney sonrası numune ağırlığı ölçülerek, aşınma ile meydana gelen toplam kütle kaybı hesaplanmıştır. Yapılan analizlere göre sonuçlar aşağıda verilen Tablo 3.7., Tablo 3.8. ve Tablo 3.9.'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Saf, 1050, 5754 Serisi Alüminyum kompozitlerin aşınma özellikleri

Deney no	Deney adı	Sürtünme Kuvveti [ N ]	Standart Sapma [ N ]	Sürtünme Katsayısı [ $\mu$ ]	Standart Sapma [ $\mu$ ]	Aşınma Hızı [ $\text{mm}^3 / \text{N,km}$ ]	Standart Sapma [ $\text{mm}^3 / \text{N,km}$ ]
1	ASF1	1,5603	$\mp$ 0,2077	0,4450	$\mp$ 0,0250	4,6994	$\mp$ 0,0223
2	ASF2	1,3535	$\mp$ 0,0545	0,6207	$\mp$ 0,3898	3,1649	$\mp$ 1,9693
3	ASF3	1,3400	$\mp$ 0,0580	0,5303	$\mp$ 0,1318	7,2671	$\mp$ 0,5038
4	A101	1,2633	$\mp$ 0,1917	0,4527	$\mp$ 0,0474	4,6976	$\mp$ 0,0194
5	A102	1,3683	$\mp$ 0,1693	0,4833	$\mp$ 0,0146	5,0636	$\mp$ 4,2791
6	A103	1,3220	$\mp$ 0,0050	0,5655	$\mp$ 0,0005	4,8189	$\mp$ 2,9221
7	A501	1,1750	$\mp$ 0,2771	0,4567	$\mp$ 0,1979	2,8164	$\mp$ 0,0022
8	A502	1,1575	$\mp$ 0,0345	0,4370	$\mp$ 0,0090	2,8567	$\mp$ 0,0061
9	A503	1,1863	$\mp$ 0,0994	0,5145	$\mp$ 0,0015	1,4434	$\mp$ 0,4777

Tablo 3.8. Saf, 1050, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin aşınma özellikleri

Deney no	Deney adı	Sürtünme Kuvveti [ N ]	Standart Sapma [ N ]	Sürtünme Katsayısı [ $\mu$ ]	Standart Sapma [ $\mu$ ]	Aşınma Hızı [ $\text{mm}^3 / \text{N,km}$ ]	Standart Sapma [ $\text{mm}^3 / \text{N,km}$ ]
1	ASF1	1,5603	$\mp$ 0,2077	0,4450	$\mp$ 0,0250	4,6994	$\mp$ 0,0223
2	ASF2	1,3535	$\mp$ 0,0545	0,6207	$\mp$ 0,3898	3,1649	$\mp$ 1,9693
3	ASF3	1,3400	$\mp$ 0,0580	0,5303	$\mp$ 0,1318	7,2671	$\mp$ 0,5038
4	A101	1,2633	$\mp$ 0,1917	0,4527	$\mp$ 0,0474	4,6976	$\mp$ 0,0194
5	A102	1,3683	$\mp$ 0,1693	0,4833	$\mp$ 0,0146	5,0636	$\mp$ 4,2791
6	A103	1,3220	$\mp$ 0,0050	0,5655	$\mp$ 0,0005	4,8189	$\mp$ 2,9221
7	A701	1,4797	$\mp$ 0,2331	0,5077	$\mp$ 0,1406	6,5660	$\mp$ 0,0520
8	A702	1,3090	$\mp$ 0,1792	0,3913	$\mp$ 0,1049	4,7447	$\mp$ 0,0414
9	A703	1,3717	$\mp$ 0,2755	0,3190	$\mp$ 0,0050	5,6993	$\mp$ 1,0111

