



**ALÜMİNYUM ESASLI B₄C TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN
AŞINMA DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI VE DENEYSEL
SONUÇLARININ YAPAY SİNİR AĞLARINDA MODELLENMESİ**

Aslı SÖNMEZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

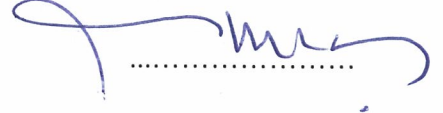
**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2017

Aslı SÖNMEZ tarafından hazırlanan “ALÜMİNYUM ESASLI B₄C TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI VE DENEYSEL SONUÇLARININ YAPAY SINIR AĞLARINDA MODELLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

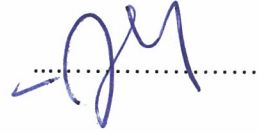
Danışman: Doç. Dr. İsmail ŞAHİN

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



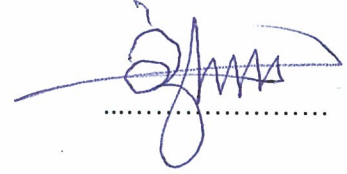
Başkan: Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Çankırı Karatekin Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Doç. Dr. M. Tolga ÖZKAN

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Yrd. Doç. Dr. Henifi ÇİNİCİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 11/07/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Aslı SÖNMEZ

11/07/2017

ALÜMİNYUM ESASLI B₄C TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI VE DENEYSEL SONUÇLARININ YAPAY
SİNİR AĞLARINDA MODELLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Aslı SÖNMEZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2017

ÖZET

Bu çalışmada, farklı oranlarda (% 5, % 10, %15,% 20) B₄C içeren Al matrisli kompozitler toz metalürjisi yöntemi ile üretilerek aşınma davranışları incelenmiş ve elde edilen değerler matematiksel olarak modellenmiştir. Bu amaçla Al ve B₄C tozları karıştırıldıktan sonra 650 MPa basınç altında preslenmiştir. Preslendikten sonra 635°C sıcaklıkta 1 saat süre ile sinterlenmiştir. Sinterlenen numuneler, pin-on disk aşınma cihazında 10, 20, 30N yük altında ve 500-800-1200 mesh lik zımparalarla abrasif olarak aşındırılmıştır. Elde edilen aşınma değerleri 3 giriş, 1 çıkışa sahip ileri beslemeli geriye yayımlı Levenbergt Marquert algoritması kullanan bir YSA modelde eğitilmiştir. Böylece optimum aşınma şartları ve sertlik değerleri belirlenmiş ve uygulanmayan aşınma şartları için veriler elde edilebilmiştir. Ayrıca, aşınma davranışı karakterize edilen malzemenin aşınma değerlerini tahmine yönelik YSA tabanlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda B₄C oranındaki artış sertlik değerlerinin artmasına neden olmuştur. 800 ve 1200 mesh lik aşındırıcılarla yapılan deneylerde B₄C oranındaki artışın aşınma miktarını azalttığı tespit edilmiştir. YSA modelin eğitimi sonrası elde edilen sonuçlar, ağın deneysel verileri tahminde oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmada, ağın eğitimi aşamasında mutlak değişim yüzdesinin (R^2) 0,9978 olduğu görülmüştür. Çalışmadaki test verilerinde zımpara boyutu düştükçe ortalama hatanın azaldığı gözlemlenmiş fakat eğitim verilerinde aynı genellemeyi yapmak mümkün olmamıştır. Eğitim verilerinde en düşük ortalama yüzde hata 800 mesh'lik zımpara ile yapılan örneklerde elde edilmiştir. Çalışmada girdi parametrelerinin çıkış parametresi üzerindeki etkisini belirlemek için çoklu ANOVA analizi kullanılmıştır.

Bilim Kodu : 91417
Anahtar Kelimeler : Aşınma, metal-matris kompozit, YSA, aşınma modelleme
Sayfa Adedi : 116
Danışman : Doç. Dr. İsmail ŞAHİN

MODELING IN ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS OF EXPERIMENTAL RESULTS
AND RESEARCH OF ABRASION BEHAVIORS OF ALUMINUM BASED B₄C
REINFORCED COMPOSITE MATERIALS

Aslı SÖNMEZ

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2017

ABSTRACT

In this study, Al matrix composites containing B₄C at different ratios (5%, 10%, 15%, 20%) were produced by the powder metallurgy method and the wear behaviors were investigated and the obtained values were mathematically modeled. For this purpose Al and B₄C powders were mixed and then pressed under 650 MPa. It was sintered at 635 ° C for 1 hour. The sintered specimens were abrasively abraded with a load of 10, 20, 30N in the pin-on disc abrasion device and with sand of 500-800-1200 mesh. The obtained wear values were trained in a ANN model using a forward feed backward spread Levenberg Marquert algorithm with 3 inputs, 1 output. Thus, optimum wear conditions and hardness values are determined and data can be obtained for unexposed wear conditions. In addition, a YSB-based mathematical model was developed to predict the wearvalues of material characterized by wear behavior. As a result of experimental studies, the increase of B₄C caused the increase of hardness values. Experiments with 800 and 1200 mesh abrasives have shown that the increase in B₄C reduces the amount of wear. The result sobtaine daftertraining of the YSA model showed that the network was quite successful in predicting experimental data. In the study conducted, it is seen that the percentage of absolutechange (R^2) in the network training phase is 0,9978. It has been observed that the mean error decreased as the sandpaper size decreased in the running test data, but it was not possible to make the same generalization in the training data. The lowest average percentile in the training data was obtained in samples made with 800 mesh sandpaper. In the study, multiple ANOVA analysis was used to determine the effect of the input parameters on the output parameter.

Science Code : 91417
Key Words : Wear, metal-matrix composite, ANN, wear modelling
Page Number : 116
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

TEŞEKKÜR

Alüminyum esaslı B4C takviyeli kompozit malzemelerin aşınma davranışlarının araştırılması ve deneysel sonuçlarının yapay sinir ağlarında modellenmesinin yapıldığı bu çalışmada pek çok kişinin değerli katkıları bulunmaktadır. Öncelikle, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve anlayıştan dolayı değerli hocam, tez danışmanım Doç. Dr. İsmail Şahin'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında göstermiş oldukları yardımlardan dolayı Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Hanefi Çinici ve Prof. Dr. Ferhat Gül'e teşekkür ederim. Bu süreçte beni her daim destekleyen değerli aileme de sonsuz teşekkürler ederim. Çalışma 07/2011/-66 kodlu proje ile gazi üniversitesi bilimsel araştırma projeleri birimi tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	9
2.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri	9
2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	10
2.2.1. Matris malzemesine göre kompozit malzemeler	10
2.2.1.Takviye elemanına göre kompozit malzemeler	12
2.3. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler(MMK)	14
2.3.1. MMK malzemelerde kullanılan matris malzemeleri... ..	19
2.3.2. MMK malzemelerde kullanılan takviye elemanları.....	22
2.3.3. MMK malzemelerin üretim yöntemleri	28
2.3.4. MMK malzemelerin mekanik özellikleri.....	31
3. ALÜMİNYUM ESASLI METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER	37
3.1. Alüminyum Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Kullanılan Matris Alaşımları	38

	Sayfa
3.2. Takviye Elemanları	39
3.3. Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin İmalatı	40
3.4. Al Matrisli Kompozitlerde Aşınma Direnci	41
3.5. Mekanik Özellikler	42
3.6. Bor Karbür (B ₄ C).....	43
4. AŞINMA VE AŞINMA MEKANİZMALARI.....	45
4.1. Adhesiv Aşınma	47
4.2. Abrasiv Aşınma	48
4.3. Yorulma Aşınması (Pitting).....	50
4.4. Oksidasyon Aşınması.....	50
4.5. Erosiv Aşınma	51
5. TOZ METALURJİSİ	53
5.1. Toz Üretim Yöntemleri	57
5.1.1. Mekanik üretim yöntemleri	59
5.1.2. Elektrolizle üretim	61
5.1.3. Kimyasal üretim yöntemleri	61
5.1.4. Atomizasyon yöntemleri	62
6. YAPAY SİNİR AĞLARI	63
6.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi.....	65
6.2. Ağ Mimarisi.....	67
6.3. Çok Katmanlı YSA	69
6.3.1. İleri beslemeli yapay sinir ağları.....	70
6.3.2. Geri beslemeli yapay sinir ağları	70

	Sayfa
6.4. Geriye Yayılım Algoritması	70
6.5. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri	71
6.6. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları	72
6.7. Yapay Sinir Ağlarının Avantaj ve Dezavantajları.....	73
7. MATERYAL VE YÖNTEM	75
7.1. Matris (ana faz) Malzemesi	75
7.2. Takviye Elemanı.....	75
7.3. Malzeme Üretiminde Kullanılan Makine ve Teçhizatlar.....	75
7.3.1. Turbulada karıştırma.....	75
7.3.2. Tozların Preslenmesi	75
7.3.3. Numunelerin sinterlenmesi	76
7.3.4. Yoğunluk ve Gözenek Oranının İncelenmesi	76
7.3.5. Mikroyapı İncelemeleri	77
7.3.6. Aşınma Deneyi.....	77
8. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	79
8.1. Mikro Yapısal Bulgular	79
8.2. Aşınma Deneyleri Sonucunda Meydana Gelen Ağırlık Değişimleri.....	82
8.3. Takviye Elemanı Oranının Aşınma Miktarına Etkisi	83
8.4. YSA Model.....	86
8.5. ANOVA Analizi.....	94
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR.....	99
EKLER	111

Sayfa

EK-1. Çizelge 8.1. Deneyler süresince meydana gelen ağırlık değişimleri.....	112
EK-2. Çizelge 8.4. Eğitim verilerinde aşınma değerlerinin tahmin sonuçları.....	114
EK-3. Çizelge 8.5. Test verilerinde aşınma değerlerinin tahmin sonuçları.....	115
ÖZGEÇMİŞ.....	116



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Farklı metal matrisli kompozitlerin özellikleri	17
Çizelge 2.2. Bazı metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri	18
Çizelge 2.3. Saf alüminyumun önemli fiziksel özellikleri.....	20
Çizelge 2.4. Bazı takviye elemanlarının tipik özellikleri.....	27
Çizelge 2.5. 6092 (Al-Mg-Si)-SiC kompozit malzemesinde, partikül hacim oranına bağlı olarak sünekliğin değişimi.....	34
Çizelge 2.6. Bazı malzemelerin spesifik modül değerleri	35
Çizelge 3.1. Bazı alüminyum alaşımlarının çekme özellikleri	39
Çizelge 3.2. Başlıca takviye malzemelerinin özellikleri	40
Çizelge 3.3. Bazı alüminyum matris kompozitlerin mekanik özellikleri.....	43
Çizelge 3.4. Bor karbürün fiziksel özellikleri	44
Çizelge 7.1. B ₄ C seramik tozlarının özellikleri.....	75
Çizelge 8.1. Deneysel süresince meydana gelen ağırlık değişimleri.....	82
Çizelge 8.2. YSA modelin giriş ve çıkış parametreleri.....	88
Çizelge 8.3. Giriş ve çıkış verilerinin minimum ve maksimum değerleri	90
Çizelge 8.4. Eğitim verilerinde aşınma değerlerinin tahmin sonuçları	92
Çizelge 8.5. Test verilerinde aşınma değerlerinin tahmin sonuçları	93

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Takviye çeşidine göre kompozit malzemeler.....	12
Şekil 2.2. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin farklı morfolojileri.....	13
Şekil 2.3. Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitler.....	16
Şekil 2.4. MMK üretim yöntemlerine ait genel akış şeması.....	31
Şekil 4.1. Aşınma eğrilerinin üç tipi.....	46
Şekil 4.2. Aşınma tipleri.....	47
Şekil 4.3. Adhesiv aşınma prensibi.....	48
Şekil 4.4. Adhesiv aşınmada metal transferi.....	48
Şekil 4.5. Abrasiv aşınma mekanizmaları.....	49
Şekil 4.6. Yorulma aşınması.....	50
Şekil 5.1. Metal matrisli kompozit malzemelerin toz metalurjisi tekniği ile üretim aşamaları.....	55
Şekil 5.2. Toz metalürjisinin üretim akış şeması.....	57
Şekil 5.3. Bilyalı öğütme.....	60
Şekil 5.4. Mekanik alaşımlama yöntemi.....	61
Şekil 6.1. Biyolojik bir nöronun yapısı.....	63
Şekil 6.2. Basit bir perceptron yapısı.....	66
Şekil 6.3. Yapay sinir hücresinin yapısı.....	68
Şekil 6.4. Çok katmanlı bir yapay sinir ağı.....	69
Şekil 7.1. Aşınma deney numunesi boyutları.....	76
Şekil 7.2. Aşınma deney düzeneği.....	78
Şekil 8.1. Yoğunluk değişimini gösteren grafik.....	81
Şekil 8.2. Partikül oranına bağlı sertlik değişimi.....	81

Şekil	Sayfa
Şekil 8.3. 500 mesh boyutlu zımpara ile yapılan deney sonucunda oluşan aşınma değerleri	84
Şekil 8.4. 800 mesh boyutlu zımpara ile yapılan deney sonucunda oluşan aşınma değerleri.....	85
Şekil 8.5. 1200 mesh boyutlu zımpara ile yapılan deney sonucunda oluşan aşınma değerleri	85
Şekil 8.6. 3 Giriş 1 çıkış değerine sahip geriye yayımlı ileri beslemeli YSA model	88
Şekil 8.7. Ağın eğitim süresince hatanın gelişimi ve toplam iterasyon	89
Şekil 8.8. Logistic sigmoid fonksiyonu	89
Şekil 8.9. Ağın eğitim performansı.....	91
Şekil 8.10. Anova analiz sonuçları	95
Şekil 8.11. Anova analiz sonuçları	96

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 7.1. Aşınma deney düzeneği: (a) SiC zımpara, (b) Numune tutucu (mandren) (c) Döner disk	78
Resim 8.1. Parçacık dağılımını gösteren mikro yapı resimleri	79
Resim 8.2. Partikül matris ara yüzey mikro yapı görüntüleri	80



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Mpa

Megapascal

Gpa

Gigapascal

gr/cm³

gram/santimetre küp

Kj

Kilojoule

Kısaltmalar

Açıklamalar

AMK

Alüminyum matrisli kompozitler

ANN

Artificial neural network

ANOVA

Analiysis of variance

GM

Gauss- newton algoritması

HIP

İzostatik Sıcak Presleme

LM

Levenbergt Marquert

MA

Mekanik alaşımlama

MAPE

Mean absolute percent error

MLP

Multiple layer perceptron

MMK

Metal Matrisli Kompozit

PMK

Polimer matrisli kompozitler

RMSE

Root-mean-square-error

TM

Toz Metalurjisi

YSA

Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Üretim teknolojisi, tüm ürünlerin üretimini mümkün kılan araçları sağlar. Bu ana sanayi araçları, bireysel işçilerin gayretini artırır ve endüstriyel bir ulusa, hammaddeleri günümüz toplumları için gerekli olan uygun fiyatlı ve kaliteli mallara dönüştürme gücünü verir. Kısaca teknolojinin temel hedefi modern yaşamı mümkün kılacak araç ve malları ve onların üretim yöntemlerini geliştirmektir.

Hızlı gelişme ve artan ihtiyaçlar teknolojiyi yaratan bilimlerin gelişmesini de sağlamıştır. Bilimsel gelişmeler ürün çeşitliliğini de beraberinde getirmektedir. Sanayinin temel girdisi olan malzeme ve malzemelerin üretim proseslerinin incelendiği malzeme biliminin tüm bu gelişmelerin dışında kalması olası değildir. Bu kapsamda, gelişen teknolojinin ihtiyaçlarına cevap vermeye yönelik olarak kompozit malzemeler üretiminde hızlı gelişmeler yaşanmıştır. (Ramesh, Anwar, R. Vikumar ve Savanprabhu, 2005; Tayman, 1997). Böylece geleneksel metal malzemelerin özelliklerinden kaynaklanan sınırlılıklar aşılmıştır.

Toz Metalurjisi(TM), çeşitli tipteki bileşenleri üretmek için toz halindeki hammaddeyi işleyen bir üretim teknolojisidir. Toz metalürjisinin yüksek kalitede ve karmaşık şekilli parçaları üretebilme yeteneği tercih edilmesinin önemli sebeplerindedir. TM ana işlem basamakları presleme (veya şekillendirme) ve sinterlemeden oluşur. Sinterleme, parçacıkların ısıl bağlanması amacıyla yapılır. Bu yöntem ile sağlam ve yüksek performanslı parçalar elde etmek mümkündür. Toz metalürji yöntemi düşük enerji ve maliyetin yanında yüksek malzeme kullanımı gibi avantajlara sahiptir. Bu da yöntemi diğer üretim tekniklerine göre daha avantajlı hale getirmektedir (Akın, 2006; Torralba, Costa ve Velasco, 2003).

Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk ve yüksek iletkenlik (ısı ve elektrik) özellikleri yönünden endüstride yoğun kullanım alanına sahiptir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmaya yönelik olarak geliştirilen alüminyum matrisli kompozitler yüksek mukavemet, korozyon ve aşınma dayanımı, ısıl iletkenlik, düşük yoğunluk, iyi tokluk gibi geliştirilmiş özellikleri ile otomobil, madencilik uzay sanayi başta olmak üzere endüstrinin değişik kollarında kullanılmaktadır. Düşük aşınma dayanımı alüminyum alaşımlarının en önemli dezavantajıdır (Yun, Liu, Yu ve Li, 2004). Aşınma, makine bileşenlerinin sık sık değişimine yol açması ve makine ömrüne tesir etmesi nedeniyle sanayide en çok karşılaşılan problemlerden biridir.

Hem sürtünme hem de aşınma aynı tribolojik temas prosesinin sonucu olarak bir arada meydana gelirler. Genellikle düşük sürtünmenin düşük aşınmaya, yüksek sürtünmenin yüksek aşınmaya sebep olduğunu deneysel sonuçlar göstermektedir. Fakat bu durum genel bir kural değildir.

Genel olarak sertliği yüksek malzemelerin aşınma dirençleri de yüksektir. Aınmanın yüksek, yağlamanın da yeterli seviyede olmadığı durumlarda aşınma dayanımı yüksek özellikli malzemeler kullanılarak malzemelerin ömrü uzatılmaktadır (Karabulut, 2010). Böylece malzemelerin fonksiyonlarını icra edemez hale getiren önemli bir özellik olan aşınma direnci de yükseltilmektedir. Malzemelerin aşınma direncini arttırmanın bir diğer yolu da malzemeye takviye elemanı ilave etmektir. Yumuşak bir malzeme olan alüminyuma takviye elemanları ilave edilerek sert fazlar oluşturulmakta böylece aşınma direnci ve toklukta artış sağlanmaktadır.

Metal matrisli kompozitler (MMK) stn mekanik özellikleri ve aşınma dirençlerine sahip olmaları nedeniyle, yüksek aşınma direnci istenen alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Shabania ve Mazahery, 2012; Mller, Govender ve Stumpf, 2010). Kompozit malzemeler bu özelliklerinin yanında yüksek dayanım – ağrlık oranı, daha iyi hasar taoleransı, düşük ısıl genleşme ve hafiflik gibi özelliklerinden dolayı geleneksel malzemelerin kullanıldığı yerlerde yaygın olarak kullanılırlar (Takesen ve Kütükde, 2013; Monaghan ve O'reilly, 1992; Karakaş, Acir, Ubeyli ve Ogel (2006). Bunların yanında kabul edilebilir maliyet ve kalitede gerekli boyut ve Şekillere göre ilenebilirler. MMK'lerin üretiminde toz metalurjisi yöntemi pek çok avantajlara sahip olması yönünden tercih edilmektedir. Bunlar, talalı işleme ihtiyacını azaltması, malzeme sarfiyatının az olması, kolay Şekillendirme ve üretim kolaylığı Şeklinde sayılabilir. Bunların yanında takviye elemanın homojen dağılımı da eklenebilir.

Alüminyum matrisli kompozit (AMK)'lerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan takviyelerin başında SiC, Al₂O₃, TiC ve B₄C gibi seramikler gelmektedir. Bu seramikler arasında B₄C, sahip olduğu üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ülkemizin sahip olduğu zengin bor kaynakları nedeniyle göze çarpmaktadır. Al-B₄C kompozitleri üzerinde özellikle otomotiv endüstrisindeki uygulamalarda yapılan çalışmalar yeni olmakla birlikte artmaya balamıtır. Bu kompozitlerin üretimindeki ana sorun, matris metali ile takviye partikülleri arasındaki düşük ıslanmadır (Kundalı, 2008).

Çalışmalar gösteriyor ki MMK'lerin aşınma performansını kontrol etmek için hacim oranı, boyutu, dağılım oranı, biçim ve biçim dağılımı oranı önemli bir faktördür (Hua, Li ve Llewellyn, 2005). Bunların yanında yükleme şartları, biçim ve aşındırıcı boyutu, yüzey pürüzlülüğü, ısı ve çevre de aşınma performansında önemli parametrelerdir (Stolarski, Jisheng, Gawne ve Panesar, 1995; Mondal, Das, Jha ve Yegneswaran, 1998).

Aşınma, bileşenlerin sık değiştirilmesine yol açan en yaygın endüstriyel problemlerden birisidir (Şahin, Kılıçlı, Özer ve Erdoğan, 2010). Aşınma yüzeyleri arası direnç ve takviye elemanının tanecik dağılımı gibi kompozit malzemelerde aşınma davranışını etkileyen pek çok faktör vardır. Homojen dağılımlı takviye parçacıkları daha düşük aşınmaya yol açar. Ayrıca büyük takviye parçacıkları aşınmaya karşı daha dirençlidir (Yılmaz ve Buytoz, 2001). Bunların yanında abrasivin boyutu da aşınmada etkilidir. Büyük abrasive parçacıkları (tanecik boyutu) daha fazla aşındırır. Abrasive boyutu ve yük arttıkça, boyu azaldıkça kompozit ve matrixin aşınma oranı artmaktadır (Sahin ve Ozdin, 2008). Aşınma oranının kayma hızı ile ilişkili olduğunu öne süren çalışmalarda aynı uygulama yükü ve aşınma mesafesi için kayma hızı azaldıkça aşınmanın azaldığı belirtilmiştir (Abuelmagd, 2004).

B₄C'nin Al alaşımlı kompozit malzemelerin aşınma oranını düşürürken sertliği arttırdığı yapılan deneysel çalışmalarla ortaya konmuştur (Baradeswaran, 2013). İbrahim ve arkadaşları (2014) yaptıkları çalışmada % 15 B₄C takviyeli Al-B₄C kompozitlerin mekanik özelliklerini ve kırılmalarını araştırmışlardır. Çalışmada B₄C takviye elemanının % hacmi arttıkça ile sünekliğin azaldığı ve B₄C takviye elemanlarında kırılmanın bir yarıma mekanizması ile ortaya çıktığı belirtilmiştir.

Predeep, Auradi, Rajesh ve Hiremath (2015) B₄C partiküllerle güçlendirilmiş Al6061 metal matris kompozitlerin mekanik özelliklerinin dikkat çekici bir şekilde iyileştiğini ortaya koymuşlardır. B₄C takviye elemanının sertliği arttırırken, nihai gerilme direncinde de dikkat çekici bir iyileşme olduğu söylenmiştir. Gerilme direnci % 7 B₄C'de % 17, % 9 B₄C'de % 34 arttığı belirtilmiştir.

Soundararajan ve arkadaşları (2017), B₄C ile güçlendirilmiş alüminyum (A413) alaşımın YSA ve istatistiksel teknik kullanılarak mekanik özelliklerini modellemiş ve analizini yapmıştır. Farklı mimarilerle mekanik özelliklerin haritalanması için ileri beslemeli geriye

yayımlı bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Optimal modellerde elde edilen uygun çözümler test süresi ve maliyeti azaltmıştır. Ayrıca, süreç parametrelerinin kompozitlerin mekanik özelliklerine olan etkisini değerlendirmek için nicel ve istatistiksel analizler yapılmıştır.

Vettive ve arkadaşları (2014), grafit takviyeli Alüminyum hibrit kompozitlerin ve B_4C 'nin aşınma parametrelerinin optimizasyonu üzerine bir deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmada hibrit kompozitlerde B_4C takviye elemanı ile yüksek sertlik ve iyi uzama oranının elde edildiği ortaya konulmuştur.

İpek (2005), %10, 15 ve 20 oranında B_4C parçacığının Al/ B_4C 'nin adesiv aşınma davranışlarını incelemiştir. Sonuçlar Al alaşım matrisinde ağırlıkça% B_4C partikül içeriğinin artmasıyla Al / B_4C matrisinin aşınma direncinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Çalışmada, B_4C içeriği ve onun Al matrisdeki davranışı, MMK'nın mekanizma ve aşınma hızı için belirlenen faktör olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada aşınma direnci ve aşınma mekanizması arasındaki ilişki gözlemlenmiştir.

Topçu, Gülsoy, Kadioğlu ve Güllüoğlu (2009) çalışmalarında S_iC ve Al_2O_3 'e göre daha yüksek sertlik ve daha düşük yoğunluk özellikleri nedeniyle B_4C takviyeli Al matrisinin mekanik özelliklerini araştırmıştır. $650\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sinterlenmiş yaklaşık $10\text{ }\mu\text{m}$ alüminyum matris kompozitin ortalama parçacık çapına sahip olan %5, 10, 15 ve 20 oranlı B_4C tozunun yüksek sıcaklık deformasyon davranışı 400 ila $450\text{ }^\circ\text{C}$ arasında değişen sıcaklıklarda sürünme ve sürünme dirençleri incelenmiştir. Çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile ürettikleri Al/ B_4C kompozit malzemenin sertliğinin, B_4C içeriğinin ve sinterleme sıcaklığının artmasıyla arttığı, tersi durumda ise düştüğünü gözlemlenmiştir.

Wu ve arkadaşları (2016), B_4C takviyesinin parçacık büyüklüğünün ve dağılımının Al alaşım matris kompozisyonlarının mikroyapı ve mekanik davranışına etkisini araştırmıştır. Çalışmada en küçük B_4C parçacıklarına sahip olan alaşımın, en yüksek akma mukavemeti ve kırılma mukavemetine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, B_4C parçacıklarının farklı dağılımlarının kompozitlerin farklı kırılma mekanizmalarına yol açtığı belirlenmiştir.

Deneysel işlemler zorlu süreçlere ve yüksek maliyetlere sahiptir. Bu zorluklar, malzemelerin

aşınma davranışlarını tahmin eden sistemleri gündeme getirmiştir. Aşınma davranışlarının benzetimi, deneysel verilerden türetilen matematiksel modellerin geliştirilmesi ile gerçekleştirilir. Bu modeller içerisinde YSA, malzemelerin davranışlarını gözlemlemek dahil pek çok farklı bilimsel çalışmada geleneksel mühendislik yaklaşımları karşısında yeni bir yöntem olarak dikkat çekmektedir. YSA, özellikle doğrusal olmayan problemlerin çözümündeki yetenekleri yüzünden kompozit malzemelerin aşınma davranışlarının tahmin edilmesinde son yıllarda yoğun bir araştırma alanı olmuştur.

Younesi, Bahrololoom ve Ahmadzadeh (2010) hava ve ringer çözültisinde test edilen nikelsiz paslanmaz çelik-hidroksiapatit biyo-kompozitlerin aşınma davranışını tahmin etmek için bir geri yayılım YSA modeli geliştirmiştir. Model, farklı aşınma yüklerinde ve mesafelerde çeşitli hidroksiapatit içeriğine sahip kompozitlerin aşınma deneylerinde elde edilen sonuçlarla oluşturulmuştur. Giriş parametreleri olarak hacim fraksiyonu, aşınma yükü ve aşınma mesafesi, çıkış parametresi olarak da aşınma kaynaklı hacim kaybı alınmıştır. YSA model 72 deney verisinden 9 tanesi ile test edilmiş, çelik hidroksiapatit biyokompozit malzemenin aşınma dayanımı % 12 hata ile tahmin edilmiştir.