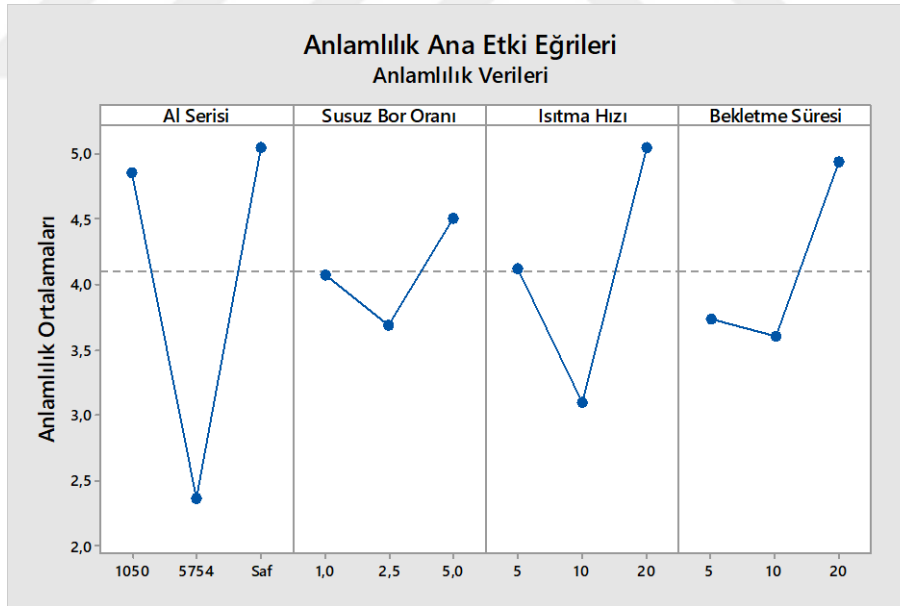
Tablo 3.9. Saf, 5754, 7072 Serisi Alüminyum kompozitlerin aşınma özellikleri

Deney no	Deney adı	Sürtünme Kuvveti [ N ]	Standart Sapma [ N ]	Sürtünme Katsayısı [ $\mu$ ]	Standart Sapma [ $\mu$ ]	Aşınma Hızı [ $\text{mm}^3 / \text{N,km}$ ]	Standart Sapma [ $\text{mm}^3 / \text{N,km}$ ]
1	ASF1	1,5603	$\mp$ 0,2077	0,4450	$\mp$ 0,0250	4,6994	$\mp$ 0,0223
2	ASF2	1,3535	$\mp$ 0,0545	0,6207	$\mp$ 0,3898	3,1649	$\mp$ 1,9693
3	ASF3	1,3400	$\mp$ 0,0580	0,5303	$\mp$ 0,1318	7,2671	$\mp$ 0,5038
4	A504	1,1205	$\mp$ 0,0005	0,4677	$\mp$ 0,0762	0,9433	$\mp$ 0,0043
5	A505	1,1550	$\mp$ 0,1848	0,4775	$\mp$ 0,0015	3,8264	$\mp$ 0,0343
6	A506	1,4255	$\mp$ 0,0095	0,5270	$\mp$ 0,0773	5,7620	$\mp$ 0,0232
7	A701	1,4797	$\mp$ 0,2331	0,5077	$\mp$ 0,1406	6,5660	$\mp$ 0,0520
8	A702	1,3090	$\mp$ 0,1792	0,3913	$\mp$ 0,1049	4,7447	$\mp$ 0,0414
9	A703	1,3717	$\mp$ 0,2755	0,3190	$\mp$ 0,0050	5,6993	$\mp$ 1,0111

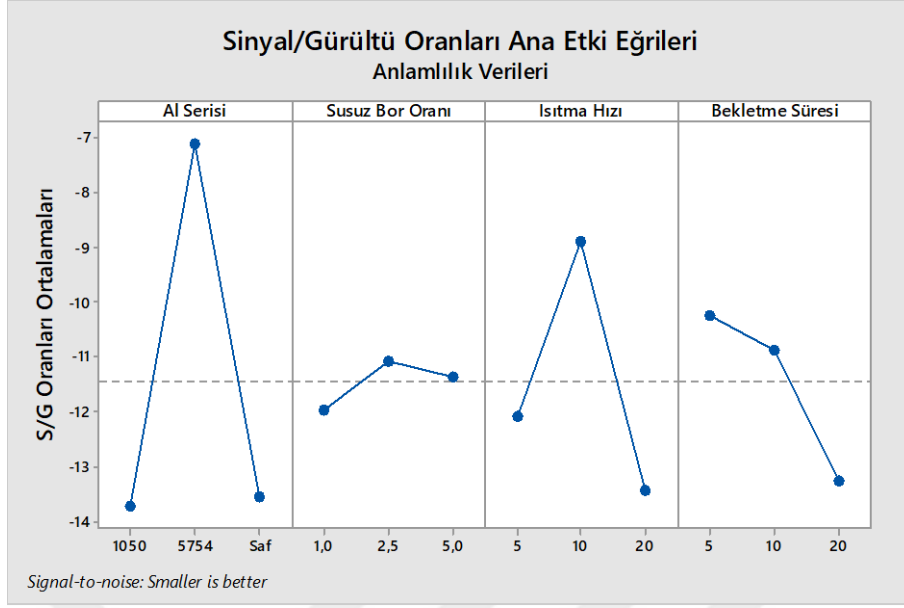
### 3.4. İstatistiksel Analiz

Tez çalışması kapsamında istatistiksel deney tasarımı metodu olan Taguchi metodu kullanılmıştır. Alüminyum malzeme olarak seçilen saf, 1050, 5754 ve 7072 malzemeleri ile birbirinden farklı 3 deney serisi oluşturulmuştur. Deney serileri doğrultusunda hazırlanan deney numuneleri; malzeme cinsi, susuz bor oranı, ısıtma hızı ve 580°C’de bekleme süreleri değişkenleri ile birlikte Taguchi metodu ile analiz edilmiştir. Taguchi istatistiksel analiz yöntemi Minitab 17 programında çalıştırılmış, programda L9 ortogonal dizisi seçilerek sinyal/gürültü oranları ile anlamlılık grafikleri elde edilmiştir. Minitab 17 programında amaç, belirli değişkenler ile kompozit malzemenin aşınma özelliklerinin nasıl değiştiği olduğundan dolayı, programda aşınma hızı verileri kullanılarak en küçük en iyi yaklaşımı ile istatistiksel analiz yapılmıştır. Elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir.

Şekil 3.1. saf, 1050, 5754 serisinin anlamlılık ana etki eğrilerini göstermektedir. Şekil 3.2. ise aynı seriye ait sinyal/gürültü oranı grafiğini göstermektedir.