Rashed ve Mahmoud (2009) çalışmalarında SiC'ün aşınma direnci üzerine parçacık boyutu, ağırlık oranı, uygulanan basınç ve deney ısısının etkisi YSA kullanılarak değerlendirilmiştir. Geliştirilen YSA modelde a356/SiC_p kompozit malzemenin aşınma davranışı % 90 doğrulukta tahmin edilmiştir. Çalışmada maksimum hata % 10'un altına düşürülmüştür. SiC'ün aşınma direnci üzerine parçacık boyutu, ağırlık oranı, uygulanan basınç ve deney ısısının etkisi YSA kullanılarak değerlendirilmiştir.

Sabani ve Mazahery'nin (2011) yürüttüğü çalışmada Al/B₄C kompozitlerin aşınma davranışını tahmin etmek için yapay sinir ağları ve sonlu elemanlar yönteminin bir kombinasyonu uygulanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi su vermenin geçiş sıcaklığını hesaplamak ve ayrıştırma için kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modelde en düşük hata değerine tek gizli katman ve dört nörona sahip modelde ulaşılmıştır.

Shabani (2012) bir diğer çalışmada yine farklı eğitim algoritmalarının B₄C ile güçlendirilmiş a356 kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Kompozitlerin katılaşmasını tahmin etmek için matematiksel model ve sonlu elemanlar

yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizi, sonlu elemanlar ayrıklaştırma, sınır koşullarının yüklenmesi ve birleştirilmiş denklemlerin çözümü gibi bir takım adımları içerir. Çalışmada katılma probleminin matematiksel formülasyonu verilmiştir. Katılmanın tahminine dair en iyi sonuç, 10 neurona sahip, bir gizli katmanlı LM algoritmasında elde edilmiştir.

Tofigh ve Shabani (2013), çalışmalarında farklı hacimlerdeki bor karbid parçacıklarıyla takviye edilmiş yüksek aşınma dirençli Al alaşım matris kompozitlerinin üretim prosesi koşullarını optimize etmek için yeni bir teknik tanıtmışlardır. Çalışmada geleneksel optimizasyon yöntemlerinden Kaotik ve Gauss tabanlı bir parçacık sürü optimizasyon yöntemiyle Al alaşım matris kompozitlerinin üretim prosesi koşulları optimize edilmiştir. Optimize edilen değerler bir YSA modelden alınmaktadır. Model dört girdi (soğuma hızı, sıcaklık, B₄C'nin yüzdesi ve ortalama parçacık boyutu) ve iki çıkış (gözeneklilik ve ağırlık kaybı) değerine sahiptir. Çalışmada ayrıca zımpara parçacık boyutu, ağırlık fraksiyonu ve pin-on-disk tipi aşınma makinesinde uygulanan yük açısından, kompozitlerin aşınma davranışına ilişkin deneysel bir araştırma yapılmıştır.

Jiang ve Zhang (2007) çalışmalarında eğitim verilerinin sayıları ile oynayarak karşılaştırmalı bir şekilde Artificial Neural Network (ANN) modelin performansını test etmiştir. Çalışmada tahmin kalitesinin eğitim için kullanılan veri sayısı ile ilişkili olduğu görülmüştür. Eğitim verilerinin artışı ile aşınma davranışının tahmini önemli bir miktarda artmıştır.

Abdelbary, Aboulwafa, Fahham ve Hamdy'nin (2012) polyamid 66 malzemenin aşınma davranışının modellendiği çalışmada, aşınmayı tahmin eden en iyi modelin bulunması için 42 deney verisi beş farklı ileri beslemeli bir YSA modelde eğitilmiştir. Model ortalama % 3,16 hata ile aşınma sonuçlarını tahmin etmiştir. Ayrıca, çalışmada önerilen YSA modelinin doğruluğunu test etmek için model, önceki çalışmalardan dört veri setine uygulanmıştır.

Zhang, Ramesh ve Chin (2004) yük ve kayma hızının SiC_filled peek kaplamanın tribolojik davranışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak peek kaplamanın sürtünme katsayısı ve aşınma oranının sürtünme koşullarına ve özellikle uygulanan yükün 9 N'dan fazla olduğu durumlara bağlı olduğu gözlemlenmiştir. 9N den küçük olanlar için sürtünme katsayısı sürtünme hızına bağlı parabolik bir ilişki sergilediği gözlemlenmiştir.

Shirvanimoghaddam ve arkadaşları (2016), döküm metodu ile üretilen alüminyum-bor karbür kompozitlerin sertlik, gerilme mukavemeti ve yoğunluklarını elde etmek için mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, alüminyum esaslı kompozitin sertlik ve gerilme mukavemetinin monolitik metalden daha yüksek olduğunu göstermiştir. B_4C 'nin parçacık hacminin artırılmasının kompozitin gerilme mukavemetini ve sertliğini arttırdığını; bununla birlikte, B_4C 'nin aşırı yüklenmesinin parçacık yığılmasına neden olduğu görülmüştür. Çalışmada alüminyum matris kompozitlerin mekanik özelliklerini tahmin etmek için Levenberg-Marquardt (LM) Algoritması kullanılmıştır. Modelde girdi katmanında 3, gizli katmanda 12 ve çıkış katmanında 1 nöron kullanılmıştır. Çıkış verileri sertlik ve gerilme direncidir. Geliştirilen YSA modelinde sertlik %4.3, gerilme direnci ise %1.6 hata göstermiştir.

Genel, Kurnaz ve Duman (2003) ise çinko-alüminyum kompozit ile güçlendirilmiş alumina malzemenin aşınma oranı ve sürtünme katsayısının deneysel sonuçlarını tahmin eden bir model geliştirmişlerdir. Modelde aşınma oranı % 94.2, sürtünme katsayıları ise % 99.4 yakınlıkta tahmin edilmiştir.

Altınok ve Köker (2005), geliştirdikleri YSA model ile Al matrisli kompozitlerin yoğunluk, gözeneklilik ve gerilme direncini modellemişlerdir. Geliştirilen modelin hatası 0.0000182 olarak gerçekleşmiştir.

Jokhio, Panhwar ve Unar (2011), çalışmalarında karıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilen alüminyum kompozitin mekanik özelliklerinin modellenmesini ele almışlardır. Çalışmada sertlik ve aşınma gibi mekanik özellikleri araştırılan numuneler çok katmanlı ileri beslemeli bir YSA modelde eğitilmiştir. Gerilme mukavemeti, uzama, sertlik ve aşınma direncini içeren 9 gizli nöron, 14 giriş ve 4 çıkışa sahip modelde eğitim ve test verileri % 2-7 aralığında bir hata oranı vermiştir.

Hanief ve Vanie'nin (2015) çalışmasında Gauss-Newton algoritması ve YSA bir arada kullanılmıştır. Geliştirilen modelde yüzey pürüzlülüğünün, diğer sistem parametreleri (hız, yük, sertlik vb.) sabit tutulmuştur. Çalışmada doğrusal olmayan model parametrelerinin optimal değerleri Gauss-Newton (GN) algoritması ile değerlendirilmiştir.

Macurova (2010), maksimum yüzey pürüzlülüğünün kesme işlemindeki ilerleme hızına bağımlılığını tanımlamak için bir matematiksel model geliştirmiştir. Modelde, deneysel çalışma için seçilen malzemelerin özellikleri formüle edilmiştir. Matematiksel model aynı zamanda teknolojik süreçlerin spesifik bağımlılıklarını da temsil etmektedir. Gözlemlenen parametrelerin özellikleri, yarı-doğrusal modellerle tahmin edilmiştir.

Wenlong ve arkadaşları (2014), alansal yüzey değerlendirme parametrelerini temel alan, aşınmadaki sürekli kayma sonundaki yüzey topolojisinin tahminini ele almışlardır. Çalışmada tahmin modelinin uyumluluğunu arttırmak için çalışma koşullarının ana faktörleri de dikkate alınmıştır. Çalışma sürecinin tahmini bir modelini oluşturmak için en küçük kare destek vektör makinesi ismi verilen bir yöntem kullanılmıştır. Çalışırken yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi için alansal yüzey değerlendirme parametreleri kullanılmıştır.

Palavar, Özyürek ve Kalyon (2015) çalışmalarında, önce yaşlandırma parametrelerinin Inconel 706 (IN 706) süperalaşımın aşınma davranışına etkisi deneysel olarak araştırılmış, aşınma deneylerinden sonra ağırlık kaybını tahmin etmek için bir YSA model geliştirilmiştir. YSA modelde 48 deney verisi eğitim, 12 deney verisi de test amaçlı kullanılmıştır. Çalışmada kayma mesafesi arttıkça ağırlık kayıplarının arttığı görülmüştür. Geliştirilen modelin R^2 değeri 0.9998 gibi yüksek bir değere ulaşmıştır. Çalışmada, YSA kullanılarak IN 706 alaşımının aşınma değerlerinin modellenmesi ile etkili sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.

Bu tezin amacı, toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Al matrisli B_4C parçacık takviyeli kompozit malzemenin farklı yük ve aşındırıcı boyutu altında deneysel olarak aşınma davranışını incelemektir. Yapılan deneysel çalışmada alüminyum tozları ile % 5, %10, %15 ve %20 oranlarında B_4C tozları sıkıştırılarak hazırlanan deney numunelerinin aşınma davranışları incelenmiştir. Deneysel süreçlerde en önemli problem zaman ve maliyet kayıplarıdır. Çalışmada, deneysel süreçlerde zaman ve maliyet kaybına neden olan klasik yöntemlere gerek kalmadan aşınma verilerinin bir YSA model ile tahmin edilip edilemeyeceği araştırılmıştır. Bu amaçla, elde edilen aşınma değerleri ileri beslemeli geriye yayımlı Levenbergt Marquert algoritması kullanan bir YSA modelde eğitilerek optimum aşınma değerleri belirlenmiş ve uygulanmayan aşınma şartları için tahminlerde bulunulmuştur.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler tek başına kullanıldığından daha iyi özelliklere yol açan iki veya daha fazla farklı malzemenin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşturulan bir malzeme türüdür. Kompozit malzemeyi oluşturan malzemeler birleşme sonrası birbirlerinin içerisinde çözülmez, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini korurlar. Kompozit malzeme üretimde amaç, bileşenlerde tek başına mevcut olmayan özelliklerin iyileştirilmesidir.

Kompozit malzemeler takviye ve matris elemanı olmak üzere iki ana bileşenden meydana gelir. Matris ana malzemeyi oluşturur. Matris malzeme plastik deformasyona geçişte oluşması muhtemel çatlakları önleyerek kompozit malzemede oluşabilecek kopmaları geciktirir. Takviye elemanı ise, kompozit malzemenin dayanım ve yük taşıma özelliğini iyileştirir. Kompozit malzemelerin temel avantajları, yıpranmış malzemelerle karşılaştırıldığında düşük yoğunlukla birlikte yüksek mukavemet ve sertlik, bununla birlikte düşük ağırlıktır.

2.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler aşağıda belirtilen önemli özelliklere sahiptir:

- En az iki malzemenin bir araya gelmesiyle oluşurlar,
- Kompozit malzemelerde matris ve takviye elemanları malzemeler birbirlerinin içinde çözünebilen, birbirlerini çözebilen bileşenlerden oluşmaz.
- Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler arasında atom alışverişi yoktur, dolayısıyla kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler.
- Nano seviyedeki parçacıkların karışımı ile nano kompozitler elde edilir.

Kompozit Malzemelerin Avantajları:

Kompozit malzemelerin avantajları aşağıdaki şekilde belirtilebilir (Köksal, 2017) :

- Daha hafif malzemeler üretmek mümkündür
- Titreşimleri absorbe etme özelliği vardır
- Bazıları çok yüksek akma sınırı değerlerine sahiptir.

- Doğru matris ve malzeme seçildiği takdirde korozyon problemi yoktur.
- Metallerle karşılaştırıldığında kopma uzaması daha yüksektir.
- Yorulmaya karşı dayanımları yüksektir.

Kompozit Malzemelerin Dezavantajları:

Kompozit malzemelerin sınırlılıkları aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

- Pahalı malzemelerdir
- Son derece uzmanlaşmış üretim süreçleri gerektirir
- Kalıpların yüksek kalitede olması gerekir
- Fırınlamadan kullanılamazlar.
- Aynı kompozit malzemenin mekanik mukavemet değerleri (eğilme, kesme, basma vb.) farklı olabilir
- Ortam şartları (nem ve hava zerrecikleri) kompozitlerin mekanik ve yorulma özelliklerini olumsuz yönde etkiler.
- Delik delme ve kesme türü işlemlere uygun değildir. Bu tür işlemler elyaflara zarar vermektedir.

2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matris malzemesine veya takviye geometrisine göre sınıflandırılır.

2.2.1. Matris malzemesine göre kompozit malzemeler

Metal matrisli kompozit malzemeler (MMK)

Kompozit malzemelerde matris yükü elyaflara aktarıp dağıtarak kompozit yapıyı dış etkilerden korumaktadır. Bunu, yapıştırıcı ve tutucu özelliği ile gerçekleştirir. MMK malzemeler metal malzemelerin tokluk ve süneklik, seramik malzemelerin ise yüksek dayanım ve elastik modüle sahip olma avantajlarının bir araya getirildiği malzemelerdir. MMK malzemeler yüksek aşınma direnci, elastiklik modülü, dayanım, sıcaklıklar ve düşük yoğunlukta kullanılabilme gibi önemli özelliklere sahiptirler (Atik, Ünlü, Şen ve Çavdar, 2006) . Diğer malzemelerle karşılaştırıldığı zaman pek çok üstünlüğe sahiptir. Alüminyum ve

alaşımları düşük yoğunluk , ergime sıcaklığı ve seramik takviye elemanlarını kolay ıslatabilmeleri sebebiyle matris malzemesi olarak en çok kullanılan MMK malzemelerdir. En yaygın güçlendirici fazları arasında (1) seramik parçacıklı ve (2) diğer metaller dahil seramik, karbon ve bor gibi çeşitli malzemelerin elyafları bulunur (Groover, 2016: 82). Al_2O_3 , SiC, Bor, TiC ve C ise en yoğun kullanılan takviye elemanlarıdır (Hiçyılmaz, Aydın ve Sarıtaş, 1999).

Polimer matrisli kompozit malzemeler

Polimer matrisli kompozitler (PMK), birinci fazı polimer ikincil fazın elyaf, parçacık veya tanecik olarak gömüldüğü kompozitlerdir (Groover, 2016) . Polimer matrisli kompozitleri oluşturmada temel hedef, oldukça sağlam fakat hafif, yüksek ısı ortamlara dayanıklı ve ekonomik malzemeler elde etmektir. Polimer kompozitler, parçacık dolgulu ve sürekli elyaf kompozitler olmak üzere iki ana kategoride incelenebilir.

PMK malzemelerde matris malzemesi olarak termoplastik ve termoset plastik malzemeler kullanılmaktadır (Şahin, 2000: 122). Termoplastik malzemelere örnek olarak aşağıdaki malzemeler verilebilir:

- Polyamide (PA)
- Politetrafloretillen (PTFA)
- Termoplastik polyester
- Polietilen

Matris malzemesi olarak kullanılan termoplastik malzemelere ise epoksi ve polyester verilebilir. Takviye elemanı olarak ise cam, karbon, polietilen, bor, Al_2O_3 ve SiC kullanılmaktadır. Düşük maliyete ve yüksek mukavemete sahip olmaları, üretiminin basit olması nedeniyle tercih edilirler.

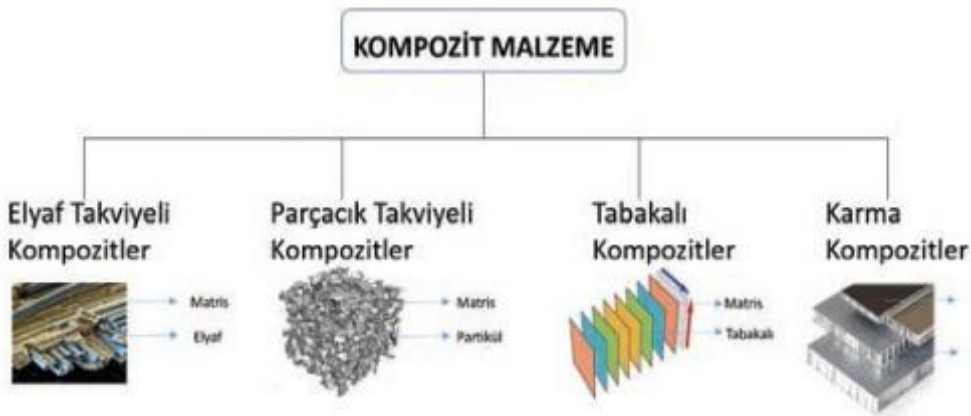
Seramik matrisli kompozit malzemeler

Seramik malzemeler, yüksek sıcaklığa dayanımı ve hafiflikleri açısından tercih edilmektedir. Bu özelliklerinden ötürü yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalarda yoğun bir kullanıma sahiptir. Seramik matrisli kompozit malzemelerde Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 ve B_4C matris malzemesi olarak, Al_2O_3 ve SiC ise takviye elemanları olarak kullanılırlar (Smith, 2001: 67) . Seramik malzemeler sert ve kırılğan özelliklerinden dolayı düşük kopma uzama değerine sahiptir. Bu özelliğe paralel olarak toklukları düşük ve termal şoklara karşı dirençleri düşüktür.

2.2.2. Takviye elemanına göre kompozit malzemeler

Takviye elemanlarına göre kompozitleri dört ana başlıkta incelemek mümkündür (Şekil 2.1). Bunlar aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

- Elyaf takviyeli
- Parçacık takviyeli,
- Tabakalı ve
- Karma kompozitler



Şekil 2.1. Takviye elemanına göre kompozitler (Putech, 2017)

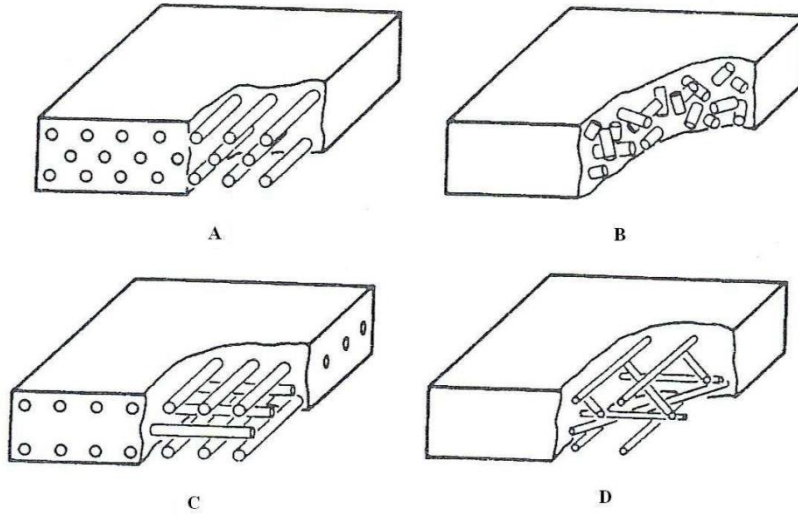
Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

Kompozit malzeme üretimde en çok kullanılan takviye parçacıklar, Al_2O_3 ve SiC seramik malzemelerdir (Şahin, 2000: 69). Takviye parçacıkları farklı geometrilere sahip olabilirler. Küresel, kübik, tek tip veya farklı geometrilere sahip olabildikleri gibi kompozit malzeme içerisinde rastgele veya yönlendirilmiş şekilde de konumlandırılabilirler. Yönlendirilmiş parçacık takviyesi ile özel zorlamalara karşı belirli yönde güçlendirme yapılabilir (Wallenberger, 2000).

Elyaftakviyeli kompozit malzemeler

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler özellikle uzay ve havacılık sektörlerinde yoğun bir kullanıma sahiptir. Bunun nedeni yüksek dayanım, rijitlik ve hafiflik gibi özelliklere sahip olmalarıdır (Wallenberger, 2000).

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde uygulanan bir yük matris fazı vasıtasıyla elyafa iletilir ve dağıtılır; çoğu durumda, orta derecede sünek olur. Malzemenin yük taşıma kabiliyetinin önemli olduğu yerlerde kullanılırlar. Elyaf takviyeli kompozitlerde elyafın vazifesi yükün önemli bir kısmını taşımaktır. Elyaf, kompozit malzeme içerisinde tek yönlü şekilde ya da yönlendirilmiş olarak bulunabilirler. Elyaf, genel olarak, malzemeye uygulanacak yüklerin doğrultusunda konumlandırılırlar (Askeeland, 2004). Şekil 2.2’de elyaf takviyeli kompozit malzemelerin farklı şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin farklı şekilleri: (a) Sürekli tek yönlü fiberler, (b) Rastgele yerleştirilmiş fiberler, (c) Ortogonal fiberler, (d) Açılı yerleştirilmiş fiberler (Askeland, 2004:28).

Tabakalı kompozit malzemeler

Tabakalı kompozit malzemeler farklı özellikteki kompozit tabakaların yan yana veya üst üste getirilmesi ile oluşturulur. Aşınma direnci, yük taşıma kabiliyeti ve korozyon dayanımının önemli olduğu yerlerde kullanılır. Tabakalar farklı malzemelerden oluşabilir. Bunun yanında farklı tür ve şekilde takviye içeren kompozitlerden de oluşabilirler. Tabakalı kompozitlerin en önemli özellikleri, yapısal ve fonksiyonel malzemeler olarak sundukları avantajlardır. Askeri ekipmanlar ve hafif zırhların imalatında tercih edilen kompozit elemanlardır.

2.3. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesi süreci 1960'ların başlarına kadar dayanır. Buradaki amaç, daha yüksek sıcaklara dayanabilen ve spesifik mukavemeti daha yüksek malzemeler elde etmektir. Bu amaçla MMK'lerde alüminyum, magnezyum ve titanyum gibi bir metal matris ile karbon ve silisyum karbür gibi elyaflar bir araya getirilirler. MMK'lar metalik köpük, sermet, parçacık veya elyaf takviyeli metaller gibi geniş bir malzeme grubunu içine almaktadır. MMK'lar aşağıda başlıcaları belirtilen, geleneksel metal ve diğer tek parça malzemelere oranla önemli avantajlara sahiptir (Mazumdar, 2002; Akbulut, 1995):

- Düşük yoğunluk,
- Tekrar üretilebilir içyapı ve özellikler,
- Mekanik uyumluluk (düşük bir termal genleşme katsayısı)
- Yüksek Young modülü,
- Yüksek dayanım,
- Yüksek esneklik modülü,
- Daha iyi tokluk ve darbe dayanımı,
- Daha yüksek yüzey sertliği ve yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet,
- İyi işlenebilirlik,
- Ekonomik verim,
- Kimyasal uyumluluk,
- Termal kararlılık,
- Yüksek sıkıştırma ve gerilme mukavemeti,
- Sıcaklık değişikliklerine veya ısıl şoka karşı düşük hassasiyet,
- Yüksek elektrik ve ısıl iletkenlik.

Kompozit malzemeler ve matrislerden beklenen özellikler hafiflik, korozyon direnci, kırılma tokluğu ve takviye elemanı ile uyumluluk olarak belirtilebilir.

Matris malzemelerinin temel görevi takviye elemanlarına yük aktarımı yapmaktır. Matrisin bir diğer özelliği ise takviye elemanlarını aşınma ve korozyona karşı korumaktır. Ayrıca takviyedeki kırılğan çatlakları önler. Matris malzemeleri kompozit yapının kayma, basma, akma, sürünme, dielektrik ve termo mekanik özelliklerini belirleyici bir rol oynamaktadır (Aran, 1997).

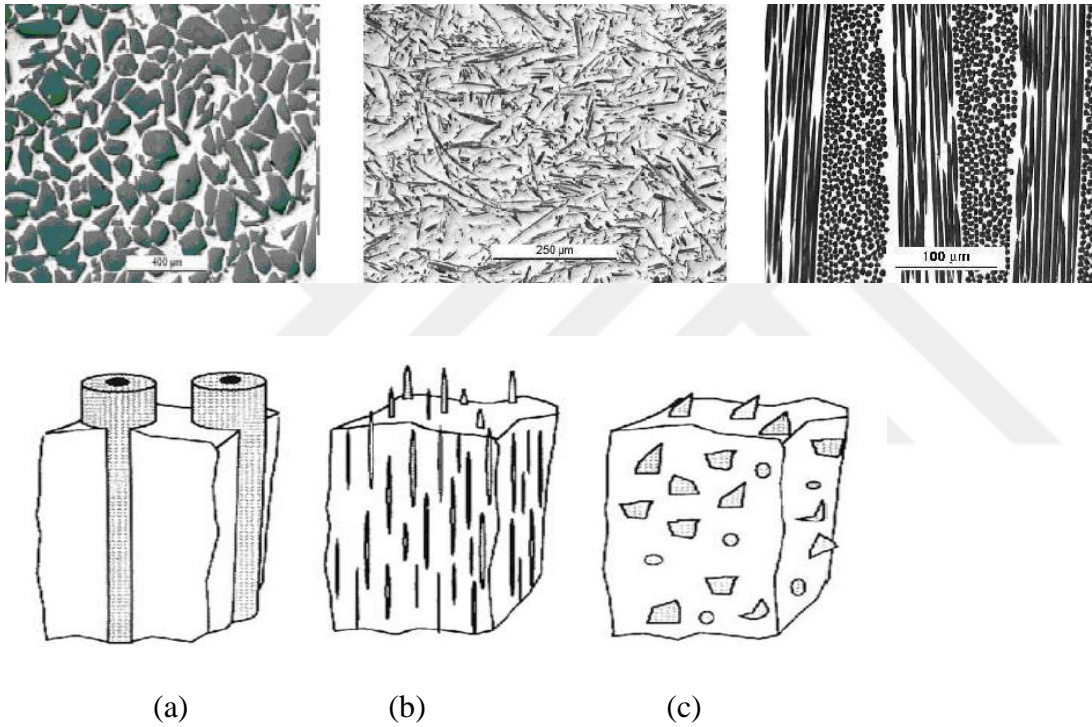
Matris malzemeleri takviyeleri, yük aktarıırken aynı zamanda aşınmaya ve aşınmaya karşı korur. Matris materyalleri kompozit yapı değişikliği, sıkıştırma, sürünme, sünme, dielektrik ve termo-mekanik özellikler üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

Kompozit malzemelerde matris malzemelerinden beklenen düşük yoğunluk, yüksek tokluk, atmosfere karşı yüksek korozyon dayanımı ve iyi mekanik özelliklerdir. Bu özellikleri taşıyan hafif metal alaşımları minimum ağırlık prensibine göre imal edilmesi gereken hafif ürünlerde tercih edilirler. Alüminyum (Al), magnezyum (Mg), çinko (Zn), bakır (Cu), titanyum (Ti) ve nikel (Ni) gibi metaller ve alaşımları bu ihtiyaçları iyi karşıladıkları için matris malzemesi

olarak kullanılmaktadır. Her takviye, kompozit malzeme içindeki etki ve ortaya çıkan profil için önemli olan tipik bir profile sahiptir.

Metal matrisli kompozit malzemeleri üç başlık altında incelemek mümkündür (Şekil 2.3):

- Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitler,
- Kısa elyaf takviye metal matrisli kompozitler.
- Sürekli elyaf takviyeli metal matrisli kompozitler.



Şekil 2.3. Takviye malzeme geometrisine göre metal matrisli kompozitler: a) Parçacık takviyeli, b) Kısa elyaf takviyeli, c) Sürekli elyaf takviyeli (Beffort, 2002; Clyne ve Withers, 1993)

MMK'ler matris malzemesi yönünden karşılaştırıldığında, partikül esaslı MMK'ler çoğu zaman büyük bir dayanım gösterirler, fakat matris içinde kırılabilir partiküllerinin eklenmesinden kaynaklanan süneklik ve kırılma dayanıklılığı düşüktür. Maliyeti düşük, rijitliği yüksek ve izotropik özelliklere sahiptir. Kısa elyaf katkılı (Whisker) MMK'ler, parçacık esaslılara oranla pahalı, ancak daha dayanıklıdır (Çizelge 2.1). Sürekli elyaf katkılı MMK ise elastiklik modülü ve dayanım açısından en iyi kombinasyonu sağlarlar. Fakat bu

kompozitler anizotropik olmalarının yanında imalatta kullanılan elyafların ve diğer imalat maliyetlerinin yüksek olması yönü ile dezavantajlıdır (Çöçen ve Önel, 1996).

Çizelge 2.1. Farklı metal matrisli kompozitlerin özellikleri (Kainer, 2006)

MMK Tipi	Dayanım Özellikleri	Young modülü	Yüksek Sıcaklık	Aşınma	Genleşme katsayısı	Maliyet
Mineral yün	*	*	**	**	*	Orta
Süreksiz takviyeli	**	**	*	***	**	Düşük
Uzun elyaf tak.	**	**	**	*	***	Yüksek
MMK: C elyaflar						
Diğer elyaflar	***	***	***	*	**	Yüksek

Üretim amacına yönelik olarak en uygun kompoziti elde edebilmek önemlidir. Netice olarak kompozit üretimi pahalı bir süreçtir. Bu sebeple üretilecek MMK'in bileşenleri etraflı bir şekilde incelenmeli, ayrıntılı bilgiler edinilmelidir. Takviye elemanının özellikleri, kimyasal bileşimi, dağılım oran ve şekli, homojenizasyonu önemlidir. Takviye elemanında olduğu gibi metal matrisin özellikleri de dikkatli bir şekilde incelenmelidir. Tüm bu süreçlerde takviye fazı ve matris alaşımın kimyasal uyumu da dikkate alınmalıdır (Akorall, Türker ve Özçatalbaş, 2002). Elyaf takviyeli kompozitler, bir matris malzemesine gömülü aksiyal parçacıklardan oluşur. Yüksek elastiklik modülü ve dayanım beklenen yerlerde tercih edilirler. Çizelge 2.2, Bor ve SiC takviyelerle güçlendirilmiş bazı alüminyum metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini vermektedir.

Çizelge 2.2. Bazı MMK malzemelerin mekanik özellikleri (Smith, 2001)

MMK Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kopmadaki Uzama Miktarı (%)
Sürekli Elyaflı			
Al 2024-T6 (45% B)	1458	220	0.810
Al 6061-T6 (51% B)	1417	231	0.735
Al 6061-T6 (47% SiC)	1462	204	0.89
Süreksiz Elyaflı			
Al 2124-T6 (20% SiC)	650	127	2.4
Al 6061-T6 (20% SiC)	480	115	5
Parçacık takviyeli			
Al 2124-F (20% SiC)	552	103	7
Al 6061-F (20% SiC)	496	103	5.5
Güçlendirilmemiş			
Al 2124-F	455	71	9
Al 6061-F	310	68.9	12

Metal matris kompozitlerin metallere karşı üstünlükleri aşağıdaki şekilde belirtilebilir (Kalemtaş, 2014):

- Spesifik mukavemet: Yüksek mukavemet / yoğunluk oranı
- Spesifik modül: Yüksek elastiklik modülü / yoğunluk oranı
- Daha iyi yorulma direnci
- Daha iyi yüksek sıcaklık özellikleri
- Düşük termal genleşme katsayısı
- Daha iyi aşınma direnci

Metal matrisli kompozitlerin sınırlılıkları ise aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

- Döküm yöntemi hariç olmak üzere sürekli elyaf takviyesinin gerektiği imalat süreçleri zor ve karmaşıktır
- İmalatta yüksek maliyet ve pahalı donanım

- İmalat piyasasında yeni olmasından ötürü firmaların tecrübesizliği

Döküm yönetimi ile üretilen parçacık takviyeli MMK malzemeler sürtünme ve aşınma dayanımının yüksek olması beklenen alanlarda daha yoğun olarak kullanılmaktadır.

2.3.1. MMK malzemelerde kullanılan matris malzemeleri

MMK'lerde matris malzemesi olarak yoğunlukla hafif metaller tercih edilmektedir. Al alaşımları hafifliği, farklı üretim yöntemleri ile üretilme yeteneği, yüksek dayanım ve korozyon direncine sahip olması yönleri ile matris malzemesi olarak yoğun bir şekilde tercih edilen alaşımlardır. Düşük yoğunluk ve ergime sıcaklığına sahip olmalarının yanında seramik takviye elemanlarının kolay ıslatabilme özelliklerinden dolayı Al ve alaşımları MMK malzemelerde matris elemanı olarak tercih edilmektedirler.

Al ve alaşımlarının mevcut özelliklerini geliştirerek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık ve üretilebilirlik özelliklerini iyileştirmek için takviye elemanları kullanılmaktadır (Kalemtaş, 2014). Al-Si alaşımları yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme gerektiren yerlerde, Al-Mg ve Al-Cu alaşımları ise düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik gerektiren yerlerde matris alaşımı olarak tercih edilir (Hiçyılmaz, Aydın ve Sarıtaş, 1999). Matris malzemesinden beklenen, elyaf veya parçacık takviyelerini iyi ıslatmasıdır. Ayrıca, yüksek performans beklenen kompozit malzemelerin üretimi için matris malzemesi iyi bir ara yüzey bağı oluşturarak düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılaşmalıdır. Üretim aşaması ve üretim sonrası işlemlerde matris kararlı kalarak takviye elemanı ile kimyasal etkileşime girmemelidir (Şahin, 2000). MMK malzemelerde geniş bir matris malzeme yelpazesi vardır. Mg, Al, Co, Ti, Cu, Ni ve Zn gibi metaller ve alaşımları matris malzemeleri arasında sayılabilir. Bunların arasından Al, Ti ve Mg alaşımları en yaygın kullanım alanına sahiptir (Ünlü, Durmuş ve Meriç, 2007).

Alüminyum ve alaşımları

Al ve alaşımları metal malzemeler saf veya alaşım formunda en yaygın olarak kullanılan malzeme gruplarından. Saf alüminyum alaşımlama yapılarak, oksijene ilgisinden

kaynaklanan kötü döküm yeteneği ve düşük mekanik özelliklerinde gelişme sağlanmaktadır. Çizelge 2.3’de saf alüminyumun önemli özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Saf alüminyumun önemli fiziksel özellikleri (Şahin, 2000)

Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.78	
Ergime sıcaklığı (°C)	660	
Ergime ısısı (Kj/kg)	-390	
Elastik modülü (Gpa)	66	
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	24.10 ⁻⁶	
Isı iletim katsayısı (W/mK)	230	
Elektrik iletim kts. (m/Ωmm ²)	40	
Mukavemet (Mpa)	290	
Akma mukavemeti (Mpa)	30	
Sertlik (Mpa)	Vickers	Brinell
	167	245

Al alaşımlarının yaygın kullanılmasının nedenleri:

- Elektrik iletkenliği /özgül ağırlık oranının yüksek olması,
- Dayanım / özgül ağırlık oranının yüksek olması,
- Plastik deformasyon kabiliyetinin iyi olmasından kaynaklanmaktadır.
- Atmosfer ve diğer ortamlarda iyi korozyon direncine sahiptir.

Alüminyum alaşımları, üretim yöntemlerine göre iki ana gruba ayrılır:

- Dövme alaşımları ve
- Döküm alaşımları

Bu iki grup sertleştirilebilen ve sertleştirilemeyen alaşımlar olarak kendi içinde sınıflandırılabilir (Şahin, 2000). SiC, Al matrisli kompozit malzemelerde en yoğun kullanılan takviye elemanı malzemesidir (Prekumar, Hunt ve Sawtell, 1992).

Magnezyum ve alaşımları

Magnezyum düşük dayanıma sahip olduğu için saf olarak kullanımı mümkün olmayan bir elementtir. Bu özelliğinden ötürü magnezyumun değişik alaşımlarının elde edilmesi gerekmektedir. Magnezyum alaşımlarının hafifliği ve özgül çekme dayanımlarının büyüklüğü uçak sanayii gibi önemli sektörlerde yoğun olarak tercih edilmesinin sebebidir. Özellikle özgül çekme dayanımı açısından çelik ve alüminyuma göre büyük avantajlara sahiptir. Magnezyum esaslı kompozit malzemeler, bu üstün özellikleri sebebiyle sanayide giderek artan bir taleple karşılaşmaktadır.

Magnezyum Alüminyuma göre düşük yoğunluğa (1.74 gr/cm^3), yüksek özgül mukavemete sahiptir. Bunun yanında alüminyuma göre düşük dayanıma sahiptir. Ayrıca düşük korozyon direnci ve yorulma dayanımı değerleri, yüksek sıcaklıkta sünme ve kötü aşım özellikleri gibi dezavantajlara sahiptir. Alüminyum ve çinko (Zn) magnezyum ile kullanılan alaşım elementleridir. Çinko tokluğu artırırken, alüminyum dayanıklılığı artırmaktadır.

Doğada bol olarak bulunan elementlerden olan magnezyum düşük ergime sıcaklığına sahip olmasının yanında iyi kaynaklanabilme özelliğine de sahiptir (Altun ve Şen, 2006). Döküm işlemine uygun olan magnezyum alaşımlarının sertleşebilen ve sertleşmeyen türleri mevcuttur. Talaşlı imalata diğer metallere göre daha uygundur.

Titanyum ve alaşımları

Titanyum ve alaşımlarının MMK malzemelerde korozyona karşı dayanımının çok iyi olması sebebiyle matris malzemesi olarak yoğun bir kullanım alanı vardır. Titanyum ve alaşımlarının en önemli özellikleri yüksek korozyon direnci ile birlikte yüksek dayanıma ve yüksek sıcaklık altında yüksek performans göstermesidir. Bunlarla birlikte hafiflik titanyumu metaller arasında öne çıkartan önemli bir özelliğidir. Metaller arasında Titanyumun ısıl genleşme katsayısı en düşük olanlardandır. Ayrıca mukavemet ve rijitliği Alüminyumdan daha yüksektir.

Titanyum ve alaşımları bu üstün özelliklerinden dolayı medikal cihazların üretiminde (protez, ameliyat cıvataları vb.) popüler bir üründür. Titanyum ve alaşımlarının yoğun olarak

kullanıldığı bir diğer alan uçak ve uzay sanayiidir. Bu alanlarda ihtiyaç duyulan çok iyi dayanım / özgül ağırlık oranı bu malzemelerle kolay bir şekilde elde edilmektedir. Bütün bu üstün özelliklerinin yanında pahalı olması titanyum ve alaşımlarının dezavantajıdır. Isıl genleşme katsayısının düşük olması bir dezavantajken yüksek sıcaklık uygulamalarında oldukça iyi performans göstermeleri avantajlı yönleridir.

Matris elemanı olarak kullanıldığı durumlarda takviye elemanı ile iyi bir yapışma sağlaması sebebiyle titanyum ve alaşımlarının yüzey dayanımları yüksektir. MMK malzemelerde yaygın olarak kullanılan matris malzemeleri, Ti-6Al-4V, Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al ve Ti-17Mo'dur. TiC ve SiC Titanyum matris kompozit malzemelerde en yaygın kullanılan takviye elemanlarıdır (Şahin, 2000).

2.3.2. Metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanları

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde takviye elemanının doğru seçimi ve özelliklerinin iyi bilinmesi önemlidir. Çünkü kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini takviye elemanlarının yapısal özellikleri belirler. Metal matrisli kompozitler için takviye elemanından aşağıda verilen ihtiyaçları karşılaması beklenir (Kainer, 1994):

- Düşük yoğunluk,
- Mekanik uyumluluk
- Kimyasal uyumluluk,
- Termal kararlılık,
- Yüksek Young modülü,
- Yüksek sıkıştırma ve gerilme mukavemeti,
- İyi işlenebilirlik,
- Ekonomik verim.

Bu talepler yalnızca metal olmayan inorganik takviye bileşenleri kullanılarak sağlanabilir. Metal takviye için seramik parçacıkları veya daha ziyade elyaflar veya karbon elyafları kullanılır. Yüksek yoğunluk ve matris alaşımı ile reaksiyona olan bağlılığa bağlı olarak, metalik elyafın normalde kullanılması başarısız olur. Sonunda hangi bileşenlerin kullanıldığı, seçilen matriste ve istenen uygulamadaki talep profiline bağlı olarak değişir.

Al_2O_3 , SiC, Bor, TiC ve karbon MMK malzemelerde en çok kullanılan takviye elemanlarıdır (ASM Handbook, 2002). Bunlar doğada seramik parçacık halinde bol olarak bulunduğu için, parçacık takviyeli kompozitler için takviye elemanı olarak yaygın bir kullanıma sahiptir.

Parçacık takviyeli kompozitlerin avantajları aşağıdaki şekilde sayılabilir:

- Matris malzemesine takviye sağlarlar ve böylece malzemeyi güçlendirirler.
- Sürekli veya kısa elyaflara göre daha ucuzdurlar.
- Takviye ve matris kombinasyonu çok özel malzeme özellikleri sağlar.
- izotropik özellikler gösterirler.
- Partiküllü kompozitler çoğu zaman maliyeti düşüren enjeksiyon kalıplama gibi daha geleneksel üretim yöntemlerini kullanabilir.
- Döküm gibi geleneksel üretim yöntemlerinin yanında TM yöntemi ile üretilebilirler ve ikincil işlemler (dövme, haddeleme vb.) uygulanabilir.
- Yüksek rijitlik ve aşınma dayanımı özelliklerine sahiptirler.

Kısa elyaf takviyeli malzemeler yüksek mukavemet beklenen yerlerde kullanılır. Sürekli elyaf katkılı malzemeler ise yüksek rijitlik ve mukavemet beklenen yerlerde kullanılırlar. Takviye elemanları arasında en pahalı olanı Bor'dur. Bor'dan sonra maliyet açısından SiC, karbon ve Al_2O_3 gelmektedir.

Al_2O_3 , SiC, TiC ve B_4C gibi seramik malzemeler fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı mühendislik alanında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük kırılma tokluğu ve dayanımı sebebi ile seramik malzemeler makine parçalarında tercih edilmez. Ancak bunun yanı sıra parçacığın sertliği ana yapının sertlik değerlerini de artırır (Furukawa, Nakano ve Tasashima, 1988).

Alümina (Al_2O_3)

Metal matrisli kompozitlerde hedef düşük yoğunluğa ve yüksek dayanıma sahip malzemeler elde etmektir. Bu özellikler genelde seramik faz ile sağlanır. Alümina, Al_2O_3 kimyasal formülüyle tanımlanan alüminyum ve oksijenin kimyasal bir bileşiğidir. Yüksek sıcaklık

dayanımı, modül ve rijitlik özelliklerine sahip Alumina, bu özelliklerinden dolayı takviye elemanı olarak yoğun olarak tercih edilmektedir.

Takviye elemanı olarak en yaygın kullanıldığı matris malzemeleri ise alüminyum ve alaşımlarıdır. Sürekli formdaki alümina, taşıma kolaylığı, elyafları istenilen yönde hizalama kabiliyeti ve filaman sarma kabiliyeti gibi kompozit imalat için birçok avantaj sağlar. (Composite Materials Handbook, 2002). Alümina iyi bir yalıtkan olduğundan, iletkenliğin olduğu uygulamalarda kullanılabilir. SiC ile karşılaştırıldığında daha düşük modül ve dayanıma, daha yüksek yoğunluğa sahipken maliyet açısından, SiC'e göre avantajlıdır (ASM Composite Handbook, 2001).

Silisyum Karbür (SiC)

Başlangıçta kum ve karbonun yüksek sıcaklıktaki elektrokimyasal reaksiyonu ile üretilen SiC, MMK'lerde kullanılan bir seramik takviye elemanıdır. Silisyum karbür ağırlıklı olarak silikatın karbotermal indirgemesi ile üretilen sert, kovalent bağlı bir malzemedir. Günümüzde, çok iyi mekanik özelliklere sahip yüksek kalitede bir teknik kalitede seramik haline gelmiştir. Aşındırıcılar, refrakterler, seramiklerde ve çok sayıda yüksek performanslı uygulamalarda kullanılır.

Silisyum karbürün temel özellikleri mükemmel ısı iletkenliğine ve düşük termal genleşmeye sahip olması dolayısıyla iyi termal şok direnci görüntüsüne sahip olmasıdır. Silikon karbür, mükemmel bir aşındırıcıdır ve yüz yılı aşkın bir sürede zımpara taşları ve diğer zımpara ürünleri haline getirilmiş ve üretilmiştir. Buna ek olarak, aşınma ve korozyon direncinin öncelik olduğu yerlerde SiC tercih edilir.

Silisyum karbürün dikkat çeken özellikleri aşağıdaki şekilde sayılabilir:

- Düşük yoğunluk
- Yüksek dayanım
- Düşük termal genleşme
- Yüksek ısı iletkenliği
- Yüksek sertlik

- Yüksek elastik modül
- Mükemmel termal şok direnci

Bor

Bor, hafif ve kırılğan bir malzemedir. Bor elyaf borun kimyasal buhar biriktirme yolu ile tungsten veya karbon altlık üzerine kaplanması ile üretilir. Bor elyafta ortaya çıkabilecek kalıntı gerilmelerini ortadan kaldırmak için ısıl işlem yapılır. Isıl işlem sırasında tane büyümesini engellemek için sıcaklığın kontrol edilmesi gereklidir. Çünkü, aşırı tane büyümesi elyaf dayanımını azaltır. Bor elyaf mukavemet, sertlik ve yoğunluk kombinasyonu açısından benzersizdir. Bor elyaflar çok yüksek elastikiyet modülüne sahiptir, fakat oldukça pahalıdır. Termal iletkenlik ve ısıl genleşme düşüktür.

Bor elyafların yapısı ve morfolojisi çökelme koşullarına bağlıdır. Bunlar sıcaklık, gaz kompozisyonu, gaz dinamiği vb. gibi koşullardır. Teorik olarak mekanik özellikler yalnızca atomik bağın gücüyle sınırlandırılmış olmakla birlikte, uygulamada mekanik özellikleri düşüren mevcut yapısal kusurlar ve morfolojik düzensizlikler bulunmaktadır. Bazı metallerle reaksiyona girdiği (Al ve Ti) zaman bor elyaflar kırılğan bir hal alır. Bunu engellemek için bor, 25-45 µm kalınlığa kadar SiC veya B₄C ile kaplanır (ASM Composite Handbook, 2002). Kaplama işlemi kimyasal buharlaşma (CVD) yöntemi ile gerçekleştirilir.

B₄C yüksek rijitlik ve sertlik, yüksek darbe ve aşınma direnci, yüksek ergime noktası, yüksek kimyasal direnç ve düşük yoğunluk gibi üstün mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle alüminyum için en uygun takviye elemanlarından birisidir (Kennedy ve Brampton, 2001; Lee ve Kang, 2001). Ancak, B₄C tozlarının maliyeti SiC veya Al₂O₃ gibi takviye elemanlarına göre daha yüksektir (Zhang, Ramesh ve Chin, 2004).

B₄C seramikleri yüksek sertlik, ergime sıcaklığı, elastiklik modülü, aşınma direnci ve düşük yoğunluk gibi üstün özelliklere sahiptir. Bu özelliklerinden ötürü su jeti kesicileri, nükleer kontrol çubukları, radyasyondan koruyucu kalkanlar, balistik zırh uygulamaları, metal buharlaştırma kayıkçıları gibi ileri teknolojinin kullanıldığı alanlarda yoğun bir kullanıma sahiptir (Thevenot, 1990).

Bu avantajlarının yanında kimyasal yapısından kaynaklı bazı sınırlılıkları sözkonusudur. Örneğin, yukarıda bahsedilen üstün özelliklerin elde edilmesi ancak maksimum yoğunlaştırılmış parçalarda sözkonusudur. Yine düşük yayınma katsayısı nedeniyle, B₄C seramiklerini, teorik yoğunluklarının %80'nin üzerinde sinterlemek oldukça güçtür. Bunun yanında yüksek sıcaklıklarda sinterleme yapabilmek için oldukça yüksek basınç uygulaması olan sıcak presleme işlemine ihtiyaç vardır (Orhan, Gür ve Çalgülü, 2007).

Karbon

Karbon elyaflar 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Karbon elyafın ana bileşimleri karbonlaşmış akrilik elyaf (Orlon), katran ve naylondur. Yüksek performanslı uygulamalarda bugüne kadar en çok kullanılan elyaf olan karbon elyaf, poliakrilonitril (PAN), rayon ve zift (pitch) olmak üzere çeşitli hammaddelerden üretilmiştir. Piyasadaki ilk yüksek performanslı karbon elyafları rayondan yapılmıştır. PAN-ve zift-bazlı elyaf çoğu uygulamada rayon bazlı elyafın yerini almış, ancak ikincisinin "dogbone" kesiti genellikle karbon / karbon (C / C) kompozitleri için tercih edilen elyaf kılar. Karbon elyaflar uzay ve havacılık sanayii, savunma, otomotiv sanayii, spor aletleri (tenis raketi, board vb.), yapı güçlendirme alanlarında yüksek dayanıklılık, düşük yoğunluk, düşük sürtünme ve ağırlık özelliklerinden dolayı yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Yaklaşık 1500 °C 'ye kadar mekanik özelliklerini koruyabilen karbon elyafların ısı genleşme katsayıları çok düşüktür. Karbon elyaflar sürekli ve kırılmış elyaflar olmak üzere iki biçimde bulunur.

Avantajları:

- Yüksek Mukavemet
- Kalıcı Renklendirme
- Kolay Şekillendirilme
- Korozyona Ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet
- Titreşim Sönümlendirme

Dezavantajları:

- Karbon elyaflar için kalıp imali oldukça zordur

- Karbon elyafların bir diğer dezavantajı ise fiyatıdır. Benzerlerine göre oldukça pahalı bir malzemedir.
- Hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliği üzerinde olumsuz etkilere sahiptir,
- Mekanik özellikleri, elyaf doğrultusuna göre değişiklik gösterebilir. Aynı malzeme için bile mukavemet (çekme, eğilme, kesme vb.) değerleri farklılıklar gösterebilir.
- Karbonlu yapıları çentik etkisi altında veya çatladıktan sonra, düzeltmek veya tamir etmek mümkün değildir. Yapı hasar gördükten sonra lifler kırılır ve yapı artık yeterince güçlü değildir.

TiC

TiC, tungsten karbür benzeri, son derece sert seramik malzemedir. Yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini muhafaza edebilme yeteneğine sahiptir. Bu özelliği TiC'in kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak tercih edilmesinin en önemli sebeplerindendir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında, yüksek modül ve mukavemet ile iyi sürünme dayanımı gösterir. En büyük dezavantajı yoğunluğunun fazla olmasıdır. TiC parçacık takviyesinin Titanyum ve nikel bazlı alaşımlarda kullanım sıcaklığını yükselttiği görülmüştür (1100 °C üzeri). Çizelge 2.4'de bazı takviye elemanlarının tipik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.4. Bazı takviye elemanlarının tipik özellikleri (Kainer, 1997)

Takviye elemanı	Al ₂ O ₃ (Saffil)	SiCparçacık	Al ₂ O ₃ parçacık
Kristal yapı	δ- Al ₂ O ₃	Hegzagonal	Hegzagonal
Yoğunluk (g/cm ³)	3.3	3.2	3.9
Ortalama çap (µm)	3.0	Değişken	Değişken
Uzunluk (µm)	ca. 150	-	-
Mohs Sertliği	7.0	9.7	9.0
Dayanım (MPa)	2000	-	-
Young Modülü (GPa)	300	200-300	380

2.3.3. MMK malzemelerin üretim yöntemleri

MMK'ler son derece umut verici mekanik ve termal özelliklere sahip olsa da, çok özel uygulamalarda yalnızca sınırlı kullanıma sunulmuştur. Karmaşık işlem gereksinimleri ve nihai ürünün yüksek maliyeti gibi sınırlılıklar, MMK'lerin karmaşık işlem gereksinimleri için engel oluşturmaktadır. MMK'lerin imalatı için farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler üretilen parçanın şekline, parçadan beklenen mekanik ve fiziksel özelliklere, matrise, takviye elemanının şekil ve türüne göre belirlenir.

Metal matrisli kompozitler, geleneksel veya modern şekillendirme yöntemleri dahil olmak üzere farklı sıcak ve soğuk şekillendirme teknikleri ile şekillendirilebilirler. Bunlar aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

- Karıştırmalı döküm,
- Basınçlı döküm,
- Toz metalürjisi (TM),
- Basınçlı sıvı metal süzdürme tekniği,
- Derin çekme,
- Haddelme,
- Sıcak ekstrüzyon

Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri, geleneksel üretim yöntemlerine göre daha karmaşık bir prosese sahiptir. Bunda etkili olan husus matris ve takviye fazları arasındaki etkileşimdir. MMK'ların üretim yöntemleri üç başlıkta sınıflandırılabilir.

Bunlar:

- Katı fazda üretim
- Sıvı fazda üretim ve
- Katı-sıvı fazda üretimdir.

MMK'lerde talaşlı imalatla imalat yöntemi, takviye elemanında hasara yol açacağından fazla tercih edilmez. Bunun yanında sert takviye parçacıkların işlenmesi yüksek maliyeti de

beraberinde getirir (Poudens, Bacroix ve Bretheau, 1995; Jiang, Collado, Keeley ve Dodd, 1995). MMK'lerin üretiminde en çok kullanılan yöntemler aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

Katı Faz Üretim Yöntemleri:

- Toz Metalurjisi
- Difüzyon Bağı

Sıvı Faz Üretim Yöntemleri:

- Sıvı Metal İnfiltrasyon
- Sıkıştırma Döküm
- Sıvı Metal Karıştırma
- Plazma Püskürtme

Diğer Yöntemler:

- Rheocasting ve Compcasting Döküm Teknikleri
- Vidalı Ekstrüzyon
- In-Situ Tekniği
- XD Tekniği

Malzeme veya ürünün üretim yöntemine, üründe hedeflenen mekanik ve fiziksel özellikler dikkate alınarak karar verilir. Üretim yöntemine karar verilirken aşağıda verilen parametreler de dikkate alınmalıdır (Akdoğan, 2005):

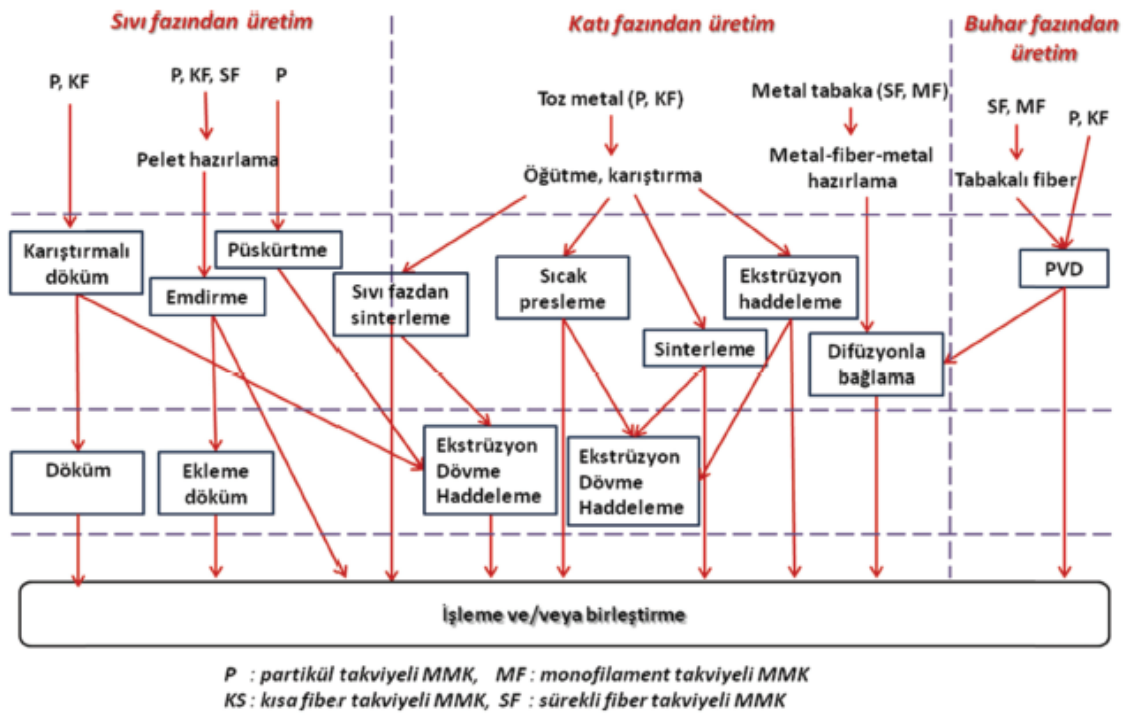
- Çalışma sıcaklığı aralığı
- Takviye malzemesi şekli
- Matris malzemesi ile takviye malzemesinin uyumu
- Matris ve takviye malzemelerinin ek işlem gereksinimi
- Matris malzemesi ile takviye malzemesi arasında oluşabilecek reaksiyonlar
- Üründen istenen boyut tamlığı
- Takviyenin matris malzemesi içerisinde dağılımının homojen olması

- Matris-takviye ara yüzey bağının tam olarak sağlanabilmesi

TM ile malzeme imalatı, son yıllarda en hızlı gelişen imalat yöntemlerinden birisidir. TM ile üretim iki ana adımdan oluşur. Öncelikle karıştırılmış haldeki metal tozları oda sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda bir kalıp içerisinde preslenerek şekillendirilir, daha sonra belirli bir sıcaklıkta sinterlenerek imalat gerçekleştirilir (Ekşi ve Bircan, 2006). Toz metal yöntemi ile üretilen makine elemanları geleneksel imal usülleri (haddeleme, döküm vb.) ile üretilen malzemelere göre bazı üstünlüklere sahiptir. Kompleks formulu parçaların kolay imalatı ve göreceli olarak imalatı zor alaşımları daha kolay imal edebilme gibi avantajları bunların arasında sayabiliriz (Sansino, Schlieper ve Huppmann, 1984). Ayrıca, toz metal parçalarda yoğunluk kontrolü ve ekonomik avantajlar da toz metal teknolojisinin imalat süreçlerinde tercih edilmesinin önemli nedenlerindedir.