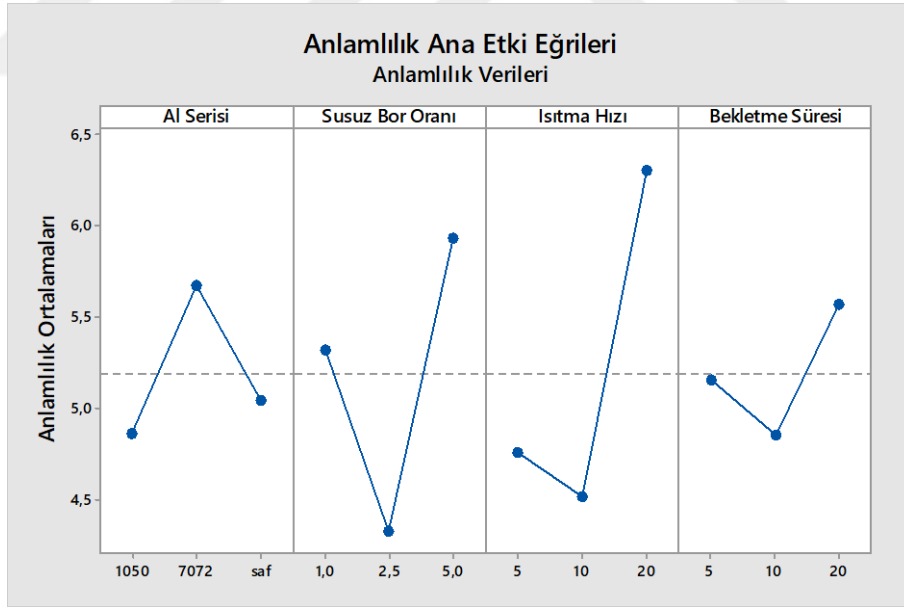


Şekil 3.1. Saf, 1050, 5754 serisi kompozitlerin aşınma hızı anlamlılık verileri

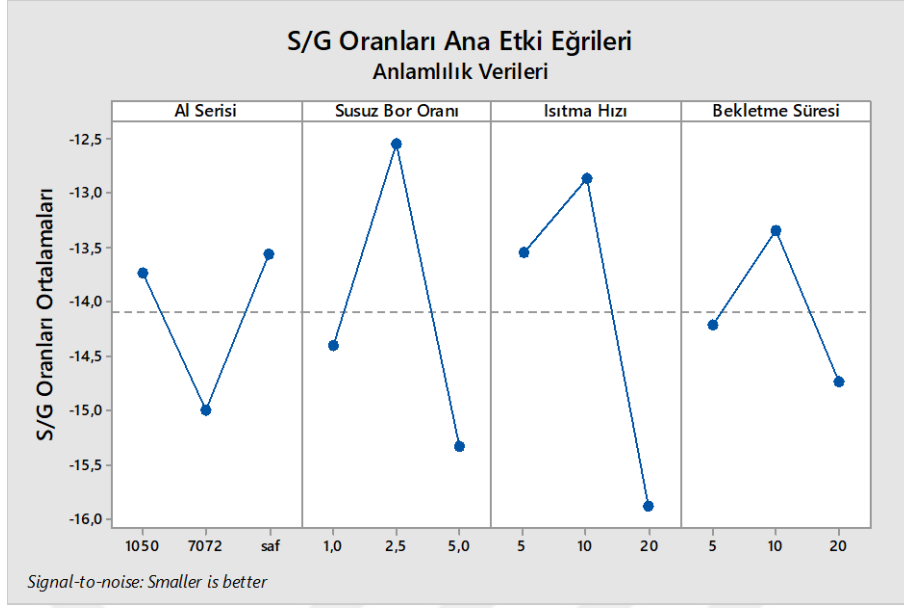


Şekil 3.2. Saf, 1050, 5754 serisi kompozitlerin sinyal/gürültü oranları verileri

Şekil 3.3. saf, 1050, 7072 serisinin anlamlılık ana etki eğrilerini göstermektedir. Şekil 3.4. ise aynı seriye ait sinyal/gürültü oranı grafiğini göstermektedir.