Kompozit malzemelerde matris ve takviye elemanı arasında etkili bir şekilde bağlanmanın elde edilememesi önemli bir problemdir. TM yöntemi bu problemin aşılmasında bir çözüm olabilir. Nispeten düşük sıcaklıklarda yapılan TM üretim yöntemi, teorik olarak arayüzey kinetiğinin daha iyi kontrol edilmesini sağlar (Harrigan, 1998).

Şekil 2.4'de MMK'lerin üretim yöntemleri görülmektedir (Clyne, 2001). Şekilde de görüldüğü gibi üretim yöntemleri matris fazına göre sınıflandırılmıştır. Bunlar; sıvı, katı ve buhar fazlarıdır.



Şekil 2.4. MMK üretim yöntemlerine ait genel akış şeması (Kalemtaş, 2014)

2.3.4. MMK malzemelerin mekanik özellikleri

MMK'lerde matrisin fonksiyonu, elyafları bir arada tutarak onları çevresel etkilerden korumak ve yükü elyaflara dağıtmaktır. Böylece kullanım kaynaklı hasarlar da engellenmektedir. Matrisler elyaflara göre daha düşük mekanik özellikler göstermelerine rağmen pekçok mekanik özelliği etkiler. Enine modül ve mukavemet, kayma modülü ve mukavemeti, basma dayanımı, ısıl genleşme katsayısı, ısıl direnç ve yorulma dayanımı bunların arasında sayılabilir.

Metal matrisli kompozitler; yüksek elastik modülüne, yüksek çekme-basma ve kayma mukavemetine, yüksek çalışma sıcaklığına sahip olmaları ayrıca, metallerin süneklik ve tokluğunu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini birleştirmelerinden dolayı son derece önemli mühendislik malzemeleri olmuştur.

Metal matrisin cinsi, takviye elemanının şekli, boyutu, dağılımı, miktarı, dağılım şekli, kompozitin üretim yöntemi ve işlem parametreleri, mikroyapı içinde oluşan fazlar, matris ile

katkının kimyasal uyumluluğu, ek olarak termo mekanik ve tabii tutulduğu ısıll işlem gibi etkenler MMK malzemelerin özelliklerinde belirleyici olmaktadır.

Elastiklik modülü

MMK malzemelerde, takviye elemanın hacim oranı artarsa elastiklik modülü yükselir. Bunun nedeni takviye elemanın elastiklik modülünün matris malzemesinin elastiklik modülünden fazla olmasıdır. Bu durumun oluşmasındaki ana faktör takviye elemanın hacim oranı olmakla birlikte takviye şekli de elastiklik modülünün yükselmesinde rol oynar.

Mukavemet

Metal matrisli kompozit malzemelerde dayanım ve takviye elemanın hacim oranı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Takviye elemanın hacim oranı arttıkça mukavemet artar. Kompozit malzemenin dayanımı, takviye elemanın boyut ve hacmi arasındaki orana bağlı olarak matematiksel olarak ifade edilebilir. Maksimum çekme dayanımı, artan takviye oranıyla azalan bir hızla artmaktadır. Ancak bu ifadelerde mikroyapı modifikasyonları, dislokasyon yoğunluğu, ısıll işlem sertleşmesi gibi faktörler göz önüne alınmadığı için elde edilen sonuçların geçerliliği azalmaktadır (Akdoğan, 2008). Sürekli elyaf takviyeli kompozitlerin dayanımı, parçacık takviyeli kompozitlere göre daha yüksektir. Tek yönlü takviye elemanları ile takviye edilmiş kompozitler kuvvete maruz kaldığında elastik deformasyona uğrar (Şahin, 2000).

Kompozit malzemelerin dayanımını arttırabilme imkanı, malzemede oluşan gerilmenin matristen takviye elemanına transfer edebilme kabiliyetine bağlıdır. Yani bir kompozit malzeme gerilimi matrise değil, takviye elemanına aktarabiliyorsa amaca hizmet etmiş olur. Matristen takviye parçacığına gerilim transferi matris ve parçacık arasındaki arayüzey bağlantısına bağlıdır. Dolayısıyla arayüzey bağlantısı ne kadar kuvvetli ise kompozit malzemenin dayanımı o kadar iyi olacaktır. Arayüzey bağı zayıf olduğu zaman gerilim takviye parçacığına transfer olmadan hasar meydana gelir.

Kompozit malzemeye uygulanan ısıll işlemler ve takviye malzemesi eğilme mukavemetini etkileyen parametrelerdir. Isıll işlem sıcaklığı eğilme mukavemeti açısından önemlidir. Bu

sebeple iyi ayarlanmalıdır. Eğilme mukavemetini arttırıcı özelliği olan ısı işlem sıcaklığı iyi ayarlanmazsa, yüksek ısı işlem sıcaklığı kompozitin sünekliğini azaltır bu ise eğilme mukavemetini düşürür (Bedir ve Ögel, 2002). Benzer durum takviye fazının miktarının artması ile de gerçekleşir.

Metal matrisli bir kompozit malzemenin dayanımı aşağıda verilen özelliklere bağlıdır (Akdoğan, 2008):

- Partiküllerin oranına,
- Partiküllerin büyüklüğüne,
- Partiküllerin homojen dağılımına,
- Matris malzemesinin özelliklerine,
- Partiküllerin özelliklerine,
- Ara yüzey özelliklerine bağlı olarak değişir.

Yüksek sıcaklık dayanımı

Kompozit malzemelerle, daha yüksek sıcaklık direncine sahip parçaları yapmak mümkündür. Bu sebeple yüksek sıcaklık istenen yerlerde, metal matris kompozitler tercih edilir. Yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren yerlerde kullanılacak kompozitlerde takviye malzemesinin türü önemlidir. Seramik esaslı takviye malzemeleri yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Yaygın olarak kullanılan elyaf takviyelere bor, grafit ve SiC örnek olarak verilebilir.

% Uzama

Süneklikteki azalma MMK malzemelerde önemli bir dezavantajdır. Takviye elemanın oranı ile yüzde uzama değeri arasında sıkı bir ilişki vardır. Takviye elemanı oranı arttıkça yüzde uzama değeri dramatik bir şekilde azalır. Partikül dağılımı kompozitlerin uzaması üzerinde etkilidir. Dağılımın homojen olması kopma uzamasını arttırır. Bu nedenle partikül dağılımını homojenize ederek % uzamayı arttırmada avantaj sağlamak için ekstrüde edilmiş malzemeler tercih edilir (Lloyd, 1994). Çizelge 2.5'te 6092 (Al-Mg-Si)- SiC kompozit malzemede parçacık hacim oranına bağlı olarak gözlenen süneklik değişimi görülmektedir.

Çizelge 2.5. 6092 (Al-Mg-Si)-SiC kompozit malzemesinde, partikül hacim oranına bağlı olarak sünekliğin değişimi (ASM Composite Handbook, 2002)

Parçacık hacim oranı (%)	Süneklik (%)
0	11
15	5
20	4.5
25	3
30	1.5
35	1.0
40	0.8

MMK'lerde belli bir hacim oranına bağlı olarak maksimum uzamayı sağlamak taşıması gereken özellikler aşağıdaki şekilde belirtilebilir (Eker, 2008):

- Homojen parçacık dağılımı
- İnce ($<10 \mu\text{m}$), homojen parçacık boyutu
- Yüksek arayüzey dayanımı
- Sünek bir matris

Kırılma tokluğu

Kırılma tokluğu, mevcut bir hatanın yayılması için gereken stres miktarının bir göstergesidir. Bir maddenin / parçanın işlenmesi, imalatı veya çalışması sırasında hataların oluşması tamamen önlenemez olduğundan çok önemli bir malzeme olayıdır. Plastik deformasyon yeteneği yüksek olan malzemelerin kırılma tokluk değeri yüksektir. Bu durum yüzde uzama değerinin yüksek olduğunu gösterir. Takviye oranı arttıkça tokluk düşer.

Kompozitlerin kırılma tokluğu elyaf ve matris özelliklerine ve ayrıca imalat yöntemine bağlıdır. Metal matrisli kompozit malzemelerde tokluk takviye fazı tipi ve özellikleri, takviye elemanı miktar ve doğrultusu, matris alaşımı özellikleri, matris ve takviye elemanı ara yüzey bağı, üretim yöntemi gibi çok sayıda parametreye bağlıdır (Lloyd, 1994). Bu durum tokluğun optimizasyonunu zorlaştırır.

Yoğunluk

Yoğunluk, Metal Matris Kompozit malzemelerin en önemli özelliklerinden birisidir. Katkı malzemesi MMK'in yoğunluğuna etkisi çok azdır. Bunun sebebi katkı malzemesinin yoğunluğunun genelde matris alaşımının yoğunluğuna yakın olmasıdır. Katkı malzemesinin, matris malzemesinden daha rijit ve daha mukavemetli olması sebebiyle metal matrisli kompozitlerin spesifik modül ve spesifik mukavemet gibi özellikleri, metal malzemelere oranla çok daha iyidir (Cöcen ve Önel, 1996). Çizelge 2.6'da bazı malzemelerin spesifik modül değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.6. Bazı malzemelerin spesifik modül değerleri (Beffort, 2002)

Malzeme	Elastiklik modülü (Gpa)	Yoğunluk (g/cm ³)	Spesifik modül (Gpa/(g/cm ³))
Si	110	2.3	48
Al ₂ O ₃	380	3.9	97
SiC	480	3.2	150
Al alaşımları	70	2.7	26
Çelikler	210	7.8	27

Termal genleşme

Termal genleşme, sıcaklığın değişimine bağlı olarak maddenin hacminde değişim eğilimidir. Bir madde ısıtıldığında, partikülleri hareket etmeye başlar ve bu nedenle genellikle daha fazla ortalama ayırma sağlar. Düşük termal genleşme katsayısına sahip MMK'ların üretimi için seramik ve karbon takviye malzemeleri kullanılır. Metal matrisli kompozit malzemelerde termal genleşme katsayısı takviye hacim oranı ile ilişkilidir. Takviye hacim oranı arttıkça termal genleşme katsayısı düşer(ASM Composite Handbook,2002).

Yorulma

Değişken zorlanmalar altında makina elemanlarında meydana gelen hasara yorulma denir. Çevrimsel yüklenmeye maruz kalan malzemedeki ortaya çıkan aşamalı ve lokalize yapısal hasardır.Yorulma mekanik yapıların başarısızlıklarının en yaygın kaynağıdır. Yorulma,

yüksek gerilmelerin yığıldığı kristalleşmiş bölgelerde ilk olarak mikro çatlaklarla başlar. Çatlak başlangıcı genellikle yüzeydedir, çatlak başlangıcı zamanla kayarak orta kısımlara iletilir. Çatlağın ilerlemesi gerilmenin büyüklüğüne bağlıdır. Eğer gerilme çatlak ilerlemesini tetikleyecek kadar büyükse, çatlak gevşek bölgelerde ilerler daha sonra tüm keside yayılır. Çatlakların kritik boyutlara ulaşması ile kırılma gerçekleşir(ASM Composite Handbook,2002).

Sürünme

Sürünme, yüksek sıcaklık ve sabit yük altında zamana bağlı deformasyon olarak tanımlanabilir. Böyle bir durumdan kaynaklanan probleme sürünme hatası ya da bazen bir stres kopması denir. Sürünme zaman içinde gerçekleşir ve sıcaklık altında artar. Bu nedenle yüksek sıcaklık altında çalışacak kompozit malzemelerin sürünme özelliği önemlidir. Kısa elyaf ve parçacık takviyeli MMK malzemeler üzerinde sürünme hızı takviye hacim oranına bağlıdır. Takviye hacim oranı arttıkça sürünme hızı düşer.

Kompozitlerde takviye partikül oranı arttıkça, aynı gerilme değeri için sürünme oranı azalmaktadır. Yapılan araştırmalarda, partikül boyutu belli bir büyüklüğü geçtikten sonra (yaklaşık olarak 10 mm'nin üzerinde), partikül takviyesinin sürünmeyi azaltıcı etkisinin düştüğü gözlemlenmiştir (ASM Composite Handbook,2002).

Aşınma Direnci

Aşındırıcı ortamda bulunan malzemenin yüzeyinde meydana gelen malzeme kaybına aşınma denir. Aşınma miktarı malzeme tipine, çalışma esnasında birbirine temas eden yüzeylerin biçimine, sürtünme şartlarına ve çevresel kaynaklı kimyasal etkilere bağlıdır. MMK malzemelerin aşınma performansları ise matris ve takviye elemanının özelliklerine bağlı olarak değişir (Buytoz ve Eren, 2007). Parçacık takviyeli MMK'lerin en önemli özelliklerinden birisi de yüksek aşınma dirençleridir. Metal matrisin aşınma direnci SiC, Al₂O₃, TiC, B₄C gibi sert parçacıklarla artar. Grafit partiküller ise yağlayıcı özellik sağlarlar (Cöcen ve Önel, 1996). MMK'lerde takviye malzemesi miktarı ile aşınma miktarı arasında ters orantı vardır. Takviye malzeme miktarı arttıkça aşınma düşer. Ayrıca yaşlandırılmış numunelerde de aşınma miktarının azaldığı görülmektedir (Bedir ve Ögel, 2004).

3. ALÜMİNYUM ESASLI METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER

Aluminyum ve alaşımları düşük yoğunluk, kolay şekillendirme, korozyon direnci, takviye malzemesi ile iyi uyum gibi özelliklerinden dolayı matris malzemesi olarak tercih edilmektedir. Aluminyum ve alaşımlarının bu özelliklerinin yanında ısıl genleşme katsayısı, dayanım, tokluk, aşınmaya karşı yüksek direnç ve yüksek elastik modülü dolayısıyla yoğun kullanım alanına sahiptirler. Bilimsel araştırma ve teknolojik uygulamalarda, ısıl işlemler, mekanik ve korozyon davranışlar açısından esneklik sağlama açısından tercih edilmektedirler. Hafiflik, çevresel direnç, modül, mukavemet, tokluk ve darbe direnci gibi faydalı mekanik özelliklerin kombinasyonu alüminyum alaşımlarını matris malzemeleri olarak kullanmaya çok uygun hale getirmiştir (Ahamed, Asokan ve Arayindan, 2009; Khairaldien, Kahalil ve Bayoumi, 2007).

Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg-Cu ve Al-Li alaşımları, çökelme sertleşmesi gösterebilmeleri ile öne çıkan önemli alaşımlardır (Chawla, 1998). Diğer kompozit malzemelerde olduğu gibi, malzeme davranışı, takviye elemanın özelliklerinin yanında matris karakteristiklerinden de etkilenir. MMK malzemelerde matris malzemesi olarak en çok kullanılan Al alaşımları 2014, 2124, 6061, 7075 ve 8090'dır (Kaczmar, Pietrzak ve Wlosinski, 2000). Takviye malzemesi olarak ise SiC, Al₂O₃, B₄C ve TiC ve grafit yoğun olarak kullanılır (Şahin, 2014). Al₂O₃, TiC, B₄C ve SiC gibi çeşitli seramik malzemelerle takviye edilmiş metal matris kompozitlerinin geliştirilmesinde anahtar rol oynamıştır (Vankatesh ve Harish, 2015).

Üretilen kompozit malzemenin özellikleri; matris alaşımının türü, takviye malzemesi türü ve oranı, üretim yöntemi gibi faktörlere bağlıdır. Aluminyumun termal genleşme katsayısının düşüklüğü nedeniyle günümüzde birçok otomobilin piston ve silindirleri Al esaslı kompozit malzemedan yapılmaktadır. Ayrıca hafiflik, ucuz olması ve şekillendirme kolaylığı sebebiyle otomotiv, uzay, havacılık, denizcilik ve savunma sanayiinde yoğun olarak tercih edilen bir kompozit malzeme türüdür.

3.1. Alüminyum Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Kullanılan Matris Alaşımları

Saf alüminyumun döküm kabiliyeti kötüdür ve düşük mekanik özelliklere sahiptir. Bu durumun nedeni saf alüminyumun oksijene yüksek ilgisidir. Alaşımlama yolu ile saf alüminyumun bu özellikleri iyileştirilebilmektedir. Alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzemelerde, matris malzemesi olarak alüminyum alaşımları kullanılır. Bunlardan en yoğun kullanılan matris alaşımları Al-Si, Al-Mg ve Al-Cu alaşımlarıdır. Al-Si alaşımları ile yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme, Al-Mg ve Al-Cu alaşımları ile düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik değerlerine ulaşılması mümkündür.

Alüminyum alaşımlarının gelişmiş uygulamalarda kullanımı yaygındır. Bunun sebebi düşük yoğunluk ve çökme sertleşmesi ile dayanımlarını arttırabilme yeteneğidir. Ayrıca, yüksek elektrik ve ısı iletkenlikleri, işlenebilme kolaylıkları ve kolay tedarik edilebilir bir malzeme olması onu rakip malzemeler karşısında avantajlı hale getirmektedir (Toptan, 2006).

Alüminyum alaşımlarının mukavemetini arttırmak için çözeltili alma, su verme ve yaşlanma adımlarından oluşan ısıl işlemler uygulanır (Yurdakul, Özbay ve İc, 2002). Böylece, yarı kararlı 9 aşırı doymuş katı çözeltili ürünleri ve dislokasyonlar arasındaki etkileşimler ile mukavemet artışı gerçekleşmektedir (Rooy, 1990; Bonollo, Urban, Bonatto ve Botter, 2005; Mindivan, 2007).

Matris malzemesi olarak en çok kullanılan Al alaşımları 2014, 2124, 6061, 7075 ve 8090'dır (Kaczmar, Pietrzak ve Wlosinski, 2000). Döküm alaşımları da matris malzemesi olarak kullanılabilir. Bu amaçla kullanılan döküm alaşımı olarak Al-Si-Mg alaşımı gösterilebilir.

A356 ve A357 alaşımları yüksek saflık özelliklerinden ötürü yüksek sünekliğe sahiptir. Bu özelliklerinden ötürü ekstrüzyon işleminde yüksek performans gösterirler. Bunların yanında pürüzsüz yüzeyli mükemmel sonuçlar vermesinden ötürü bu malzemeler matris malzemesi olarak kullanılırlar.

SiC takviyeli MMK'ler sıvı faz yöntemleriyle üretim proseslerine uygun matris malzemeleridir (Midling ve Grong, 1995). Seramik parçacık takviyeli Al alaşımı matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri; matris özelliklerine, ıslatma kabiliyetine, takviye

miktarına ve parçacık takviyenin çapına bağlı olarak değişmektedir (Kaczmar, Pietrzak ve Wlosinski, 2000). Çizelge 3.1’de bazı alüminyum alaşımlarının çekme özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Bazı alüminyum alaşımlarının çekme özellikleri (Pandey, 1992; Toptan, 2006)

Malzeme	Temper	% 0,2 Akma mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	% Uzama
1100	0	35	90	35
5083	0	115	260	22
2014	T6	410	480	13
2024	T8	450	480	6
6061	T6	275	310	12
6063	T6	215	240	12
7075	T73	430	500	13
201	T6	345	415	5
213	T533	185	220	0,5
355	T6	235	280	1
356	T6	265	310	1
357	T6	221	283	3
360	T6	365	310	1

3.2. Takviye Elemanları

MMK malzemelerin üretiminde kullanılan takviye malzemelerinin seçiminde temin edilebilmelerindeki kolaylık, birlikte kullanılacakları matris malzemeleri ile uyumluluk, elastiklik modülü, çekme dayanımı, yoğunluk, ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık ve genleşme katsayısı, boyut ve şekil, kimyasal bileşim, kristal yapı gibi özellikler göz önünde tutulur (Akbulut, 1994; Kerti, 1998).

Seramik takviye elemanları alüminyum alaşımlarının tribolojik özelliklerinde (sürtünme ve aşınma aşınması vb.) belirgin bir iyileşmeye yol açar. Takviye malzemeleri çoğunlukla rijitlik, dayanım ve yoğunluk değerleri açısından üstün özelliklere sahip olan seramik

malzemelerden seçilmektedir. AMK'lar, partikül, visker veya elyaf formunda, silikon karbür (sic), bor karbür (B₄C), alüminyum oksit (Al₂O₃), titanyum karbür (TiC), magnezyum oksit (Mgo), titanyum oksit (Tio₂) gibi malzemeleri takviye elemanı olarak kullanırlar. Çizelge 3.2'de AMK malzemelerde en çok kullanılan takviye elemanlarının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Başlıca takviye malzemelerinin özellikleri (Kainer, 2006; Taha, 2001)

Malzeme	Takviye şekli	Elastiklik Modülü (Gpa)	Isıl İletkenlik	Yoğunluk (g/cm ³)	Isıl Genleşme Katsayısı ($\times 10^{-6}/K$)
SiC	Partikül	448	3,21	120	3,4
SiC	Kısa Elyaf	400-700	3,21	32	3,4
SiC	Elyaf	450	3,46		
Al ₂ O ₃	Parçacık	410	3,9	25	8,3
Al ₂ O ₃	Kısa Elyaf (Saffil)	300	3,29		
AlN	Parçacık	350	3,25	10	6
B ₄ C	Parçacık	450	2,52	29	5,0-6,0
TiC	Parçacık	320	4,93	29	7,4

3.3. Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin İmalatı

Alüminyum kolayca şekillendirilebilen bir malzemedir. Sıcak ve soğuk şekilde kolayca ekstrude edilerek kompleks profillerin üretiminde kullanılabilir. Ayrıca paketleme malzemesi olarak kullanabilmek için birkaç mikron inceliğe sahip folyoların üretiminde kullanılan çok amaçlı bir malzemedir. AMK'lar farklı yöntemlerle imal edilebilirler. Temelde katı ve sıvı durum yöntemleri ile imal edilen AMK'lar bazı araştırmacılar tarafından in-situ (Akbulut, 1994; Froyen ve Verlinden, 1994), püskürtme (Froyen ve Verlinden, 1994; Cayron, 2000) ve buhar durumu yöntemleri (Mortensen vd., 2000) olarak isimlendirilen yöntemlerle de imal edilmektedirler (Toptan, 2006).

Mevcut üretim yöntemlerinden, sıvı durum prosesleri başlığı altında toplananlar, bazı ayrıntılar dışında, dökümhanelerde yaygın olarak kullanılan yöntemlerle gerçekleştirildiğinden, maliyet yönünden avantaj sunmaktadırlar (Kerti, 1998). Ancak,

kompozitin bu yöntemle üretimi, yeniden işlenmesi ve geri kazanımı sırasında takviye malzemesi ile matris malzemesinin yüksek sıcaklıklarda uzun süre teması söz konusudur. Bu durum, takviye malzemesi ile matris malzemesi arasında istenmeyen fazların açığa çıkmasına neden olmaktadır (Yılmaz vd., 1995). Uygulama çoğu kez seramik partiküllerin sıvı alüminyuma ve alaşımına mekanik yöntemlerle karıştırılması şeklindedir. Ancak, takviye malzemesi olarak seçilen seramik bileşikler, alüminyum tarafından ıslatılmadığından, başarılı bir karıştırma her zaman mümkün değildir. Bunun için, ya sıvı alaşıma ya da seramik partiküllere ıslanma/ıslatmayı geliştirecek şekilde müdahale edilmesi gerekmektedir. Ancak, bu tür ilave işlemler, üretim maliyetlerine de yansımaktadır (Kerti, 1998).

Toz metalürjisi yöntemi AMK'ların üretiminde kullanılan en yaygın yöntemdir. Üretim tozların preslenmesi ve iyi bir bağlanma sağlanması için sinterleme işlem adımlarından oluşur. Düşük sıcaklıklarda işlem yapılabildiğinden, takviye ve matris malzemesi arasındaki etkileşim azdır ve bu, iyi mekanik özelliklerin oluşmasına olanak tanır (Toptan, 2006). Matris malzemesi olarak herhangi bir alaşımın rahatlıkla kullanılabilmesi, yüksek hacim oranında takviye kullanımının mümkün olması toz metalürjisi yönteminin avantajları olarak öne çıkarken; yöntemin maliyetinin yüksek olması en önemli dezavantajdır (Froyen ve Verlinden, 1994; Kerti, 1998; Toptan, 2006).

3.4. Al Matrisli Kompozitlerde Aşınma Direnci

Yapılan araştırmalar da göstermektedir ki parçacık takviyeli Al matrisli kompozitlerde aşınma direnci takviye elemanı miktarı ile doğru oranlı olarak artmaktadır. Takviye elemanı miktarının yanında matris malzemesinin sertliği aşınma direncini etkileyen bir diğer önemli parametredir. Alüminyum ve alaşımları klasik malzemelere (çelik ve dökme demir) göre daha düşük yoğunluğa sahip olduğu için yoğun aşınmanın sözkonusu olduğu yerlerde kullanılamazlar.

Takviye elemanları alüminyumun aşınma direncini arttırmaktadır. Böylece MMK malzemeler aşınma direncinin önemli olduğu uygulama alanlarında kullanılabilirler. Yapılan araştırmalar, parçacık takviyelerinin MMK malzemelerin abrasif aşınma özelliğini geliştirdiğini göstermektedir. Ancak sadece parçacık takviyesi değil başka parametreler de aşınma direncine etki etmektedir.

Bu parametreler aşağıdaki şekilde sayılabilir:

- Test geometrisi,
- Uygulanan yük,
- Test süresi,
- Matris ve takviye malzemesi
- Sıcaklık
- Nem

3.5. Mekanik Özellikler

Alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzemelerde vaat edilen mekanik özelliklere ulaşmak için ilk şart ara yüzeyde kuvvetli bir bağlanmanın sağlanmasıdır. Bunun dışında takviye elemanının homojen dağılımını sağlayarak ve çökme sertleşmesi gibi prosesler uygulayarak, takviyesiz matris alaşımına göre %60'a varan çekme mukavemeti artışları gözlemlenmek mümkündür (Mindivan, 2007; Cambroner, Sanchez, Roman ve Priteo, 2003). Kompozit hasarı, gerilme durumuna bağlı olarak partikül kırılması veya matris/partikül arayüzeyi ve partiküllerin topaklandığı bölgede matriste boşluk oluşumu ile gerçekleşmektedir. Kaba partiküllü kompozit, ince partiküllü kompozitten daha yüksek çatlak başlama olasılığına sahip olduğu için partikül kırılması kaba partikül takviyeli kompozitte daha yaygın olarak görülmektedir (Mindivan, 2007; Kennedy ve Wyatt, 2001; Kennedy ve Wyatt, 2000; Evans, Phaneuf ve Boyd, 1999) .

Mekanik özelliklerin gelişmesinde takviye hacim oranı ve boyutunun yanında, takviye geometrisi ve takviye partiküllerinin üç boyutlu dağılımı da önem taşımaktadır. Takviye elemanının geometrisinin değişmesiyle, yük altında matriste oluşan deformasyon alanları ve matriste arayüzeye yakın bölgelerdeki kırılma davranışı farklılık göstermektedir. Yapılan çalışmalarda, çekme kuvveti etkisi altında küresel partikül takviyeli kompozitte hasar, arayüzeye yakın bölgede boşluk oluşumu ile başlarken, iğneli partikül takviyeli kompozitte hasarın takviye kırılması ile gerçekleştiği rapor edilmiştir. Araştırmacılar, malzemenin sünekliğini iyileştirmek için keskin köşeler içeren takviye partiküller yerine küresel formdaki takviye partikülleri kullanılması gerekliliğinin altını çizmişlerdir. (Mindivan, 2007; Kennedy ve Wyatt, 2000)

Alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzemelerde takviye fazlarının yüksek elastiklik modülüne sahip olmaları akma mukavemetinin takviyesiz alaşımlara göre yükselmesinin temel nedenidir. Benzer şekilde, malzemenin çekme mukavemeti de partikül ilavesiyle birlikte artmaktadır. Çizelge 3.3'te bazı Al matris kompozitlerin mekanik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.3. Bazı alüminyum matris kompozitlerin mekanik özellikleri (Vasiliev ve Evgeny, 2001; Topçu, 2016; Chung, 2003; Hoa ve Tsai, 2003)

Matris	Takviye ve İçerik (Hacim %)	Akma direnci (MPa)	Gerilme direnci (MPa)	Uzama (%)
Al	SiC, 20	117	200	10
2014 – T6	SiC, 10	457	508	1,8
2014 – T6	Al ₂ O ₃ , 20	495	515	1,2
6061-T6	SiC, 15	290	340	5,5
6061-T6	SiC, 20	345	410	4,9
6061-T6	SiC, 30	380	435	1,8
6061-T6	Al ₂ O ₃ , 20	307	349	5,3
7091-T6	SiC, 20	500	560	1,8

3.6. Bor Karbür(B₄C)

Bor karbür, özgül ağırlığı 3210 kgm⁻³ olan SiC, 3510 kgm⁻³ olan elmas ve 3920 kg/m⁻³ olan Al₂O₃ gibi takviye malzemelerine kıyasla daha düşük özgül ağırlığa sahiptir. Elmas ve kübik bor nitrürden sonraki en sert malzemedir. Takviye parçacıkları açısından B₄C, Son derece yüksek sertlik, düşük yoğunluklu (2.51 g / cm³) ve yüksek aşınma direnci sağlar (Baradeswaran ve Perumal, 2013; Kumar, Kumar, Satheesh ve Madhusudhan, 2016). Sertliği ve yoğunluğunun yanı sıra yüksek darbe ve aşınma dayanımı, yüksek ergime noktası ve kimyasal dayanımı sayesinde B₄C alüminyum matrisli kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak tercih edilir. B₄C'nin bazı özellikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir. Al/B₄C kompozitlerinin sıvı faz üretim yöntemleri ile üretilmesi için alüminyumun B₄C yüzeyini tamamen ıslattığı 1100°C'in üzerine çıkılması gerekmektedir. Ancak bunun gibi yüksek bir

sıcaklıkta alüminyum ve B₄C arasında kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir ve zararlı yüksek sıcaklık fazları oluşmaktadır (Ye, He ve Schoenung, 2006).

Bor karbürünün bazı önemli fiziksel ve mekanik özellikleri olmasına rağmen, kırılma kırılmaya karşı aşırı duyarlılığı ($K_{Ic} = 3.7 \text{ MPa m}^{1/2}$) ve yoğun B₄C malzemelerin imalinde karşılaşılan zorluklar, endüstriyel uygulamalarda kullanımını sınırlamıştır. Bu problemler, esasen B₄C-metal kompozitleri olan B₄C esaslı kompozitlerin üretimi ile önemli ölçüde azaltılabilir.

Çizelge 3.4. Bor karbürün fiziksel özellikleri (ASM Handbook, 2001; Yüksel, 2014)

Kafes sistemi	Rombohedral
Ergime sıcaklığı (°C)	2450
Elastisite Modülü (E) (GPa)	450
Özgül Ağırlık (ρ) (kg m ⁻³)	2520
Isıl İletkenlik Katsayısı (W m ⁻¹ K ⁻¹)	29
Mohs sertliği	9,5
Knoop sertliği	2800
Isıl Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	5
Poisson Oranı	0,21

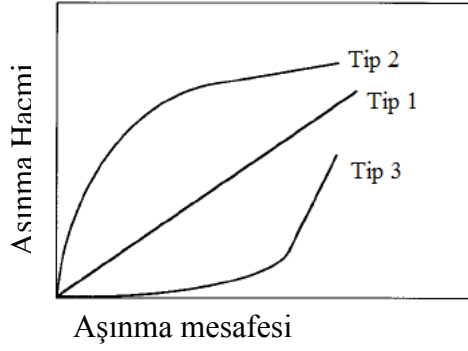
4. AŞINMA VE AŞINMA MEKANİZMALARI

Aşınma, bir yüzeyin kendisi ile temas halinde olan başka bir yüzey üzerindeki hareketinin sonucunda yüzeylerinden malzemenin uzaklaşması olarak tanımlanmaktadır. Aşınma, yorulma ve korozyon ile birlikte, bir mühendislik bileşenin ve bir mühendislik sisteminin ömrünü ve performansını sınırlayan üç büyük faktörden biri olarak bilinir. Genel bir tanım verilecek olunursa aşınma, temas yüzeylerinde dış etkilerin tesiriyle oluşan fiziksel ve kimyasal değişmelerin sonucudur (Yılmaz, 2013).

Aşınma hasarları çift yönlüdür (Li, 2017):

- Birincisi, temas eden yüzeyden malzeme kaybı, bileşenin boyutunu azaltır. Bu genellikle hareketli parçalar arasındaki boşluğun artmasına ve dolayısıyla yüksek titreşim, yüksek gürültüye, verimin düşmesine ve sistemin arızalanmasına neden olur. Dinamik yükleme söz konusuysa, azaltılmış bileşen boyutu, yorulma kırılmasına yol açabilir.
- İkincisi, aşınmış yüzeyden ayrılmış malzeme, aynı şekilde zararlıdır. Örneğin yiyecek veya içecek işleme makinesinde aşınma ile ilgili sorunlar olması kontaminasyona neden olabilir. Temas yüzeyinde sıkıştığında zımpara gibi davranabilir, bu da daha fazla aşınma oranına neden olur. Aynı zamanda, bir valf, kritik bir boru hattı, bir yağ filtresi veya bir elektriksel temas noktasında biriken bir bloğu engelleyebilir, böylece bir sistemin normal çalışmasını engeller. Aşınma maliyeti çok büyüktür ve bu nedenle yıpranmayı azaltmak veya ortadan kaldırmak için sanayinin erken çağlarından beri büyük çabalar sarf edilmiştir.

Aşınma hacmi eğrilerinin üç türü Şekil 4.1'de şematik olarak verilmiştir. Tip 1 aşınma süreci boyunca sürekli aşınma oranını göstermektedir. Tip 2'de ise aşınma yüksek bir hızla başlamakta fakat zamanla daha düşük bir aşınma hızına geçen düzenli aşınma durumunu göstermektedir. Bu tür aşınma metallerde oldukça sık görülür (Chiou, Kato ve Kayaba, 1985).

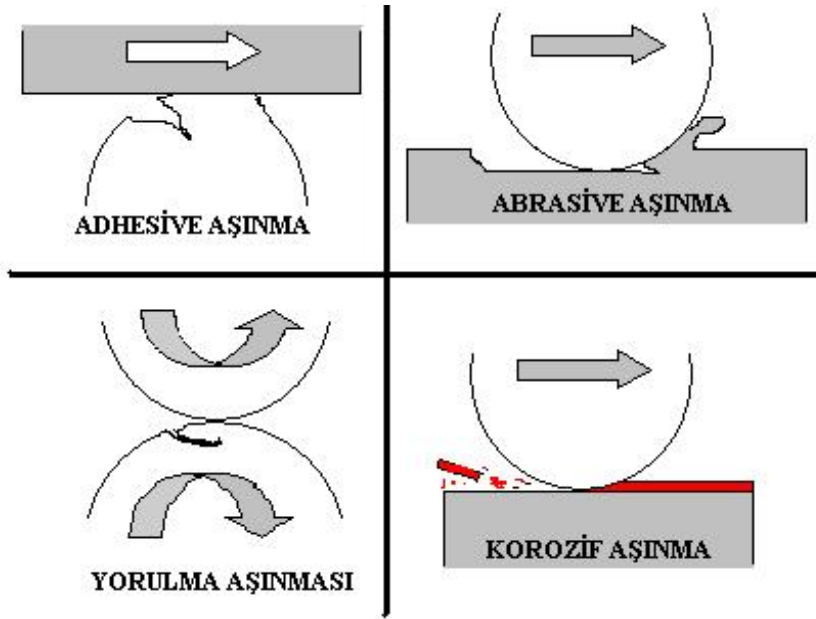


Şekil 4.1. Aşınma eğrilerinin üç tipi (Kato, Koshi ve Atachi, 2001)

Aşınma, yüzeyler arasındaki etkileşim sürecidir. Sürtünmeli yüzeyler arasındaki mekanik etkinin etkisiyle yüzeylerde meydana gelen deformasyon ve malzeme kaldırılmasıdır. Aşınma, aynı zamanda plastik deformasyondan kaynaklanan fiziksel kayıplara da işaret eder. Plastik deformasyon aşınmaya neden olur; "Metalik aşınma" olarak bilinen metal yüzeylerin bozulmasına neden olur. Ayrıca kimyasal bozulma veya temas arayüzünde erime sebebiyle oluşan mikro çatlakların fiziksel olarak ayrılması ve malzeme kaldırılması da aşınma kapsamına girer (Yıldız ve Gür, 2006). Dış etkilerin, fiziksel ve kimyasal değişikliklerinin çokluğu nedeniyle pratikte, bir aşınma hali değil birçok aşınma halleri vardır.

Bunların başlıcaları aşağıdaki şekilde belirtilebilir;

1. Abrasiv aşınma,
2. Adhesiv aşınma,
3. Yorulma aşınması(statik veya dinamik),
4. Difüzyon aşınması (atomik yer değiştirme),
5. Erosiv aşınma
6. Titreşimli (Freeting) aşınma
7. Oksidasyon aşınması.



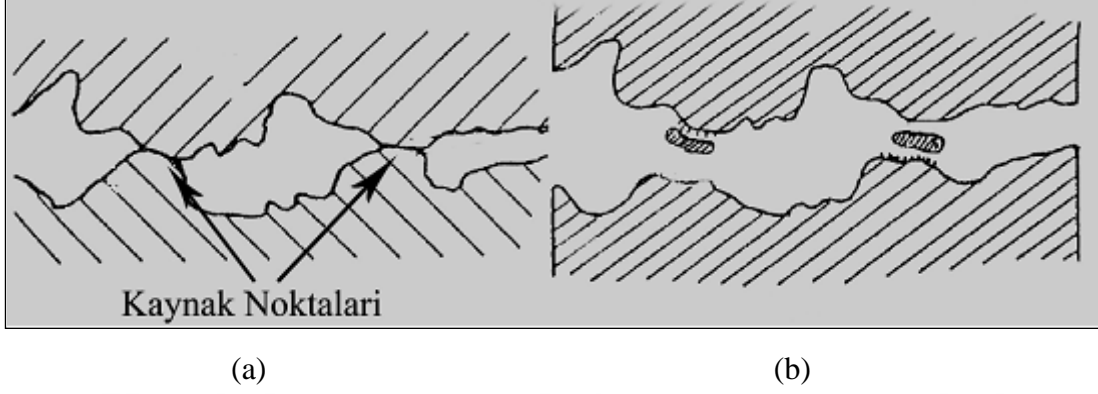
Şekil 4.2. Aşınma tipleri (Kato, Koshi ve Atachi, 2001)

4.1. Adhesiv Aşınma

Mühendislik yüzeyi asla mükemmel düz olmaz. Çok parlak bir mühendislik bileşeninin yüzeyi, düzensizlikleri veya kabalıkları gösterir. Böyle iki yüzey temasa geçtiğinde gerçek temas alanı gerçekte çok küçük olduğu için temas noktaları büyük bir basınç altında bulunur. Bu yüksek basınç sebebiyle temas noktalarında malzemeler akma sınırına ulaşır ve bölgesel mikro kaynaklanmalar oluşur (Şekil 4.3-a). İki cisim arasında devam eden bağıl hareket sonucu kaynak bağının kopmasıyla iki cisim birbirinden uzaklaşır ve malzeme eksilmesi oluşur (Şekil 4.3-b). Bu malzeme kaybı adhesiv aşınmayı oluşturur. Çatlak temas ara yüzüne ulaştığında bir aşınma parçacığı oluşur ve yapışkan transfer tamamlanır. Temas arayüzünde yeterli yapışkan bağlama olduğunda ortaya çıkan bu tür aşınmaya adhesiv aşınma denir.

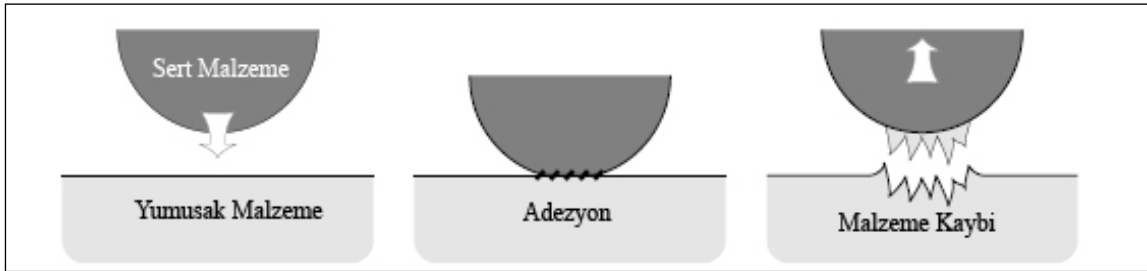
Birleşim kuvveti yüzey yapısı ve iki kontakt metalin karşılıklı çözünürlüğüne göre belirlenir. Yapışma eğilimi, karşılıklı çözünürlük neredeyse sıfır olan bir çift metal için en düşük değerdir, ancak bu çok az metal ile sınırlıdır. Dolayısıyla çoğu metalik malzeme, yapışkan olma eğilimi gösterir. Adhesiv aşınma aşınma çeşitleri arasında en yaygın olanıdır. Bu aşınma türü benzer veya kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında ortaya çıkar. Yüzeylerin izafi hızına ve normal kuvvete bağlı olan adhesiv aşınma, yüksek hız ve yüklerde görünür (Yılmaz,

2013). Çoğunlukla kayan mekanizmalar adhesiv aşınma sonucu çok hızlı bir şekilde hasara uğramaktadır (Akkurt, 2000).



Şekil 4.3. Adhesiv aşınma prensibi (Akkurt, 2000)

Özellikle metalik malzemelerde büyük adhesiv aşınmalar meydana gelir. Çeşitli metallere yapılan aşınma testlerinde metallerde adhesiv aşınmanın yumuşak malzemeden sert malzemeye kaynak noktasından geçtiği belirtilmektedir. Bunun sonucunda Şekil 4.4'te görüldüğü gibi yumuşak malzemeden kopan parçaların bir kısmı sert malzemeye transfer olabilir, bir kısmı ise sürtünme yüzeyinde kalabilir ve böylece yüzeyleri aşındırmaya devam edebilir (Stachowiak and Batchelor, 2006).

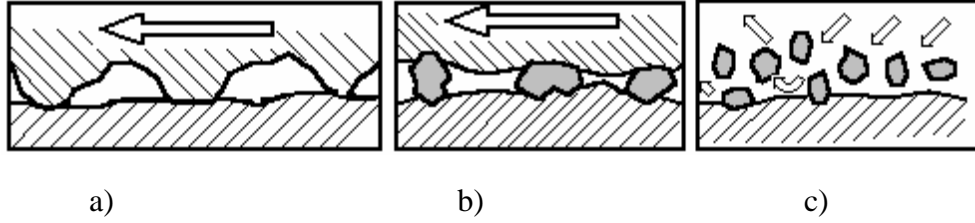


Şekil 4.4. Adhesiv aşınmada metal transferi (Matik, 2010)

4.2. Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma, sert bir malzemeyle daha yumuşak bir malzemenin birbirine sürtünmesi ile oluşur. Temas tipi abrasive aşınma modunu tanımlar. Temas şekli aşındırıcı aşınma

türünütanımlar. Bunlar iki elemanlı, üç elemanlı ve erozyon aşınması olarak üç grupta tanımlanabilir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Abrasiv aşınma mekanizmaları; (a) iki elemanlı abrazyon, (b) üç elemanlı abrazyon, (c) Erozyon (Halling, 1975)

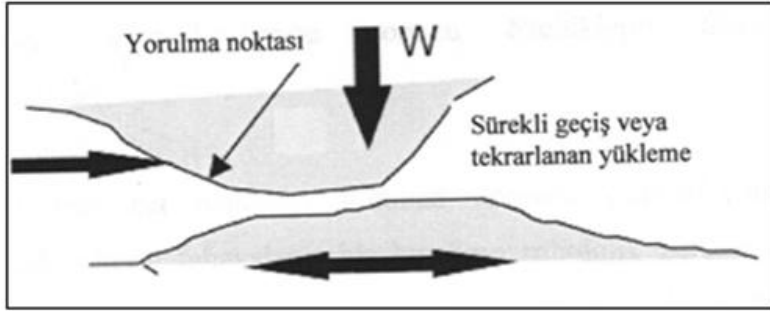
İki elemanlı abrasiv aşınma: Sert partiküller veya kumlar karşı yüzeydeki malzemeyi yok ettiğinde ortaya çıkar. Pürüzlü bir yüzey veya sabit aşındırıcı taneciklerin hareketi ile yüzeyden malzemenin kaldırılması ile gerçekleşir. İki elemanlı abrasiv aşınma, bir zeminde zımpara kağıdı hareketi ile örneklendirilir. Bu aşınma türü bir maddenin sökülme, kaldırma veya kesme işlemi yoluyla yerinden çıkarılmasına da benzetilebilir.

Üç elemanlı abrasiv aşınma: Parçacıklar sınırlandırılmadığı ve bir yüzeyden aşağıya doğru kayabileceği veya yuvarlanabileceği zaman ortaya çıkar. Yani malzeme iki malzeme arasında kayma ve yuvarlanma yolu ile tanecik yüzeyinden malzeme kaldırır. Temas ortamı aşınma sınıflandırmasının kapalı veya açık bir tip olup olmadığını tanımlar. Yüzeyler birbirinden ayrılmak için yeterince yer değiştirdiklerinde açık bir aşınma ortamı oluşur. Üç elemanlı abrasiv aşınmanın, iki elemanlı abrasiv aşınmaya göre on kat daha yavaş olduğu görülmüştür (Eiss, Wood, Herold and Smyth, 1979).

Abrasiv aşınmayı önlemek için yüzey sertleştirilmesi en temel tedbirdir. Bunun yanında dışardan sert malzemelerin yüzeyler arasında girerek aşınmaya yol açmaması için sızdırmazlık önemlidir. Abasiv aşınmayı önleyici tedbirler arasında mekanizmayı çalışma anında oluşacak talaş ve pisliklerden uzak tutmayı sayabiliriz.

4.3. Yorulma Aşınması (Pitting)

Bir malzemenin yorulma aşınması, sürtünme esnasında bir çevrimsel yüklemekten kaynaklanır. Yorulma, uygulanan yük malzemenin yorulma mukavemetinden daha yüksek olduğunda oluşur. Yorulma çatlakları, malzeme yüzeyinden başlayıp yüzey altı bölgelerine yayılır. Çatlaklar, birbirine bağlanabilir, bu da malzeme parçalarının ayrılması ve delaminasyonu ile sonuçlanır. Çatlaklar yüzeye paralel doğrultuda oluşur ve sonuçta uzun ince asınmış tabakalar meydana gelir (Şahin, 1994; Halling, 1975). Yorulma aşınma tiplerinden biri, iki yüzeyin birbiri boyunca küçük bir genlikle (salınım) sürüşü nedeniyle ortaya çıkan sürtünme aşınmasıdır. Sürtünme kuvveti, yüzey yorulmasına neden olan sıkıştırma-gerilme streslerini değiştirir. Şekil 4.6'da yorulma aşınmasının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.6. Yorulma aşınması (Roberts, 2002; Aktaş, 2007)

Yorulma aşınmasında yüzeyler arasındaki yağın etkisi önemlidir. Yüksek basınç altındaki yağın çatlaklara girmesi, çatlakların büyümesine bu da kırılmalara sebep olabilir. Yorulma aşınmasının önlenmesi için yüzey sertleştirme önemlidir.

4.4. Oksidasyon Aşınması

Aşınma sürtünme yüzeylerinin korozyonuyla (oksidasyon) hızlanabilir. Sürtünme etkisi ile yüzeylerde yüksek sıcaklıklar oluşur, bu da çatlak oluşumlarına neden olan kimyasal reaksiyonları tetikler. Oksidasyonu arttıran diğer bir neden ise oksid filmlerinin yüzeyden uzaklaştırılmasıdır. Yüzeyden çıkarılan ve kayan / dönen yüzeyler arasında sıkışan sert oksit parçacıkları ayrıca üç elemanlı abrasiv aşınma mekanizması ile aşınma oranını arttırmaktadır. Hava çalışan iki yüzey kenarlarından ve abrasiv aşınmanın neden olduğu kanallardan içeri

girme imkânı bulur. Bu tür aşınma yüksek sıcaklık ve dış havayla temas gerektirdiğinden daha çok kuru kayma aşınmasında meydana gelir. Bu aşınma şekillerinin temel nedeni aşınmış malzeme ile aşındırıcı ortam arasındaki kimyasal reaksiyondur. Oksidasyon aşınması korozyon, aşınma ve tribokorron olarak da adlandırılan korozyon aşınmasının sinerjik bir karışımıdır. Oksidasyon aşınmasını önlemek için oksidasyonu önleyen özel yağlayıcı maddeler (molibden disülfid) kullanılır (Akkurt, 2000).

4.5. Erosiv Aşınma

Erozyon aşınması son derece kısa kayma hareketi olarak tanımlanabilir ve kısa bir zaman aralığı içerisinde gerçekleşir. Eroziv aşınma, katı veya sıvı parçacıkların bir nesnenin yüzeyine çarpması sonucu oluşur (Stachowiak ve Batchelor, 2005). Parçacıklar, tekrarlanan deformasyonlar ve kesme eylemleri yoluyla malzemeyi yüzeyden kademeli olarak çıkarır. Endüstride yaygın olarak karşılaşılan bir problemdir. Erosiv aşınmaya maruz kalma oranı bir takım faktörlere bağlıdır. Parçacıkların şekli, sertliği, çarpma hızı ve çarpma açısı gibi malzeme özellikleri erozyona uğrayan yüzeyin özellikleriyle birlikte birincil faktörlerdir. Çarpma açısı ise en önemli faktörlerden biridir. Sünek malzemeler için maksimum çarpma hızı çarpma açısı yaklaşık 30° olduğunda bulunurken, sünek olmayan malzemeler için çarpma açısı yüzeye normal olduğunda maksimum aşınma hızı oluşur (Sınmazçelik ve Taşkiran, 2007).

Erosiv aşınmanın farklı şekilleri vardır. Bunlar aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

- Katı parçacık çarpması
- Sıvı damlacıkların çarpması
- Sıcak gazların akışı,
- Sıvı ortamın kavitasyonu



5. TOZ METALURJİSİ

Toz metalürjisi (TM), malzemelerin veya bileşenlerin metal tozlarından animaline dayanan geniş bir yelpazeyi kapsayan bir yöntemdir. Toz Metalurjisi, alaşımlı malzemeleri ve çok çeşitli şekilleri benimseyen, sürekli ve hızla gelişen bir teknolojidir. Elemental veya alaşımlı tozların karıştırılması ve karışımın kalıpta sıkıştırılması ile oluşturulan şekiller, daha sonra metalurjik olarak parçacıkları bağlamak için kontrollü bir atmosfer fırınında ısıtılır veya "sinterlenir". TM'nin yüksek hassasiyetli şekillendirme kabiliyeti, net şekle yakın bileşenleri üretir, karmaşık özellikler ve iyi boyutsal hassas parçalar genellikle işleme gerektirmeden tamamlanır.

Toz Metalurjisi, net şekiller üretmek ve işleme ilgili az miktarda malzeme atığı üretmek için MMK'ler için ideal bir imalat yöntemidir. İmalattan sonra parça ile ilgili artan mukavemet nedeniyle, parçanın işlenebilirliği zor olabilir. Sinterleme işleminden sonra gözlemlenen mukavemet artışı, maddenin işlenebilirliğini azaltır. Her bir MMK imalat prosesi doğada değişiklik göstererek nihai bileşenlerle ilişkili farklı maliyet ve özelliklere neden olur. Üretim yöntemi, MMK'lerin mekanik özelliklerinde rol oynamasına rağmen, matris ve takviye eyafları için seçilen malzemeler aynı derecede önemli bir rol oynamaktadır. MMK'lerde matris malzemeleri olarak alüminyum, titanyum, magnezyum ve bakır dahil çok sayıda metal kullanılmıştır (Allison, Davis ve Jones, 1995).

Toz metalurjisinde temel işlem basamakları, toza şekil verme (sıkıştırma yolu ile) ve sinterleme yolu ile tozların ısıl birleştirilmesidir. TM parçalarının üretiminde beş aşamalı bir süreç sözkonusudur (Gülüzade, 2011; İnternet, 2017):

1. Toz üretimi: Tozlar saf elementlerden veya önceden alaşımlanmış tozlardan üretilebilir.
2. Sıkıştırma/presleme: İşlenmiş kalıplar yardımıyla
3. Sinterleme: Kontrollü atmosferik ortamda gerçekleştirilir. Malzemenin erime noktasına yakın bir noktada gerçekleştirilir (Yaklaşık erime noktasının %70'inde)
4. İkincil operasyonlar: Yeniden presleme, öğütme, kalibrasyon ve kaplama: Bunlar, boyut toleranslarının yakın olması, iyi yüzey kalitesi sağlanması, yoğunluğun artırılması, korozyon direnci vb. sağlamak için kullanılır.