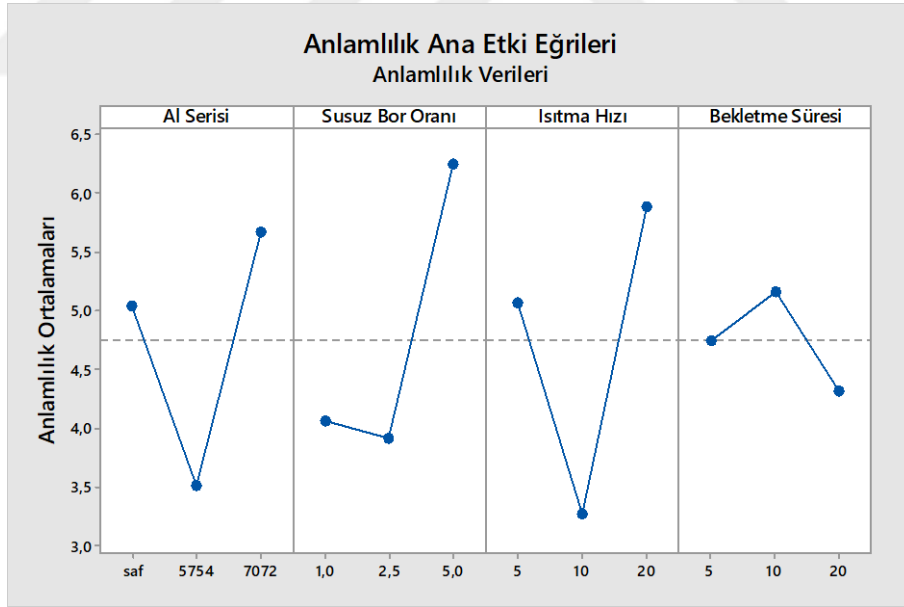


Şekil 3.3. Saf, 1050, 7072 serisi kompozitlerin aşınma hızı anlamlılık verileri



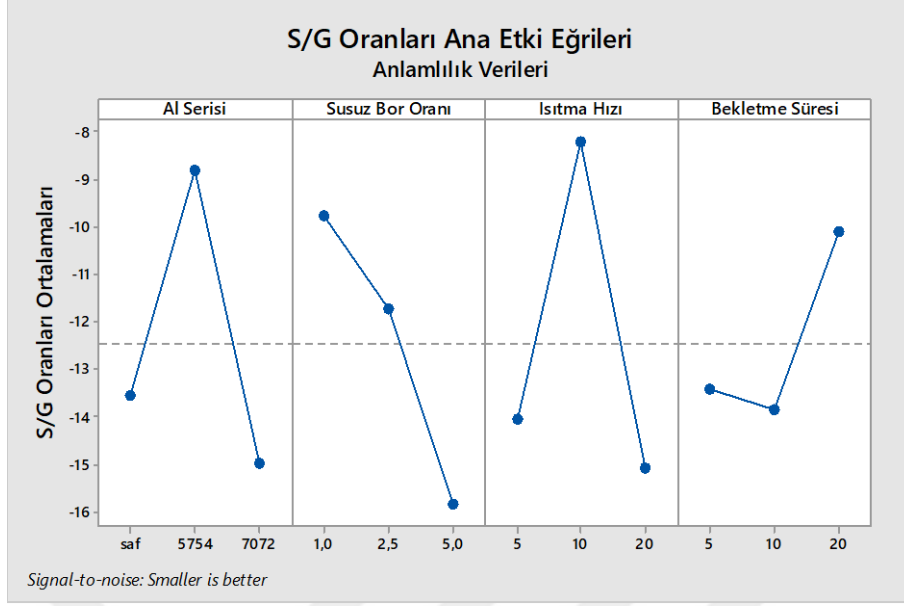
Şekil 3.4. Saf, 1050, 7072 serisi kompozitlerin sinyal/gürültü oranları verileri

Şekil 3.5. saf, 5754, 7072 serisinin anlamlılık ana etki eğrilerini göstermektedir. Şekil 3.6. ise aynı seriye ait sinyal/gürültü oranı grafiğini göstermektedir.



Şekil 3.5. Saf, 5754, 7072 serisi kompozitlerin aşınma hızı anlamlılık verileri





Şekil 3.6. Saf, 5754, 7072 serisi kompozitlerin sinyal/gürültü oranları verileri

Taguchi istatistiksel deney tasarımı metodu ile Minitab 17 programından alınan yukarıdaki verilere göre; birinci saf, 1050, 5754 serisi için en küçük en iyi yaklaşımı ile elde edilen en iyi parametreler 5754 Al alaşımı, %2,5 susuz bor oranı, 10 °C/dak ısıtma hızı ve 10 dak bekletme süresidir. İkinci seride, 7072 Al serisi, %2,5 susuz bor oranı, 10 °C/dak ısıtma hızı ve 10 dak bekletme süresi en iyi parametreler olarak elde edilmiştir. Üçüncü seride ise, 5754 serisi, %2,5 susuz bor oranı, 10 °C/dak ısıtma hızı ve 20 dak bekletme süresi en iyi parametreler elde edilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Alüminyum matrisli susuz bor takviyeli metal matrisli kompozitlerin özelliklerinin en iyilenmesi amacıyla gerçekleştirilen, teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlara göre:

Taguchi istatistiksel deney tasarım metodu ile Minitab 17 programında deney numunelerinin aşınma hız sonuçları analiz edilerek en küçük en iyi yaklaşımı ile anlamlılık eğrileri ile sinyal/gürültü oranları çıkarılmıştır. Elde edilen verilere göre, en iyi aşınma dayanımı 5754 alüminyum alaşımlı metal matrisli kompozit numuneler içinde %2,5 susuz bor içeren numune olduğu aşınma testi sonuçlarından görülebilir. Isıtma hızı 10 °C/dak ısıtma hızı ve 580 °C’de numuneleri fırında bekletme süresi 10 dak olacak şekilde en iyi deney parametrelerine ulaşılmıştır.

En yüksek gerilme değerleri 5754 alüminyum alaşımlı numuneye %1 susuz bor ilavesi ile elde edilmiş olup 1. deney grubu içinde 1.7 numaralı numunede 603,00N/mm<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir.

Susuz bor yüksek sertlik gösteren bir malzeme olduğu için alüminyum malzemenin de sertliğini artırması teorik olarak beklenen bir sonuçtur. Nitekim Vickers sertlik testi sonuçlarına bakıldığı zaman en yüksek sertlik değerine sahip numunenin yine 1. deney grubunda 1.7 numaralı numune olduğu görülmüş ve sertlik değeri 60,23 HV olarak ölçülmüştür.

Sonuçlara bakıldığında farklı alüminyum malzemelerde farklı sonuçlar elde edildiği görülmüş ve hem aşınma hem mekanik değerler göz önüne alındığında 5754 alüminyum alaşımının en iyi değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Susuz bor miktarı hem %1 hem de %2,5 oranlarında yüksek mekanik özellikler göstermiştir. İleriki çalışmalarda susuz bor miktarının daha dar bir aralıkta seçilerek optimum susuz bor oranı belirlenmesi için çalışmalar devam edecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] Petersson, H., Carbon Fiber Composite Materials in Modern Day Automotive Production Lines: A Case Study, *Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2013*, San Diego, California, 2013.
- [2] Uzun, D., Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Sermet Kompozit Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.
- [3] Karaçay, E., Bor Karbür Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, , Ankara, 2008.
- [4] Shirvanimoghaddam, K., Boron Carbide Reinforced Aluminium Matrix Composite: Physical, Mechanical Characterization and Mathematical Modelling, *Materials Science and Engineering*, 2016, 135-149.
- [5] <http://www.nurolteknoloji.com/bor-karbur-seramikler/> (Ziyaret Tarihi: 19.04.2019)
- [6] Bodur, A., Şahin, Ş., Şahin, Y., Polipropilen Talk/Kolemanit Hibrit Kompozit Malzemelerin Eğilme Mukavemetinin Deneysel Tasarım Yöntemi İle Eniyilenmesi, 3. *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 2018.
- [7] Kainer, K.U., Basics of Metal Matrix Composites, Strangpressen von Kurzfaserverstärkten MagnesiumVerbundwerkstoffen, Umformtechnik, Weinheim, ISBN: 3-527-31360-5.
- [8] Haghshenas, M., Metal Matrix Composites, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, 2015.
- [9] Kalemtaş, A., Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış, Bursa Teknik Üniversitesi, *Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Dergisi*, Bursa, 2014.
- [10] Satish, J., Satish, K.G., Preparation of Magnesium Metal Matrix Composites by Powder Metallurgy Process, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018.
- [11] Franczak, A., Baczewska, J., Copper Matrix Composites Reinforced with Titanium Nitride Particles Synthesized by Mechanical Alloying and Spark Plasma Sintering, *Metallurgy and Foundry Engineering*, 2017, **43**(2), 99-105.
- [12] Kerti, I., B<sub>4</sub>C Takviyeli Magnezyum Matrisli Kompozitlerin Mikroyapısal Karakterizasyonu, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 2019, **11**(1), 18-24.