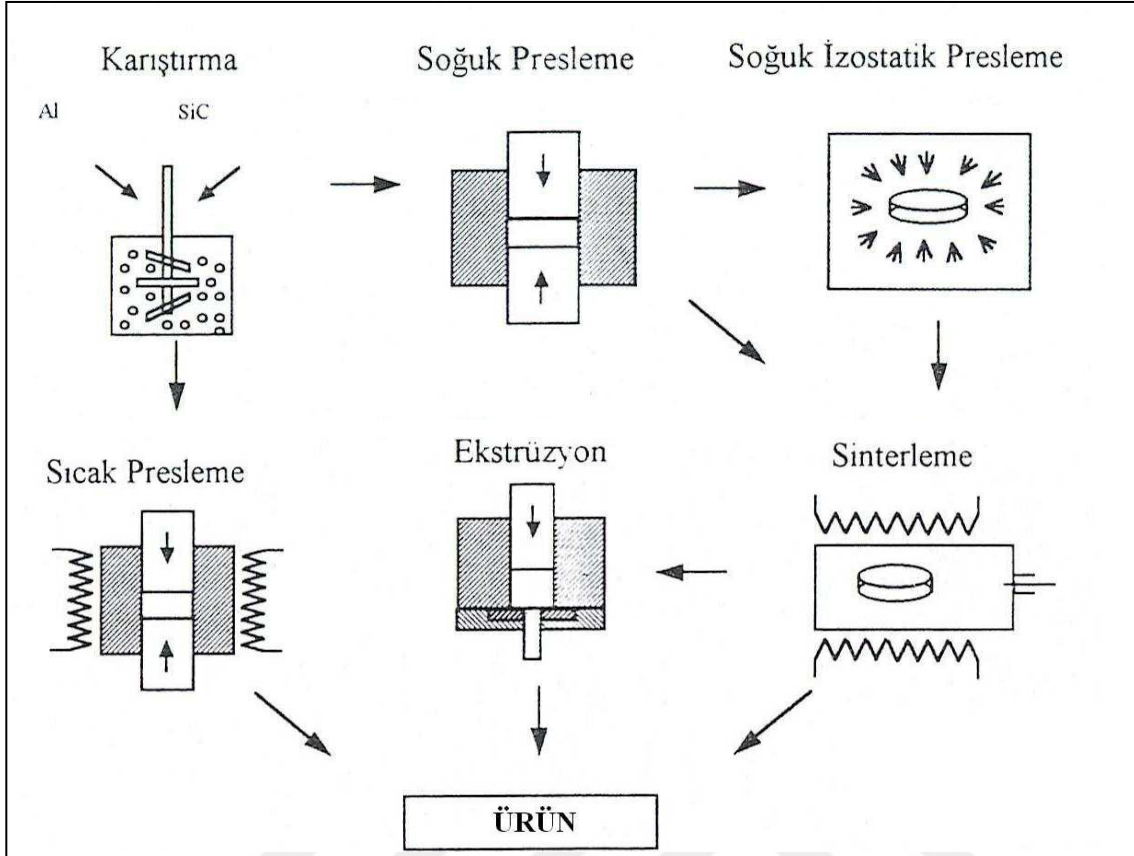
Bu yöntemde, boyut, şekil ve ambalaj özelliklerine sahip bir metal tozu alınır ve güçlü, yüksek performanslı ve kesin bir şekle dönüştürülür. İşlemin basamakları şekillendirme veya sıkıştırma gibi kısa bir süre sonra gerçekleşir. Bu, yüksek malzeme kullanımı, düşük nispi enerji tüketimi ve düşük maliyetlerle verimli bir şekilde otomatik işlemler gerçekleştirmiştir. Dolayısıyla TM, yukarıda bahsedilen özellikler için iyi bir seçimdir. Toz metalurjisi, geniş bir yelpazede yeni malzemeler, özellikler ve mikroyapılar sunabilen oldukça esnek bir üretim yöntemidir. Bu, aşınmaya dirençli kompozitler gibi TM için bazı eşsiz ve yararlı uygulamaları mümkün kılar (Topçu, 2016).

TM işlemi, homojen bir yapıya sahip parçalar üretmek suretiyle, üreticilerin geniş bir uygulama yelpazesinde daha tutarlı ve öngörülebilir ürünler üretmelerini sağlar. Buna ek olarak, TM Süreci, bir ürünün fiziksel özelliklerini, ihtiyaç duyulan spesifik özellik ve performans gereksinimlerine uyacak şekilde uyarlamaya izin veren yüksek düzeyde bir esnekliğe sahiptir. Bu esneklikler aşağıda belirtilmiştir:

- Kompleks şekillere sahip yapısal parçalar
- Kontrollü gözeneklilik
- Kontrollü performans
- Gerilim altında iyi performans ve titreşimleri emme
- Sertlik ve aşınma direnci gibi özel özellikler
- Mükemmel hassasiyet ve iyi yüzey kalitesi

TM işleminin benzersiz esnekliği, ürünlerin özel ihtiyaçlarınıza göre tasarlanmış malzemelerden yapılmasını sağlar. Özel olarak seçilen malzemeler kullanılarak bu özellik, arıtımların parçanın mekanik özelliklerine dönüştürülmesini sağlar.

Metal matrisli kompozit malzemelerin toz metalurjisi ile üretim aşamaları Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Metal matrisli kompozit malzemelerin toz metalürjisi tekniği ile üretim aşamaları(Eker, 2016; Yılmaz, Durlu ve Altıntaş,1996)

Toz metalürjisi yönteminin sağladığı önemli bir avantaj takviye elemanının matris içinde homojen dağılımını sağlamasıdır. Döküm tekniği yerine TM yöntemi kullanılarak parçacık veya whisker takviyeli kompozit üretimi hem daha kolay olmakta hem de daha homojen yoğunluklu kompozit parça üretilebilmektedir.

TM yöntemiyle parçacık takviyeli MMK üretiminde takviye partiküllerin kontrolü mümkün olduğundan, yapının kontrolü de mümkündür. Çünkü yapı içerisinde dağılmış partikül boyutları ile yapının mekanik özellikleri arasında direkt ilişki vardır. Yüksek takviye hacim oranının elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bundan dolayı da yüksek modüllü, düşük termal genleşme katsayısına sahip kompozitler üretilebilmektedir

Toz metalürjisi yöntemiyle kompozit üretiminde, öncelikle matris ve takviye elemanlarına ait tozlar karıştırılır ve kalıba boşaltılır. Karıştırma işlemi değişik boyut, şekil ve yoğunlukta tozların homojen olarak karışmasını ve böylece presleme ve sinterleme performanslarının

yüksek olmasını sağlar. Herhangi bir yağlayıcı ilavesi yapılmaksızın preslenen tek bileşenli sistemler dışında, diğer tüm sistemlerde karıştırma işlemi her zaman uygulanır (Erden, 2016). Karıştırma sırasında bazı problemler mevcuttur. Bunlar; rutubet, aşırı karıştırma, boyut farkı, yoğunluk farkı ve akış karakteristik farkıdır (Sarıtaş, Türker ve Durlu, 2007; Çalığülü ve Açıık, 2015).

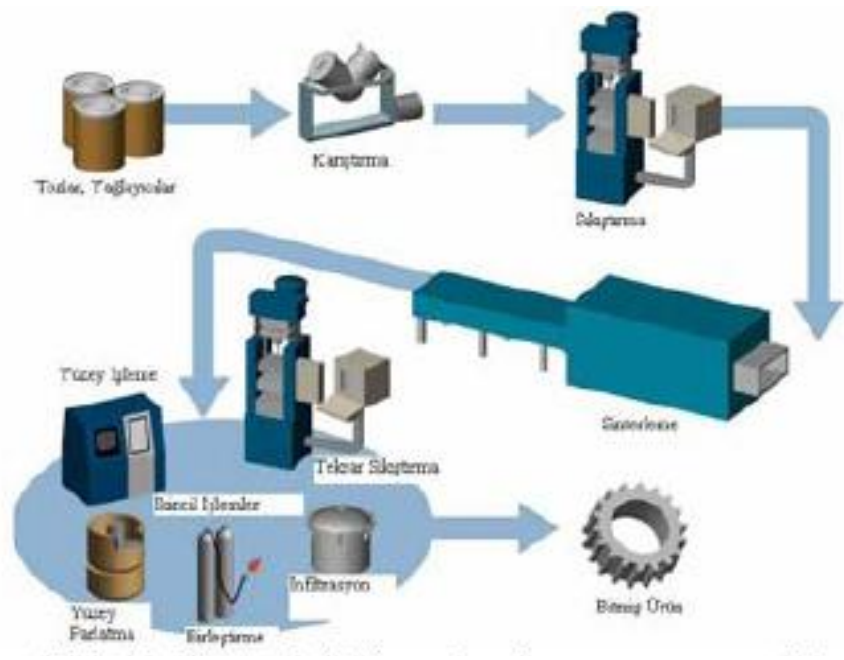
TM yöntemiyle kompozit malzeme üretiminde günümüzde yoğun olarak sıcak presleme tercih edilmektedir. Sıcak presleme kalıplama işlemini kolaylaştırırken takviye ve matris ara yüzey bağını da kuvvetlendirir. Sıcak preslemenin bir diğer avantajı yoğunluğu arttırmasıdır. Sıcak presleme ile üretilen parça ikincil işlemlerin ardından kullanıma hazır hale gelir. İzostatik sıcak presleme (HIP) TM yöntemiyle kompozit malzeme üretiminde kullanılan bir diğer yöntemdir. Nihai ürünün şekline yakın yüksek yoğunluğa sahip malzemelerin imalinde kullanılır. HIP ile üretilen kompozitlerde, geleneksel yöntemlerle üretilenlere göre daha iyi fiziksel özelliklere ulaşmak mümkündür.

Tozların sıkılaştırılması sıkıştırma ve sinterleme işlemlerinden oluşur. Çekirdek teknolojiler, tozun şeklini, özelliklerini ve yapısını arzu edilen ürünü üretmek için değiştirir. Daha yumuşak tozlar neredeyse tam yoğunluğa basılır; Bununla birlikte, sert tozların preslenmesi zordur ve polimerler kullanarak istenilen şekle yapıştırılırlar. Sinterleme, parçacıkların yapıştırılmasına veya lehimlenmesine neden olan bir toza uygulanan termal bir işlemdir ve bu da çok güçlü ve faydalı katı cisimlere neden olur. Nihai ürünün özellikle mikroyapı özellikleri şekillendirme ve sinterleme aşamaları sonrasında önem kazanmaktadır. Aslında, mikro yapı kontrolü, toz işleminin önemli bir avantajıdır. Fazlar, bir cihazda işlevi yerine getirmek için karıştırılabilir veya katmanlara yerleştirilebilir ve mikroyapıyı spesifik uygulamalara göre özelleştiren TM yeteneği ile diğer malzeme oluşturma teknikleri için rekabet etmek zordur (Yörükler, 2006).

Normal olarak, matris ve takviye malzemeleri, atomizasyon ve bilyalı öğütme işlemi gibi çeşitli mekanik işlemlere tabi tutularak toz formunda harmanlanır. Tozlar arzu edilen hacim fraksiyonlarına göre karıştırılır ve toz tercih edilen şekil kalıba beslenir. Karışım tozunun sıkıştırılması için basınç uygulanır (Soğuk presleme vb.), sıkıştırılmış numune sinterlenmeye maruz bırakılır; sıkıştırılmış numunenin, malzemenin erime noktasının çok altında kontrollü bir atmosferde ısıtılması ve takviye maddesinin katı halde difüzyonunun önemli

miktarda olmasını sağlar. Böylece, sıkıştırılmış metal matris kompozit numunesi istenilen şekli elde etmek için daha sonraki işleme işlemlerine tabi tutulur (Kalaiselvan, Murugan ve Siva, 2011).

Toz metalurjisi tekniği ile bileşenlerin imalatı, aşağıdaki aşamaları sırayla içerir (Kumar, Kumar, Satheesh ve Madhusudhan, 2016): (1) Metalik toz üretimi, (2) Tozların karıştırılması ve harmanlanması, (3) Tozların sıkıştırılması, (4) Sinterleme, (5) İkincil işleme işlemleri, (6) Muayene. Toz metalürjisinin üretim akış şeması şekil 5.2’de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Toz metalürjisinin üretim akış şeması (Kalaycıoğlu, 2010)

Kompozit malzemelerin üretiminde TM yönteminin tercihinde yöntemin yüksek kalite ve özelliklere sahip ürün elde etme imkanı sunmasıdır (Kalaycıoğlu, 2010). Ayrıca maliyet, üretim kolaylığı ve daha homojen özelliklere sahip malzeme elde etmede sunduğu fırsatlar TM yöntemini popüler hale getirmektedir. Toz metalürjisinin avantajı sadece üretim maliyetleri değil, kimyasal ve mikro yapının kontrolünün de sağlanmasıdır.

5.1. Toz Üretim Yöntemleri

Hemen hemen tüm malzemeler toz halinde üretilebilir. Bununla birlikte, bir toz imal etmek için üretim yöntemi, o malzemenin spesifik özelliklerine bağlıdır. Tozların üretiminde

kullanılan yöntemler, tozların şeklini, boyutunu, mikro yapısını, maliyetini ve diğer birçok özelliklerini tayin eder.

Toz üretiminde üç ana yöntem vardır (James, 2015):

1. Mekanik: Talaşlı imalat ve mekanik alaşımlamayı içerir.
2. Kimyasal: Elektrolitik birikim, bir katı tarafından bir gazın ayrışması, termal dekompozisyon, sıvıdan çöktürme, gazdan çökelme, katı-katı reaktif Sentez.
3. Fiziksel: Atomizasyon teknikleri

Bu yöntemlerden bazıları daha detaylı olarak aşağıdaki şekilde verilebilir (Sarıtaş, Türker ve Durlu, 2007):

A- Mekanik üretim yöntemleri

1. Talaşlı üretim
2. Öğütme
3. Aşındırma ile öğütme ve Mekanik alaşımlama
4. Darbe yöntemleri

B- Elektrolizle üretim

C- Kimyasal üretim yöntemleri

1. Gazla bozunma
2. Isıl bozunma
3. Sıvıdan çökeltme
4. Gazdan çökeltme
5. Katı-katı tepkimeli sentez

D- Atomizasyon yöntemleri

1. Gaz atomizasyonu
2. Sıvı atomizasyonu
3. Savurmalı atomizasyon
4. Plazma tekniği

E- Buharlaştırma yöntemi

F- Özel üretim yöntemleri

5.1.1. Mekanik üretim yöntemleri

Mekanik üretim yöntemlerinde esas darbe, sıkıştırma ve burma yöntemi ile toz üretimidir (Gülüzade, 2011). Mekanik üretim yöntemleri ile sıkıştırma ve burma kuvvetleri etkin olarak kullanılabilir. Bu özellikleri sayesinde karmaşık şekilli tozlar kolaylıkla üretilebilir. Kayma sistemi az, kimyasal bağları zayıf ve karmaşık kristalli yapıdaki malzemelerin üretiminde tercih edilirler. Mekanik üretim yöntemleri ile bu yapıdaki malzemelerin minimum maliyetle üretimi mümkündür. Ayrıca çok sert ve kırılğan metal alaşımları ile seramikler de bu yöntemler üretilebilir. Sünek malzemelerin üretiminde mekanik üretim yöntemleri tercih edilmez. Çünkü sünek malzemeler pul şeklinde tozların üretilmesine neden olabilir (Akbulut ve Durman,1995).

Mekanik yöntemleri üç ana başlık altında inceleyebiliriz. Bunlar (German, 1994; Lawley, 1992):

- Talaşlı imalat,
- Öğütme ve
- Mekanik alaşımlamadır

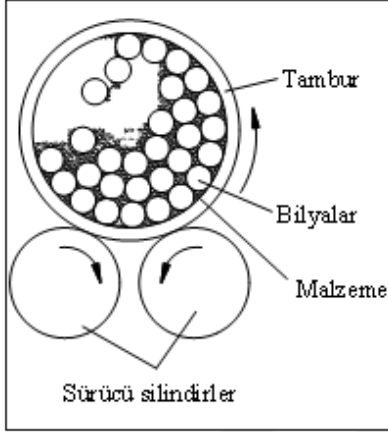
Talaşlı üretim

Tornalama, frezeleme ve taşlama gibi talaş kaldırma yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen üretim yöntemidir. Talaşlı imalatla elde edilen tozlar öğütülerek inceltirilir. Yüksek karbonlu çelik tozları talaşlı imalat yöntemiyle imal edilir. Talaşlı imalat yöntemi oksitlenme, yağlanma, imalat prosesi ile ilgili olarak kir tutma, kirlenme sorunları ve toz özelliklerinin kontrolündeki zorluk gibi bazı dezavantajlara sahiptir.

Öğütme

Bu işlemde amaç diğer yöntemlerle imal edilmiş tozların kırılmasıdır. İşlem yaygın olarak bilyalı değirmenlerle gerçekleştirilir (Şekil 5.3). Öğütme işlemi, parçalanması istenen malzeme ile sert bir cisim (bilya) arasında bir darbe meydana getirerek tozların kırılmasını

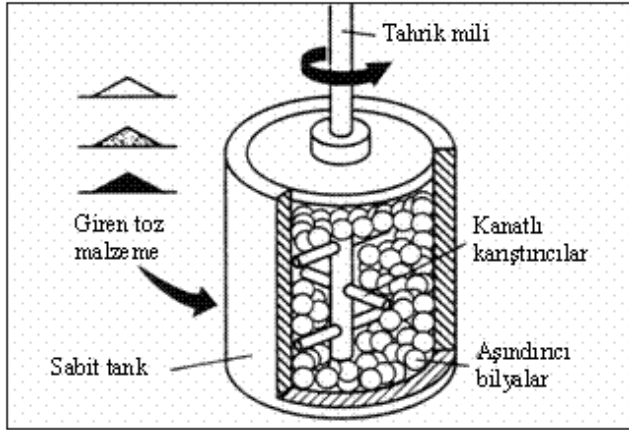
sağlama prensibine dayanır. Öğütülecek metal kırıkları, içinde sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bir kaba (tambur) yerleştirilir. Sürücü silindirler vasıyasıyla döndürülen tamburun içindeki bilyaların titreşimi ile yaratılan darbe etkisi ile kaba metal parçaları çok küçük toz parçacıklarına dönüştürülür (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Bilyalı öğütme

Mekanik alaşımlama

Mekanik alaşımlama (MA) işleminde önce, iki veya daha fazla elementel tozun belirli oranlarda birbirine karıştırılarak karışım tozu elde edilir. Elde edilen karışım daha sonra içinde öğütücü bilyalar bulunan bir değirmen içerisinde mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulur. MA işleminde hedef, kuru ve katı formdaki tozların birbirine kaynaklanması ve bu kaynakların tekrar kırılmasını sağlayarak daha ince ve homojen bir mikroyapıya sahip yüksek dayanımlı kompozit malzemelerin üretilmesidir (Çiftçi, 2003). MA yönteminde tozlar bir tank içerisine (değirmen) konarak tahrik mili döndürülür. Tozlar kanatlı karıştırıcılar ve bilyalarla deforme edilir. İşlem sırasında tozlarda kırılma ve soğuk kaynaklanmalar oluşur (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Mekanik alaşımlama

5.1.2. Elektrolizle üretim

Bu yöntemde elektrik kullanılarak metal çözülerek ince toz haline getirilir. Bu yöntemle oldukça saf tozlar elde edilebilir (Kalaycıoğlu, 2010). Bu yöntemle Cu (Bakır) en çok üretilen maddedir, ancak manganez ve krom tozu da bu şekilde üretilmektedir. Elektrolitik işlemi, anodun bir hücre içerisinde uygulanan belirli bir gerilim altında çözülmesi ile başlar. Çözülme sonucunda madde taşınımı ile katot üzerinde saf bir çökeltme gerçekleşir. Elektrolitik tozlar, elektrolitik kaplamada kullanılan ilkelere uyularak üretilir; koşullar pürüzsüz yapışkan bir katı tabakadan ziyade gevşek bir toz halinde çökelti üretmek üzere değiştirilir. Elemental tozlar, belirli çalışma koşulları altında bir elektrolitik hücrenin katoduna konabilir; Örnek metaller paladyum, krom, bakır, demir, çinko, manganez ve gümüşü içerir. Elektrik malzemeyi anottan katoda taşıyarak kolayca yıkanabilen bir film üzerine yapıştırır. Filmlerin temizlenip kurutulması sonrası istenilen toz elde edilir. Elektrolitik olarak bakır sülfat ve sülfirik asit kullanılan elektrolizle üretim yönteminde anot olarak bakır, katod olarak antimuanlı kurşun kullanılır(Ünal, web). Bakır tozlarının üretiminde elektroliz yönteminin kullanılması ile başarılı sonuçlar elde edilir.

5.1.3. Kimyasal üretim yöntemleri

Demir tozu üretiminde çok kullanılan bir yöntemdir. Tozun parçacık boyut ve şekli, reaksiyon değişkenleri kontrol edilerek ayarlanır (Topçu, 2016). Hemen hemen tüm materyallerin toz halindeki kimyasal reaksiyonlarla üretilmesi mümkündür. Üretilen tozun özellikleri, reaksiyona giren malzemelerin durumuna (gaz, katı, sıvı) ve şekline bağlıdır.

5.1.4. Atomizasyon yöntemleri

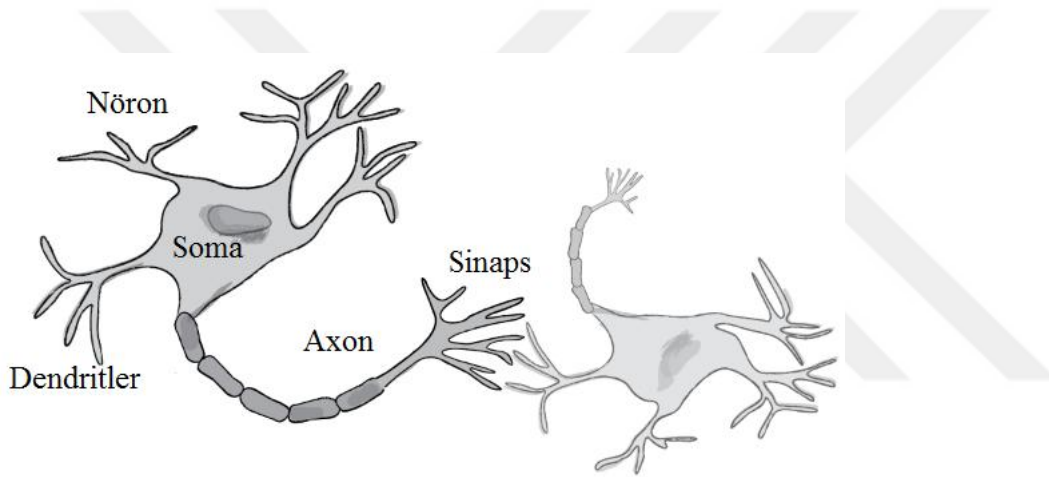
Atomizasyon, ergimiş bir metal akışının orta basınçta bir delikten geçirilmesi ile gerçekleştirilir. Temel prensip, bir potanın dibindeki delikten akmakta olan ergimiş metalin üzerine yüksek basınçlı gaz veya sıvı püskürtülmesidir. Metal akıntısına, nozuldan ayrılmadan önce bir gaz girer ve sürüklenen gaz genişlerken (ısıtma nedeniyle) türbülans yaratır ve menfezin dışındaki geniş bir toplama hacmine çıkar. Bu teknikte, erimiş metal küçük parçalara ayrıldıktan ve hızlı bir şekilde dondurulduktan sonra damlalar katı bir yüzeye veya birbirleriyle temas haline gelir. Burada gaz veya sıvı, ergiyik haldeki metal demetini farklı boyutlarda çok sayıda damlacıklara ayırır. Damlacıklar daha sonra katılarak metal tozlarını oluştururlar. Çoğu atomize tozlar tavlınır, bu oksit ve karbon içeriğini azaltmaya yardımcı olur. Su atomize edilmiş parçacıklar daha küçük, daha temiz ve gözeneksizdir ve daha iyi sıkıştırmaya olanak tanıyan daha büyük bir genişliğe sahiptir.

Atomizasyon üç ana başlıkta incelenebilir:

- Sıvı atomizasyon
- Gaz atomizasyonu
- Santrifüj atomizasyonu

6. YAPAY SİNİR AĞLARI

İnsan beyni bir biyolojik sinir ağı olarak tanımlanabilir. İnsan beyninde muazzam miktarda sinir hücresi, nöronlar bulunur. Bu hücrelerin her biri çok sayıda benzer hücrelere bağlanarak çok karmaşık bir sinyal iletim ağı oluşturur. Her hücre, bağlandığı diğer tüm sinir hücrelerinden girdi toplar ve belirli bir eşiğe ulaştığında bağlı olduğu tüm hücrelere sinyal verir. Bir biyolojik nöron çekirdek, gövde ve dendrit ve aksondan oluşan iki uzantıdan oluşur (Şekil 6.1). Dendritler giriş sinyalleri alır ve bu girdilere dayanarak bir akson vasıtasıyla bir çıkış sinyali tetikler. Akson ise çıkış sinyallerini diğer nöronlara iletir. Akson ve dendritin birleşim yerine sinaps adı verilir (Durmuş ve Meriç, 2005).



Şekil 6.1. Biyolojik bir nöronun yapısı

Bir Yapay Sinir Ağı (YSA), beyindeki biyolojik sinir sistemlerinin bilgi işleme biçiminden ilham alan bir bilgi işleme paradigmasıdır. Bu paradigmanın ana unsuru, bilgi işleme sisteminin yeni yapısıdır. Belli sorunları çözmek için birlikte çalışan çok sayıdaki birbirine bağlı işleme elemanlarından (nöronlar) oluşur. Esas olarak insan beyninin çalışma prensibini model alır. YSA'lar, insanlar gibi, örnekle öğrenirler. Bir YSA, öğrenme süreci yoluyla örüntü tanıma veya veri sınıflandırma gibi belirli bir uygulama için yapılandırılmıştır. Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik bağlantıların ayarlanmasını içerir. YSA'lar bu yapıdan esinlenmiştir.

Beyin temel olarak tecrübelerden öğrenir. YSA'lar, programlanan geleneksel matematiksel modellerin aksine, seçilen girdi ve çıktılar arasındaki ilişkileri öğrenirler. Sinir Ağları ile,

simüle edilmiş modelleri daha önce hiç olmadığı kadar hızlı ve kolay bir şekilde test etmeye ve keşfetmeye izin veren güçlü bir modelleme ortamına erişilir.

YSA öğrenme yeteneği, uyarlanabilirliği, az bilgi ile çalışabilme özelliği, hızı ve tanımlama kolaylığı ile modern bilimin en popüler konularının başında gelmektedir (Öztemel ve Dügenci, 2016). YSA, bu özelliklerinden ötürü bilimsel disiplinlerin çoğunda yoğun bir kullanıma sahiptir. Bu durum onunla ilgili değişik tanımlamaları da gündeme getirmiştir.

Bunlardan Haykin, yapay sinir ağlarını “Bir sinir ağı, bilgiyi depolamak için doğal eğilimi olan basit birimlerden oluşan paralel dağıtılmış bir işlemcidir. O beyni, bilgi öğrenme işlemi yoluyla ağ tarafından elde edilir. Sinaptik ağırlıklar olarak bilinen nöronlar arası bağlantı kuvvetlerini, bilgiyi depolamak için kullanır gibi iki şekilde ifade eder.” şeklinde tanımlamıştır (Haykin, 2005). Yapay sinir ağları insan aklının ve biyolojik sinirlerin matematiksel modelinin genelleştirilmesi olarak tanımlanabilir (Fausett, 1994).

Yapay sinir ağları aynı zamanda, “bağlantılı ağlar (connectionist networks)”, “paralel dağıtılmış ağlar (parallel distributed networks)”, gibi farklı isimlerle de adlandırılmaktadır. YSA, diğer zeki teknikler gibi algoritmik olmayan, adaptif, paralel programlama gibi tekniklerin gelişmesine katkıda bulunmuşlardır. Örneklerin bulunduğu fakat olaylar hakkında bilgilerin bulunmadığı veya eksik bilginin sözkonusu olduğu durumlarda etkin bir karar verme yöntemidir. YSA, aynı zamanda bu tip durumlarda önemli bir hesaplama yöntemidir. (Öztemel, 2012). YSA'nın bilimsel çalışmalarda gördüğü yoğun ilginin temelinde, insanın kendisi gibi zeki davranışlar sergileyebilen sistemler yaratabilme imkanını vermesidir.

1940'lı yıllarda biyolojik sinir hücrelerinin yapısından esinlenerek tasarlanan yapay sinir hücre modeli VE VEYA ve DEĞİL gibi mantıksal işlemlerin sayısal olarak modellenebileceğini göstermiştir. Böylece biyolojik sinir sisteminin incelenmesi ve onlara benzer şekilde çalışan yapay sinir ağları modellerinin geliştirilmesi farklı dallardaki araştırmacıların ortak çalışma konusu haline gelmiştir.

Bilgi işleme süreçleri olarak nitelendirebileceğimiz yapay sinir ağları verilen girdilere karşılık çıktılar üreten bir kara kutu olarak nitelendirilebilir. Yapay sinir ağları alışılmış bilgi işleme

yöntemlerinden farklılık göstermektedir. Hatta sahip olduğu özelliklerden dolayı birçok yonteme göre daha sağlıklı sonuçlar üretmektedir.

Yapay sinir ağı çok sayıda basit işlemci elemanlardan oluşur (Özkan, Eldem ve Sahin,2014). Bu elemanlar birbirlerine bağlantı ve ağırlıklarla bağlanırlar. Bağlantı ve ağırlıklar nümerik verileri taşıyan birimlerdir.