- [13] Cabbar, H.C., Düşük Sıcaklıkta Bor Karbür Üretimi ve Karakterizasyonu, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Ankara, 2017, **28**(2), 293-302.
- [14] Bor Karbür Özellikleri, [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/85125/mod\\_resource/content/0/12.%20Konu.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/85125/mod_resource/content/0/12.%20Konu.pdf) (Ziyaret Tarihi: 20.05.2019)
- [15] Bor Karbür Üretimi, <https://www.enerjiportali.com/bor-karbur-b4c-nedir-bor-karbur-hakkinda-bilgi/> (Ziyaret Tarihi: 20.05.2019)
- [16] Cabbar, H.C., Sol-Jel Yöntemiyle Bor Karbür Üretimi ve Karakterizasyonu, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Ankara, 2011, **27**(2), 417-428.
- [17] Görener, A., AHP ve TOPSİS Yaklaşımlarıyla Metal Matrisli Kompozit İmalat Makinelerinin Seçimi, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 2011, **52**(613), 59-71.
- [18] Ürkmez, N., AlMg<sub>3</sub>/SiC<sub>p</sub> Kompozitlerinin Üretimi ve Mekanik Özelliklerdeki Değişimlerin İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, , İstanbul, 2004.
- [19] Selection of Manufacturing Process, Module 3, Indian Institute of Technology Bombay, India.
- [20] Nazik, C., Alüminyum Matrisli B<sub>4</sub>C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2013.
- [21] Kalemtaş, A., İnfiltrasyon Yöntemiyle Kompozit Üretiminde Etkili Olan Temel Değişkenler, Bursa Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bursa, 2016.
- [22] Banchhor, R., Fabrication Methods Used to Prepare Al Metal Matrix Composites- A Review, *International Research Journal of Engineering and Technology*, India, 2016, **3**(10).
- [23] Koçer, T., Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC Partikül Takviyeli Al-Mg Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, , İstanbul 2002.
- [24] Hasgöl, Ö., Ürün ve Süreçlerin Geliştirilmesinde Deney Tasarımı: Gıda Sektöründe Bir Uygulama, *Akademik Fener Dergisi*, 42-67.
- [25] Gündoğdu, T., Experimental Design Methods for Bioengineering Applications, *Critical Reviews in Biotechnology*, 2014, ISSN: 0738-8551.
- [26] Taşgetiren, S., Gökçe, B., Kalite için Deney Tasarımı, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2009, **6**(1), 71-83.

## **KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER**

**Yöntem O.**, Şahin Ş., (2019). Bor Mineralinin Toz Metalurjisi ile Üretilen Alüminyum Malzemenin Mekanik Özelliklerine Göre Etkisinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile İncelenmesi, *4. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, 907-912, İstanbul, Türkiye.



## ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra, 1994 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 1998 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 1999 yılında Petes Makina ve ardından 2001 yılında Valftek-Bonetti şirketlerinde çalıştıktan sonra, 2002 yılında Toyotetsu Otomotiv Parçaları A.Ş. firmasında çalışmaya başladı, Toyotetsu Türkiye'nin 1400 kadar çalışanı bulunmaktadır. %100 Japon global bir otomotiv gövde imalatçısı bir firmadır. Dünya üzerinde 23 fabrikası 10.000 çalışanı ve 2,4 Milyar Euro cirosu bulunmaktadır. Halen Toyotetsu'da Genel Müdür olarak görevine devam etmektedir.