6.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

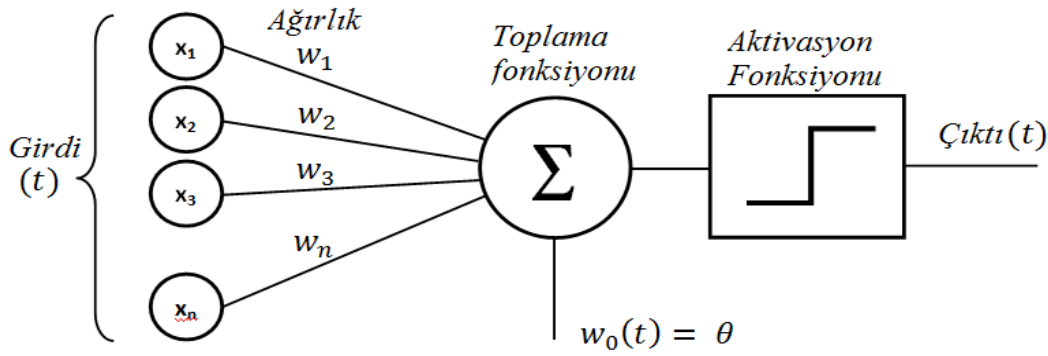
YSA çalışmaları bilgisayarların ortaya çıkmasından önce başlamıştır. Modern elektroniğin gelişmesiyle birlikte, insan beyninin düşünme sistemini kullanmaya yönelik çalışmalar başlamıştır. 1943 yılında McCulloch ve Pitts YSA'nın ilk kavramsal müdelini ortaya koydu. McCulloch sinir bilimcisiydi, Pitts ise mantıkçı. McCulloch ve Pitts teorilerini ortaya koydukları "Sinir Aktivitesindeki Düşüncelere Ait Bir Mantıksal Hesap" isimli makalede, girdileri alan, bu girdileri işleyen ve bir çıktı üreten bir hücre ağı içinde yaşayan tek bir hücre olan bir nöron kavramını tanımlamışlardı (McCulloch ve Pitts, 1943). MucCulloch ve Pitts'in çalışması insan beyninin yeteneklerini modelleme düşüncesinden yola çıkmıştı. MucCulloch ve Pitts'in insan beyninin hesaplama kabiliyetinden ilham alan sinir ağı modeli elektrik devreleri ile tanıtılıyordu. Onların ve daha sonra onları izleyen bilim adamı ve araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar, biyolojik beynin nasıl çalıştığını doğru bir şekilde anlatmak amacı taşımıyordu. Bunun yerine, belirli problemleri çözmek için beyne dayalı bir hesaplama modelinin kurgulandığı yapay bir sinir ağı tasarlamayı amaçlamışlardır.

McCulloch ve Pitts'in ardından Wiener "Cybernetics" isimli kitabında sinirlerin çalışması ve davranış özelliklerini ele almıştır. 1940'ların sonunda psikolog Donald Hebb, sinirsel plastisite mekanizmasına dayalı bir öğrenme hipotezi yarattı (Hebb, 1949). Günümüzde Hebbian öğrenme olarak bilinen hipotez, 'tipik' kontrolsüz öğrenme kuralı olarak kabul edilmektedir. Hebb, geliştirdiği bu öğrenme kuralı ile yapay hücrelerden oluşan bir sinir ağının değerlerini değiştirmektedir (Elmas, 2003).

1950'lere gelindiğinde bilgisayar teknolojisi daha gelişmiş bir hale geldiği için teorik olarak ortaya konan YSA modellerinin benzetimini yapmak mümkün hale gelmiştir. İlk neuro-bilgisayarlar bu dönemde geliştirilmiştir. Farley ve Wesley Hebbian öğrenme modelini taklit

eden bir hesap makinesi geliştirmiştir (Farley ve Wesley, 1954). Benzer bir hesap makinesi Holland, Habit ve Duda tarafından geliştirilmiştir (Rochester, Holland, Habit ve Duda, 1956). İlk başarılı nöro-bilgisayar 1957 ve 1958 yılları arasında Frank Rosenblatt ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir.

Frank Rosenblatt basit ekleme ve çıkarmayı kullanarak iki katmanlı bir bilgisayar öğrenme ağına dayanan model algılama algoritması olan “perceptron”u yaratmıştır (Rosenblatt, 1958). Perceptron’da temel prensip, birden fazla girdiyi alan bir sinir hücresinin bir çıktı üretmesine dayanır. Şekil 6.2’de basit bir yapısı görülen perceptron, basit ekleme ve çıkartma kullanarak iki katmanlı bir bilgisayar öğrenme ağına dayanan görüntü tanıma algoritmasıdır. Şekil 6.2’de basit bir perceptron yapısı görülmektedir.



Şekil 6.2. Basit bir Perceptron yapısı

Rosenblatt’ın geliştirdiği perceptron modeli yapay sinir ağlarında devrim niteliğinde olacak olan çok katmanlı algılayıcıların temelini oluşturmaktadır (Öztemel, 2012). YSA’nın ilk gerçek uygulaması telefon hatları üzerinde oluşan yankılanmaları elemine etmek için geliştirilmiştir. 1959’da Widrow, yankıların eliminasyonu için kullanılan adaptif filtrelerin geliştirilmesinde adaptif lineer eleman algoritmasını geliştirmiştir (Widrow, 1959).

Werbos’un geliştirdiği geri yayılım algoritması çok katmanlı sinir ağlarının daha hızlı öğrenmesi sonucunu doğurdu (Werbos, 1975). Bu süreçte YSA’nın bilimsel değerinin olmadığına dair iddialar ortaya atılmıştır (Minsky ve Papert, 1969). Bu iddianın gerekçesi ise tek katmanlı sinir ağlarının lineer olmayan problemlere çözüm üretmediğinin XOR problemi ile gösterilmesidir (Öztemel, 2003). Bunun çözümünün iki katmanlı ileri beslemeli ağlar

olduğunu göstermiştir, fakat gizli katmanların ağırlıkları nasıl değiştirileceğini gösteren bir yöntem önermemişlerdir.

Minsky'nin iddiaları ile durma noktasına gelen YSA çalışmaları Rumellhart ve McClelland'ın geriye yayılım algoritmasını geliştirmesi ile tekrar artmıştır (Rumellhart ve McClelland, 1986).

Rumellhart'ın algoritması hataları ağ boyunca çıkıştan geriye doğru dağıtarak azaltma yöntemini kullanmıştır. Karmaşık olsa da matematiksel esaslara dayanan algoritma, öğrenme aşamasındaki üstün yeteneklerinden ötürü yoğun olarak kullanılan algoritmalardan olmuştur.

YSA'nın yaklaşık yetmiş yıllık gelişim sürecinde sağlanan ilerlemeler, bilgisayar teknolojisinde sağlanan ilerlemelerle paralel gitmiştir. Günümüzde diğer yapay zeka teknikleri ile birlikte YSA gündelik hayatın parçası haline gelmiştir. Mevcut ticari uygulamaların ötesinde araştırmalar birçok alanda ilerlemektedir. Günümüzde nöral teori ile karmaşık problemlere yönelik uygulamalar geliştirilmektedir. 2009 ve 2012 yılları arasında, derin ileri beslemeli sinir ağları geliştirilmiştir (Schmidhuber, 2014). 2014 yılında IBM'den bilim adamları, beyindeki mevcut mimariye benzer bir işlemciyi (TrueNorth) tanıttı. IBM, milyonlarca nöron ve 256 milyon sinapsın gerçek zamanlı çalışmasını taklit edebilen posta pulunun büyüklüğündeki entegre devreyi sundu. Sistem saniyede 46 ila 400 milyar sinaptik işlem gerçekleştirmektedir.

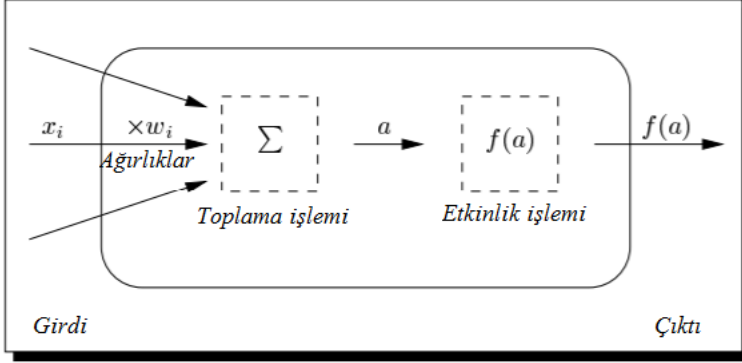
6.2. Ağ mimarisi

YSA model insan beyninin problem çözme yeteneğini taklit eden bir yapay zeka yöntemidir. Bir YSA modelinde en küçük bilgi işleme birimi yapay sinir hücreleridir (nöron). Genellikle birden fazla giriş ve çıkışa sahip bir bilgi işleme birimi olan nöron YSA'nın temel yapı taşıdır.

Hücre modellerine göre bazı farklılıklar olmasıyla birlikte, bir yapay sinir ağı modeli beş bileşenden meydana gelir (Şekil 6.3). Bunlar aşağıdaki şekildedir:

- Girdi,
- Ağırlıklar,

- Toplama fonksiyonu
- Aktivasyon (etkinleştirme) fonksiyonu
- Çıktılar



Şekil 6.3.Yapay sinir hücresinin yapısı (Hristev, 1998)

Girdiler (x_i), yapay sinir hücresine bir başka yapay sinir hücresinden veya dış dünyadan toplanan bilgilerden oluşur.

Ağırlıklar (w_i),girdinin önemini ve hücre üzerinde etkisi gösteren katsayılardır. Her bir giriş için bir ağırlık vardır. YSA'nın ayarlanabilir parametreleridir. Ağırlıklar değişken ya da sabit olabilirler (Öztemel, 2003).

Toplama işlemi, en basit şekilde yapay sinire alınan giriş değeri ile o girişe ait olan ağırlığın çarpılması ile elde edilir (Eş. 6.1).

$$\sum_i^n x_i w_i \quad (6.1)$$

Çoğu uygulamada eşik değeri olarak tanımlanan Θ toplamaya katılmaktadır.Burada amaç, nöronların aktif olmasını sağlamaktır. Eşik değeri (Θ)toplama fonksiyonuna +1 veya -1 değeri ile bağlanır. Böylece toplama işleminin 0 olmasını engeller.

$$\sum_i^n x_i w_i \pm \Theta \quad (6.2)$$

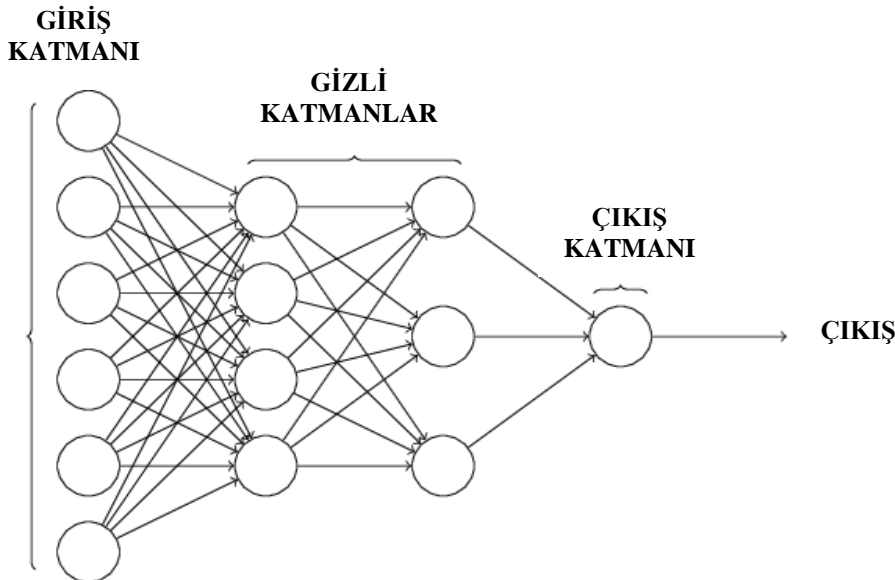
Aynı problem için kullanılan yapay sinir hücrelerinden hepsi aynı toplama fonksiyonunu kullanabileceği gibi her biri için farklı toplama fonksiyonu kullanılabilir (Öztemel, 2003).

Etkinleştirme fonksiyonu, ağı doğrusal olmayışını ortaya koyan doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Aktivasyon işlevinde de değişik formüller kullanılmaktadır. Çok katmanlı ileri beslemeli ağlarda yaygın olarak sigmoid fonksiyon kullanılır (eş. 6.3).

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (6.3)$$

6.3. Çok Katmanlı YSA

Çok katmanlı ağlar, genellikle ileri veya geri beslemeli olarak birbirine bağlı çok sayıda katmandan oluşur. Ağdaki nöronlar katmanlar içerisine yerleştirilmiştir. Bir katmandaki her nöron, bir sonraki katmanın nöronlarına bağlanır (Şekil 6.4). Nöronlar kendinden sonraki nörona bağlanabilirken kendisine bağlanmazlar. Çok katmanlı ağlarda üç katman bulunur. Bunlar, giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanlarıdır. Gizli katmanların sayısı bir veya birden çok olabilir. Giriş katmanı girişleri gerçek dünyadan alarak kendinden sonraki katmana iletir. Gizli katmanın girişlerle doğrudan ilişkisi olmadığı için gizli katman olarak adlandırılır. Gizli katmanı ağa karmaşık fonksiyonları hesaplama yeteneği kazandırır. Bu sebeple her ağda en az bir gizli katman olması gerekir. Çıkış katmanı ise çıkışları dış dünyaya verir.



Şekil 6.4.Çok katmanlı bir yapay sinir ağı

Ağdaki hesaplama genel olarak şu şekildedir: Giriş katmanı ile alınan girişler ağırlıklarla

çarpılarak gizli katmanlara giriş olarak iletilir. Gizli katmandaki girişler bir önceki adıma benzer bir şekilde gizli katman ve çıkış katmanı arasındaki ağırlıklarla çarpılır. Tüm gizli ve çıkış katmanı arasındaki bu çarpım işlemleri toplanarak çıkış katmanına iletilir. Elde edilen sonuç çıkış verisidir. Çok katmanlı bir sinir ağı logistik fonksiyon kullanarak sürekli bir çıktı hesaplayabilir (Eş. 6.3). Gizli katmanlar ağı daha hassas hesaplama yapmasını sağlar. Fakat katman sayısı arttıkça hesaplama zamanı artar. Nöron sayılarının hesaplama zamanı ve çözüm hassasiyetine etkisi benzer şekildedir.

6.3.1. İleri beslemeli yapay sinir ağları

İleri beslemeli bir YSA'da perceptronlar (nöron) katmanlar halinde düzenlenir. Bir katmandaki nörona ait çıkışlar, kendinden sonraki katmanın girişini oluşturur. Bir katmandaki çıkışlar ağırlıklar dikkate alınarak tekrar hesaplanır ve kendinden sonraki katmana giriş olarak iletilir. İlk katmanlar girdileri alır ve son katman çıktıları üretir. Orta (gizli) katmanların dış dünyayla bağlantısı yoktur ve dolayısıyla gizli katmanlar denir (Şekil 6.4).

Bir katmandaki nöron bir sonraki katmandaki her bir nörona bağlıdır. Bu nedenle, bilgiler bir katmandan diğerine sürekli "ileri doğru" iletilir. Bu sebeple bu tür ağlara ileriye besleme ağları denir. Aynı katmandaki ağların birbirleriyle bağlantısı yoktur (Şekil 6.4).

6.3.2. Geri beslemeli yapay sinir ağları

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında bilginin iletimi ileri beslemeli yapay sinir ağlarından farklıdır. Geri beslemeli ağlarda bir nöronun çıktısı sadece kendinde sonraki katmanda bulunan nörona değil kendinden önceki veya kendi katmanındaki bir nörona da giriş olarak bağlanabilir. Geri beslemeli ağların bu özelliği onların doğrusal olmayan dinamik davranış sergilemesine yol açar.

6.4. Geriye Yayılım Algoritması

Geri yayılım algoritmasının temelleri ilk olarak 1970'lerde tanıtıldı, ancak David Rumelhart, Geoffrey Hinton ve Ronald Williams'ın 1986'da yaptıkları bir çalışmadan sonra popüler bir kavram olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, geri yayılımın daha önceki öğrenme

yaklaşımlarından çok daha hızlı çalıştığını ortaya koyarak, daha önce çözülemeyen sorunları çözmek için sinir ağlarını kullanmayı mümkün kılan birkaç sinir ağını tanımlamıştır (Rumelhart, Hinton ve Williams, 1986). Günümüzde, geri yayılım algoritması, sinir ağlarında öğrenme konusunun en önemli çalışma alanıdır.

Prosedür, ağdaki gerçek çıkış vektörü ile istenen çıkış vektörü arasındaki farkı en aza indirmek üzere ağdaki bağlantıların ağırlıklarını tekrar tekrar ayarlanması esasına dayanır. Ağırlık ayarlamaları sonucunda, girdi veya çıktının parçası olmayan dahili 'gizli' birimler, görev alanının önemli özelliklerini temsil eder ve görevdeki düzenlilikler bu birimlerin etkileşimleri tarafından yakalanır. Yararlı yeni özellikler yaratma kabiliyeti, geri yayılım algoritmasını perceptron-convergence prosedürü gibi daha basit yöntemlerden ayırır (Rumelhart, Hinton ve Williams, 1986).

6.5. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

YSA, örneklerden genellemeler yaparak öğrenir, bu öğrenme sonucu yeni bilgiler türetebilir ve doğrusal olmayan problemlerin çözümlerini gerçekleştirir. Yapay sinir ağlarının en önemli özelliği sistemin paralellığıdır. Bunun yanında sistemin genelleme yeteneği önemli bir özellik olarak dikkat çekmektedir. Bu özellik ağın eğitim sırasında kullanılmayan girdiler için de çözüm üretmesini sağlar. Ağ fonksiyonunun nonlineer olması YSA'nın bir diğer önemli özelliğidir.

Bunların yanında YSA modellerinin genel özellikleri aşağıdaki şekilde sayılabilir (Öztemel, 2003):

- Yapay sinir ağları makine öğrenmesi gerçekleştirirler.
- Çalışma yöntemi bilinen programlama yöntemlerine benzemez,
- Bilgiyi saklarlar,
- Örneklerle öğrenirler
- Güvenle çalıştırılabilmesi için önce eğitilmeleri ve performanslarının test edilmesi gerekmektedir.
- Genelleme özellikleri sayesinde görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler.

- Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler.
- Görüntü işleme ve sınıflandırmada kullanılabilirler.
- Karakter ve örüntü tanıma / tamamlama yetenekleri vardır.
- Öğrenebilen sistemler oldukları için kendi kendine öğrenebilen sistemlerdir
- Hataya ve gürültüye karşı duyarlılığa ve toleransa sahiptirler.
- Belirsiz, tam olmayan bilgileri işleyebilmektedirler.
- Dağıtık belleğe sahiptirler. Veri dağıtılmış birleşik hafıza yapısı kullanılır ve bilgi farklı formlara dönüştürülerek işlenebilir.

6.6. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları

Yapay Sinir ağları geniş veri yelpazesi ile farklı uygulamalara başarıyla uygulanmıştır. Başlıca uygulama alanları aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

Karakter tanıma: Karakter tanıma ileri teknolojik uygulamalarda giderek yoğun bir kullanıma sahip olmaktadır. YSA el yazısı veya diğer karakterleri tanıma için kullanılabilir.

Görüntü tanıma/işleme: Sinir ağları görüntü tanıma da yoğun olarak kullanılmaktadır.

Tahmin: Deneysel verilerin tahmininde kullanılan YSA uygulamaları zaman ve maliyet unsurunu minimize edebilir. Ayrıca finansal işlemlerde (Borsa vb.) hisselerin gelecekteki durumlarının tahmininde YSA uygulamaları kullanılmaktadır.

Tıp: Özellikle biyomedikal uygulamalarda YSA'nın kullanıldığı görülmektedir. Araştırmalar çoğunlukla insan vücudunun parçalarını modellemek ve çeşitli taramalardan gelen hastalıkları tanımaya yönelik çalışmalar dikkat çekmektedir.

Bunların yanında satış tahmini, endüstriyel süreçlerin kontrolü, müşteri araştırması, veri doğrulama, risk yönetimi ve pazarlama alanlarında YSA uygulamalarına rastlanmaktadır.

6.7. Yapay Sinir Ağlarının Avantaj ve Dezavantajları

YSA kullanmanın en önemli avantajı, parametrik olmayan modeldir; istatistiksel yöntemlerin çoğu istatistiksel olarak daha yüksek arka plana ihtiyaç duyan parametrik modellerdir. Bunun yanında öğrenme yeteneği ve farklı öğrenme yaklaşımlarını kullanabilmesi avantajlı yönlerindedir. Yoğun bir şekilde paralel olmasından ötürü hataya toleranslı olması bir diğer üstünlüğüdür. Ayrıca adaptif olarak tasarlanabilmesi ve eğitim setinin dışında problemin tam tanımlı olması gerekmez.

YSA'nın üstünlükleri aşağıdaki başlıklarda toplanabilir:

1. Adaptif öğrenme: Adaptif (Uyarlamalı) öğrenme bilgisayarları etkileşimli öğretim araçları olarak kullanan bir öğrenme yöntemidir. YSA'da ise eğitim verilerinden yola çıkarak ağın verilen görevleri nasıl yapacağını öğrenme yeteneği olarak tanımlanabilir. YSA, girdileri devamlı bir şekilde uyarlayarak girdiler vasıtasıyla öğrenmeyi gerçekleştirir.
2. Temsil yeteneği: Bir YSA, öğrenme süresi boyunca aldığı bilginin temsilini oluşturabilir.
3. Eksik bilgi ile çalışabilme: Eğitim sonrası eksik veriler olsa bile, çıktı üretebilirler. Ancak burada eksik bilginin niteliği ağın performansını etkileyebilir.
4. Gerçek zamanlı çalışma: YSA, paralel hesaplama yeteneğine sahip bir yapay zeka yaklaşımıdır. Yani bir YSA, birden fazla iş veya işlemi aynı anda gerçekleştirebilme özelliğine sahiptir. YSA'nın bu özelliğinden faydalanan özel donanım cihazları tasarlanmakta ve üretilmektedir.

ANN kullanımı oldukça kolaydır, ancak çıktı tahmininde geniş bir olasılık yelpazesini kapsamak için girdi parametreleriyle ilgili büyük miktarda veri gerektirir. Bunların yanında YSA'nın sınırlılıkları aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

- Rasgele uygulamalar için kesin kurallar ve tasarım kriterleri yoktur.
- Çıkardığı sonucu nasıl ve neden çıkardığını açıklayamaz
- Ağın iç çalışmasını değerlendirecek genel bir yol yoktur.
- Eğitim zor veya imkansız olabilir.
- Ağın gelecekteki performansını tahmin etmek zordur.



7. MATERYAL VE YÖNTEM

7.1. Matris (ana faz) Malzemesi

Bu çalışmada matris malzemesi olarak, % 99,7 saflıkta ve <160 mikron boyutunda gaz atomizasyon yöntemi ile üretilmiş alüminyum tozları kullanılmıştır. Kullanılan bu tozlar ECKART Dorn firmasından temin edilmiştir.

7.2. Takviye Elemanı

Çalışmada, takviye elemanı olarak Aldrich firmasından temin edilen B₄C seramik tozları kullanılmıştır. Kullanılan bu tozların özellikleri çizelge 7.1 de verilmiştir.

Çizelge 7.1. B₄C seramik tozlarının özellikleri

Parçacık türü	Parçacık boyutu (mikron)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Ergime derecesi (°C)
B ₄ C	<10	2,52	2445

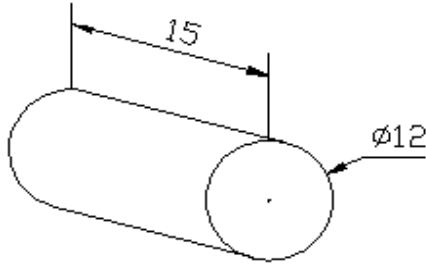
7.3. Malzeme Üretiminde Kullanılan Makine ve Teçhizatlar

7.3.1. Turbulada karıştırma

Tozlar ağırlıkça % 5, %10, %15 ve %20 oranlarındaki B₄C partikülleri ile %95, %90, %85 ve %80 alüminyum matris olacak şekilde 0,0001 gr hassasiyetli XB 220A PRECİSA marka terazide tartılmıştır. Karışım işlemi turbola cihazında 1 saat süreyle bilyesiz olarak gerçekleştirilmiştir.

7.3.2. Tozların preslenmesi

Karıştırılan tozların preslenmesi 60 ton basma kapasiteli MTI FYD-40 marka preste 650 MPa basınçta tek yönlü olarak preslenerek Ø12 x 15 mm boyutlarında olacak şekilde aşınma deney numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 7.1). Preslenen numunelerin kalıptan kolay çıkmasını sağlamak için kalıp iç yüzeyleri ile zımba dış yüzeyleri etil alkol ve çinko stearat'tan oluşan karışım ile yağlanmıştır.



Şekil 7.1. Aşınma deney numunesi boyutları

7.3.3. Numunelerin sinterlenmesi

Tez çalışmasında deney numunelerinin sinterleme işlemi, atmosfer kontrollü Carbolite marka tüp fırında akan argon ortamında gerçekleştirilmiştir. Numuneler fırın oda sıcaklığında iken fırının içerisine yerleştirilmiştir. Numunelerin fırına yerleştirilmesi için grafitten imal edilmiş bir kayık kullanılmıştır. Numuneler fırına yerleştirildikten sonra fırın, 15 °C/dak ısıtma hızı ile sinterleme sıcaklığı olarak belirlenen 635°C' ye kadar ısıtılmıştır. Numuneler bu sıcaklıkta 1 saat süre ile fırında bekletilmiştir. Sinterleme süresi sonunda fırın tekrar oda sıcaklığına kadar 15 °C/dak'lık soğutma hızında kontrollü olarak soğutulmuştur.

7.3.4. Yoğunluk ve gözenek oranının incelenmesi

Numunelerin yoğunluk oranı üzerinde 0,0001gr hassasiyetli yoğunluk kiti bulunan bir elektronik terazi ile belirlenmiştir. Numunelerin yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibine göre hesaplanmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin gözeneklilik oranı kompozitin teorik ve deneysel (sinterleme sonrası) ölçülen yoğunluğuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. (Eşitlik 7.1).

$$\% \text{ Gözeneklilik} = \frac{q_{\text{teorik}} - q_{\text{deneysel}}}{q_{\text{teorik}}} \times 100 \quad (7.1)$$

Burada;

q_{teorik} : Teorik yoğunluk (gr/cm^3)

q_{deneysel} : Deneysel yoğunluk (gr/cm^3) şeklindedir.

Numunelerin teorik yoğunlukları ise, (eşitlik 7.2)'de belirtilen karışım kuralı esasına göre hesaplanmıştır.

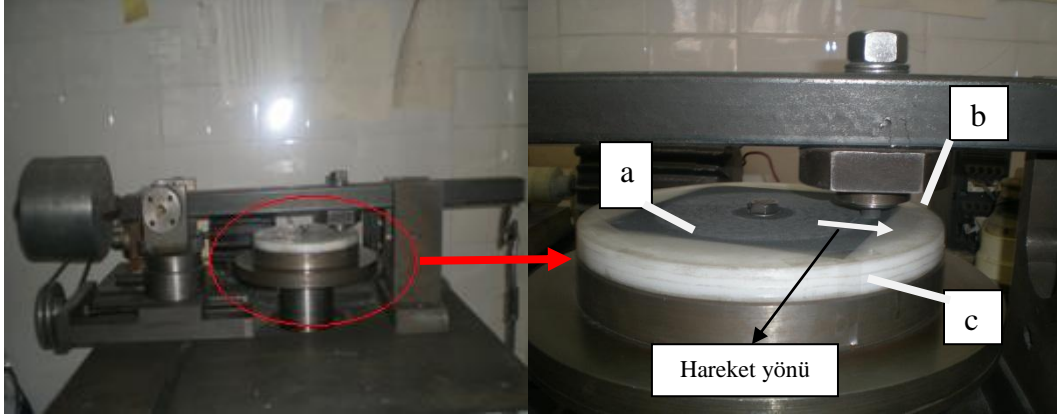
$$\text{Karışım teorik yoğunluğu} = [\text{ana malz.yoğunluğu} \times 0,9] + [\text{takv.elem. yoğunluğu} \times 0,10] \quad (7.2)$$

7.3.5. Mikroyapı incelemeleri

Sinterleme işlemine tabi tutulan numunelerdeki sinterleme ve faz dağılımını görebilmek için, kompozit numuneler öncelikle 500–800–1200 meshlik dairesel zımpara kâğıtları ile zımparalanmıştır. Parlatma keçesi üzerine sırasıyla 6, 3 ve 1 µm boyutunda elmas pasta süspansiyonu dökülerek hassas bir şekilde parlatma işlemi yapıldı. Numunelere uygun kimyasal dağlayıcı hazırlandı ve dağlama işlemi yapıldı. Zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerinin ardından kompozitlerin mikro yapıları Leica DM 4000M markalı Optik Mikroskop ile incelendi.

7.3.6. Aşınma deneyi

Aşınma deneyleri pin on disk abrasif aşınma cihazı kullanılarak oda sıcaklığında kuru ve yağsız kayma koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Deneyler 10, 20 ve 30N yük altında 0.2 m.s⁻¹ kayma hızında ve 7,5 m kayma mesafesinde uygulanmıştır. Deneylerde 1200-800-500 Mesh boyutlarında Silisyumkarbür abrasif zımpara kâğıtları kullanılmıştır. Abrasif zımpara kâğıtları resim 7.1'de görüldüğü gibi cihaz üzerinde bulunan dairesel kesitli düz bir zemine sahip olan döner disk üzerine sabitlenerek cihazın mandrenine bağlanan aşınma numuneleri bahsedilen disk üzerinde aşınma yönüne dik şekilde sürekli olarak içerden dışarıya doğru hareket ettirilmiştir. Böylece numunelerin daima yeni zımpara yüzeyine temas etmesi sağlanmıştır. Aşınma deneyinden önce ve sonra numuneler 0,0001 g hassasiyetinde elektronik terazi ile tartılarak aşınma ile oluşan ağırlık kayıpları bulunmuştur.

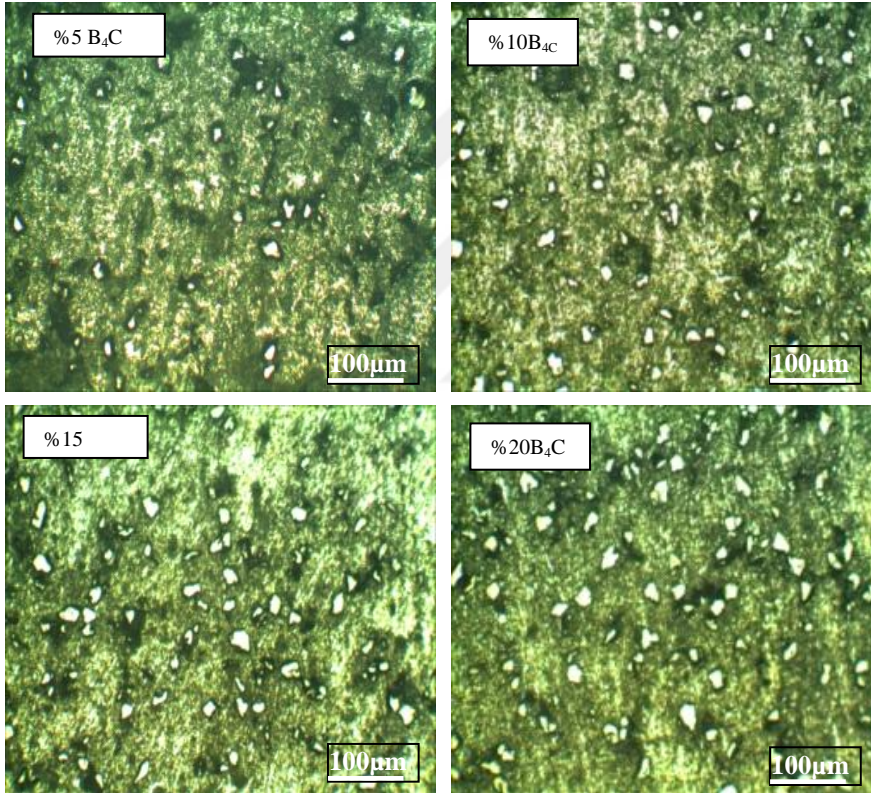


Resim 7.1. Aşınma deney düzeneği: a)SiC zımpara b) Numune tutucu (mandren) c) Döner disk

8. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

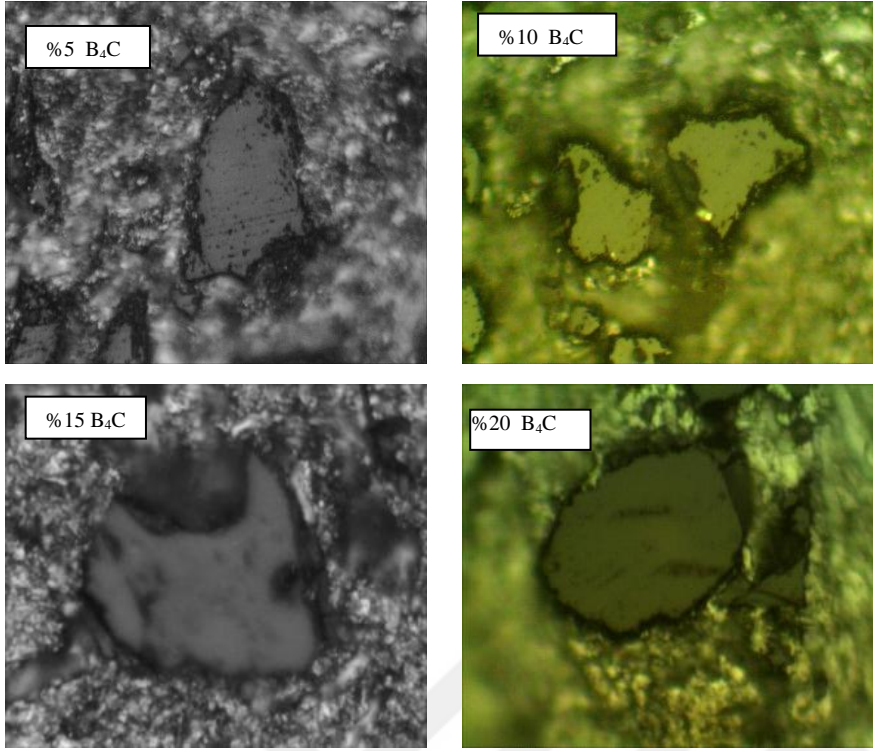
8.1. Mikro Yapısal Bulgular

Sinterleme işlemi sonrasında yapılan mikroyapı incelemelerinde, B_4C partiküllerinin matris içerisinde homojen dağıldığı görülmektedir. (Resim 8.1). Benzer şekilde partikül oranının artmasıyla da homojen dağılım sağlanmıştır. Resimler incelendiğinde $Al+15\%$ ve 20% B_4C ilaveli kompozitlerde gözenek oranının 5% ve 10% B_4C ilaveli kompozitlerden daha yüksek olduğu görülmektedir.



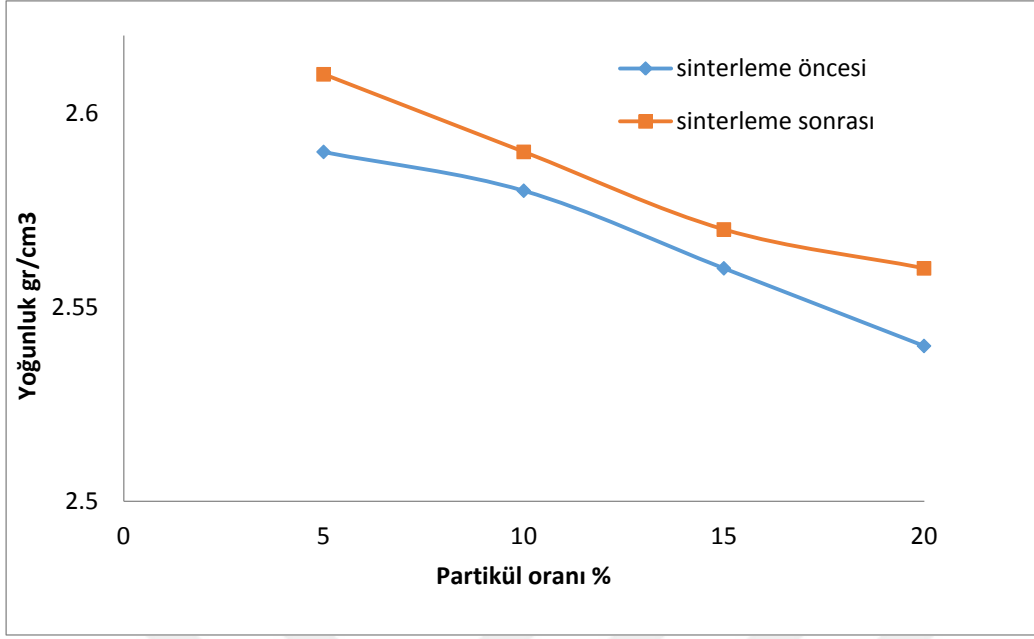
Resim 8.1. Parçacık dağılımını gösteren mikroyapı resimleri

Resim 8.2 de Partikül matris ara yüzey mikro yapı görüntüleri bulunmaktadır. Resim 8.2 incelendiğinde 5% B_4C ilaveli kompozit malzemelerde matris/parçacık arayüzeyinde boşluklar meydana gelmişken 15% ve 20% B_4C ilaveli kompozit malzemelerde bu açıklığın daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle artan B_4C oranının gözenek oranını artırıcı yönde etki ettiği ve matris/parçacık ara yüzeyindeki boşluğu artırdığı sonucu çıkarılmıştır.



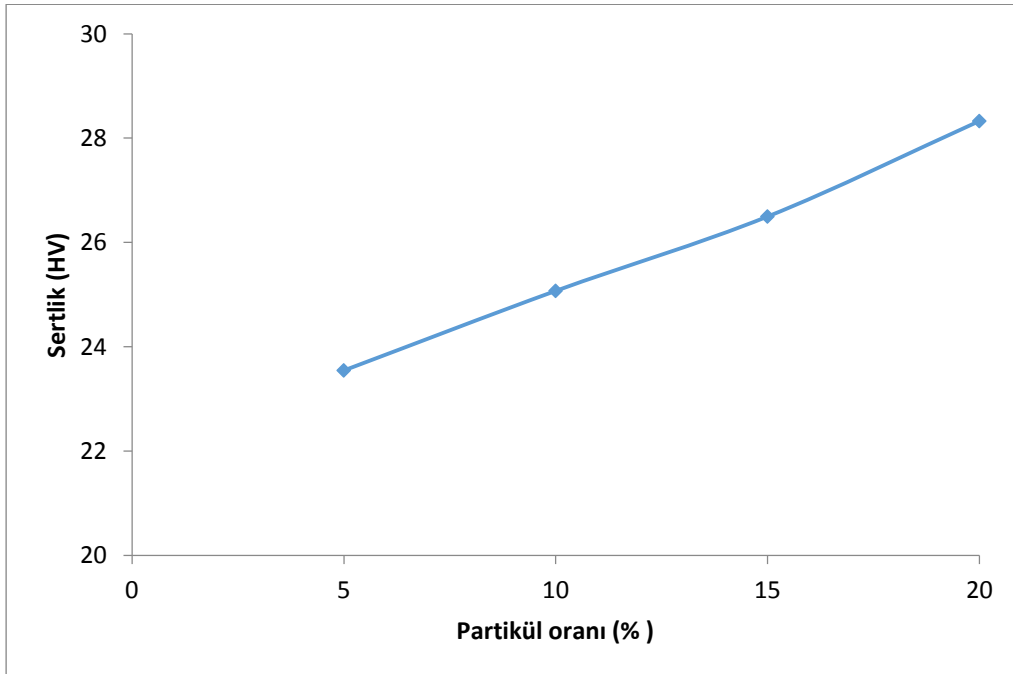
Resim 8.2. Partikül matris ara yüzey mikro yapı görüntüleri

Şekil 8.1'de partikül oranına bağlı yoğunluk değişimi görülmektedir. Sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası partikül oranına bağlı olarak yoğunluğun azaldığı gözlemlenmiştir. Sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası yoğunlukta en düşük değer %15 B₄C takviyeli kompozitte en yüksek değer ise %5 B₄C takviyeli kompozitte görülmüştür. Bunun nedeni artan partikül oranına bağlı olarak artan gözeneklilik oranının olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8.1. Yoğunluk değişimini gösteren grafik

Şekil 8.2'de ise partikül oranına bağlı sertlik değişimi görülmektedir. Görüldüğü gibi partikül oranı arttıkça sertliğinde bu artışa bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 8.2. Partikül oranına bağlı sertlik değişimi

8.2. Aşınma Deneyleri Sonucunda Meydana Gelen Ağırlık Değişimleri

Deneyler süresince farklı yük ve zımpara boyutları uygulanarak meydana gelen ağırlık değişimleri Tablo 1' de toplu olarak verilmiştir. Burada “0” saf Al, “1” %5 B4C takviyeli numune, ”2” %10 B4C takviyeli numune, “3” %15 B4C takviyeli numune, “4” % 20 B4C takviyeli numuneyi temsil etmektedir.

Çizelge 8.1. Deneyler süresince meydana gelen ağırlık değişimleri

Numune No	Uygulanan Yük	Zımpara Boyutu	Ağırlık Kaybı (Aşınma)
0	10	1200	19,9
1	10	1200	19,8
2	10	1200	13,6
3	10	1200	15,3
4	10	1200	16,6
0	20	1200	29,6
1	20	1200	29,8
2	20	1200	22,7
3	20	1200	22,3
4	20	1200	20,5
0	30	1200	35,8
1	30	1200	36,1
2	30	1200	30,1
3	30	1200	30,8
4	30	1200	31,2
0	10	800	38,6
1	10	800	34,6
2	10	800	26,5
3	10	800	28,4
4	10	800	33,8
0	20	800	58,2
1	20	800	56,7
2	20	800	38,7

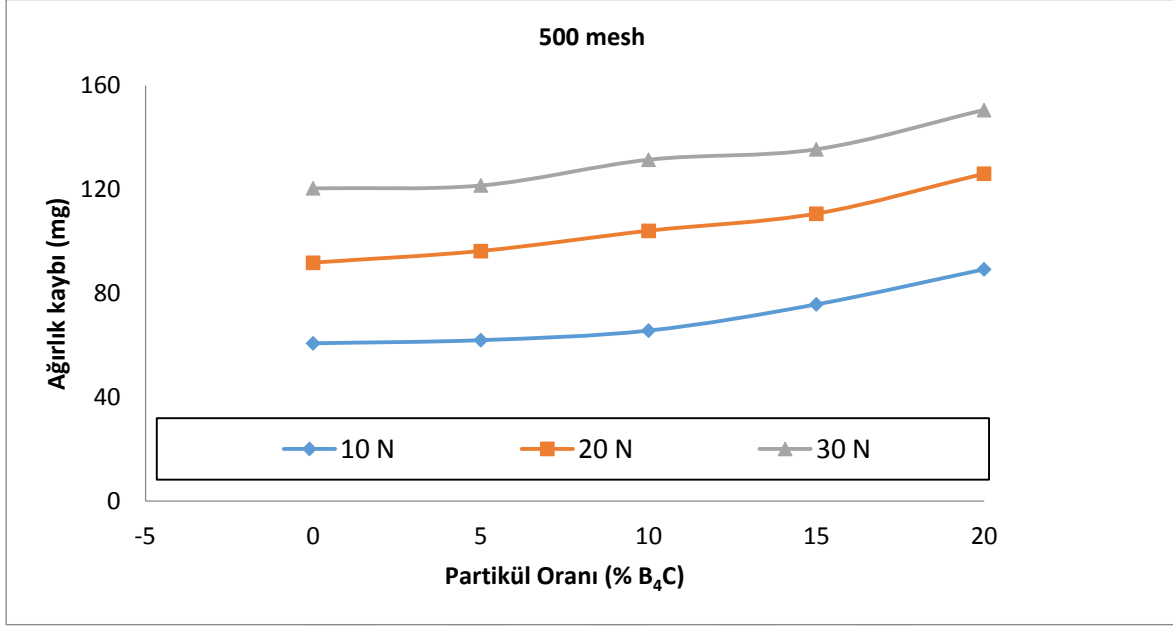
Çizelge 8.1. (devam) Deneyle süresince meydana gelen ağırlık değişimleri

3	20	800	32,2
4	20	800	35
0	30	800	70,1
1	30	800	70
2	30	800	42,6
3	30	800	42,5
4	30	800	46,2
0	10	500	60,8
1	10	500	62
2	10	500	65,7
3	10	500	75,8
4	10	500	89,3
0	20	500	91,8
1	20	500	96,3
2	20	500	104,1
3	20	500	110,7
4	20	500	126,1
0	30	500	120,5
1	30	500	121,6
2	30	500	131,5
3	30	500	135,5
4	30	500	150,6

8.3. Takviye Elemanı Oranının Aşınma Miktarına Etkisi

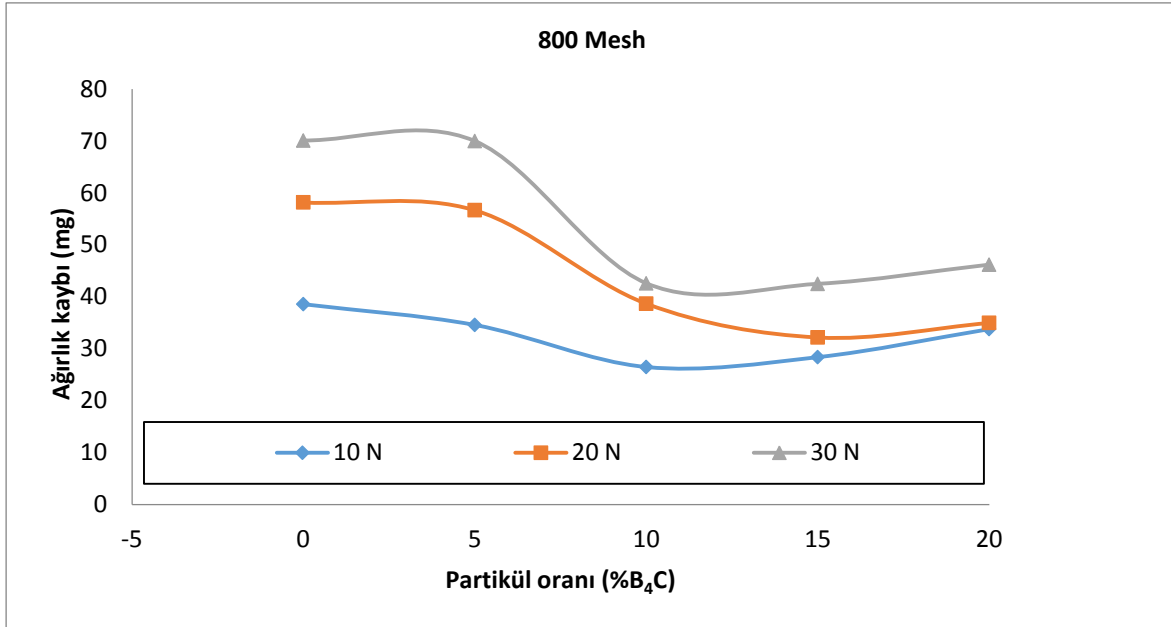
Şekil 8.3’de 500 mesh zımpara kullanılarak yapılan aşınma deneyinde partikül oranının artışına bağlı olarak değişen ağırlık kayıp oranı verilmektedir. Çalışmada partikül oranı arttıkça ağırlık kayıp oranının arttığı görülmüştür. Partikül oranının artışına bağlı olarak meydana gelen ağırlık kaybındaki artış aşındırıcı olarak kullanılan 500 mesh zımparanın partiküllerinin daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Zira aşındırıcı zımparanın partiküllerinin büyük olması malzemenin yapı içerisindeki gözenekleri doldurmasından

ziyade malzemeyi kopararak ağırlık kayıp oranını artmasına neden olmuştur. Aşınma deneyleri esnasında kullanılan aşındırıcı yükün artması ağırlık kayıp oranını arttırmıştır.



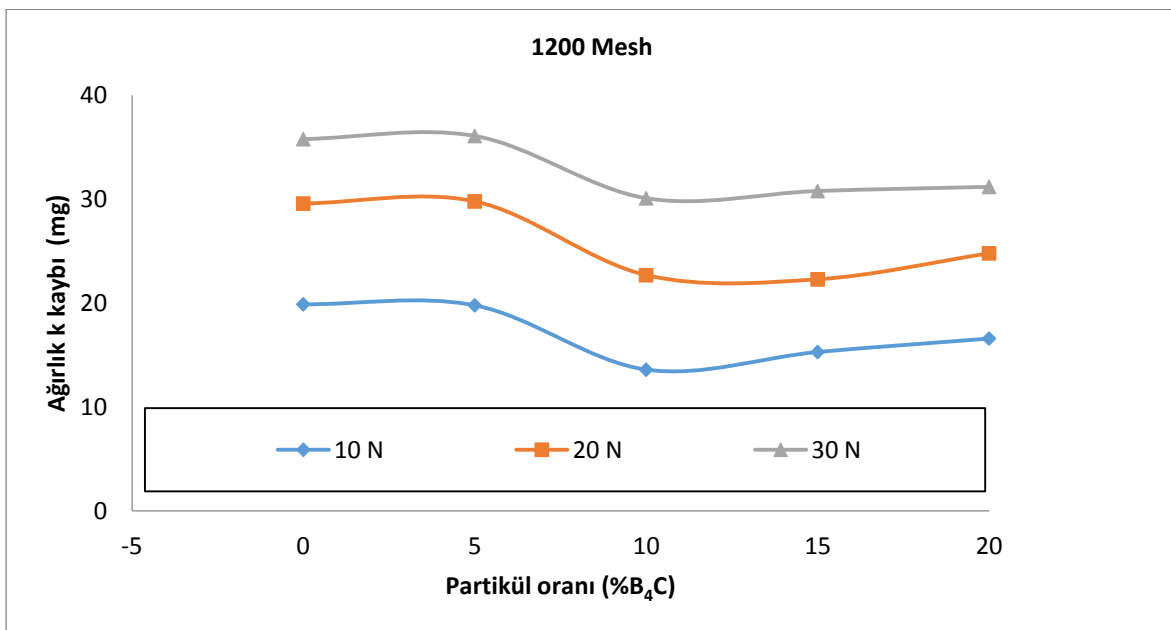
Şekil 8.3. 500 mesh boyutlu zımpara ile yapılan deney sonucunda oluşan aşınma değerleri

Şekil 8.4'te 800 mesh zımpara kullanılarak yapılan aşınma deneylerinde partikül içermeyen ve %5 partikül ilaveli kompozitlerde aşınma kayıpları yüksekken %10, %15 ve %20 partikül ilaveli kompozitlerde aşınma miktarı önemli oranda azalmıştır. Bu oran 10N yük kullanılarak yapılan aşınma deneyinde daha azken 20 ve 30N yükte yapılan deneylerde ise daha fazladır.



Şekil 8.4. 800 mesh boyutlu zımpara ile yapılan deney sonucunda oluşan aşınma değerleri

Şekil 8.5'te 1200 mesh zımpara kullanılarak yapılan aşınma deneylerinde partikül ilaveli olmayan ve %5 B₄C ilaveli numunelerde ağırlık kaybının % 10, %15 ve % 20 ye göre kısmen fazla olduğu söylenebilir. Bu durum partikül ilavesinin aşınma dayanımını artırdığının bir göstergesidir. %15 ve % 20 B₄C ilaveli numunelerdeki ağırlık kaybındaki kısmi artışın bu numunelerdeki gözeneklilik oranının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 8.5. 800 mesh boyutlu zımpara ile yapılan deney sonucunda oluşan aşınma değerleri

30N yük kullanılarak yapılan deneylerde,500 mesh lik aşındırıcılarda saf Al ve %5 partikül ilaveli numunelerde ağırlık kaybı yaklaşık 121gr iken %20 partikül ilaveli numunedeki ağırlık kaybı 150gr civarındadır. Saf Al ve %5 partikül ilaveli numunelerde yaklaşık 70gr ağırlık kaybı meydana gelmişken,% 10, % 15 ve % 20 partikül ilaveli numunelerde 42-46 mg ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Dolayısıyla % 10,% 15 vee % 20 partikül ilaveli numunelerde aşınma miktarı azalmıştır. Bu azalmanın sebebi sürtünme esnasında matris yapıdan kopan parçacıkların yapı içerisindeki gözeneklere yerleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.1200 mesh zımpara kullanılarak yapılan aşınma deneylerinde ise meydana gelen ağırlık kaybındaki azalma ise kısmen olmuştur. Bu durum, aşındırıcı partiküllerinin küçük boyutta olması matris yapıda kopmalardan ziyade sıvıların olmasına ve matris malzemenin parçacık/matris arayüzeyindeki gözeneklere dolmasına neden olmasının bir sonucudur.Aşındırıcı boyutlarının değişimine bağlı olarak meydana gelen ağırlık kayıplarının,aşındırıcıdaki partikül boyutlarından kaynaklanmaktadır.Aşındırıcılardaki partikül boyutlarının büyük olması sürtünme esnasında yapı içerisindeki partiküllerin kopmasına ve ağırlık kaybının artmasına neden olmuştur.aşındırıcılardaki partikül boyutlarını küçük olması ise sürtünme esnasında kopan parçacıkların yapı içerisindeki gözeneklere yerleşerek ağırlık kaybını azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

8.4. YSA Model

YSA, süreç parametreleri arasında çok değişkenli ve doğrusal olmayan karmaşık ilişkileri öğrenme kabiliyetleri yüzünden imalat fonksiyonlarını modelleme için uygun bir yapay zeka tekniğidir. Yapay sinir ağları insan benzeri tarzda örneklerle öğrenirler. Bu nedenle YSA'da öğrenme süreci örnekler üzerinden gerçekleştirilir. Örnekler deney kümelerinden elde edilir. Deney kümesi eğitim ve test kümesi olarak iki bölüme ayrılır. Eğitim aşaması süresince ağ, eğitim kümesini eğitmek için tümevarımsal bir eğitim modelini kullanır (Fındık, Taşdemir ve Şahin, 2010). Eğitimde amaç, ağ boyunca ağırlıkları ayarlayarak hatayı minimize etmektir (Aşkın, İskender ve Mamizadeh, 2011). Burada bahsedilen hata, eğitim sürecindeki hedeflenen çıktı ve ağda ortaya çıkan çıktı değeri arasındaki farktır. Ağdaki amaç bu farkın minimizasyonudur. Hata minimizasyonu ağırlıkların eğitim boyunca değiştirilmesi ile gerçekleştirilir (Karataş, Sozen ve Dulek, 2009). Eğitim süreci hedeflenen çıktı değeri elde edilene kadar devam eder. Eğitimin performansı, eğitim esnasında kullanılmayan verilerin

ağda test edilmesiyle gözlemlenir. Bu işleme “test”, bu işlem sonucu elde edilen çıktı verilerine “test verisi” denir.

Literatürde YSA mimarisinin pek çok tipi vardır. Fakat, geriye yayımlı çok katmanlı ileri beslemeli ağ, mühendislik uygulamalarında çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Mitra, Majumdar, Majumdar ve Bannarjee, 2013). Bir YSA modelin gerçek verileri modellemedeki başarısı modelin performansını belirler. YSA modelin performansı istatistiksel hata analiz yöntemleri kullanılarak belirlenir. Mutlak değişim yüzdesi (R^2), ortalama hata (RMSE) ve ortalama yüzde hata (MAPE) en çok kullanılan istatistiksel hata analiz yöntemleridir (Sahin, 2014) (Eş. 8.1-8.3). R^2 değeri 1'e yaklaştıkça YSA modelin tahmin yeteneği; RMSE ve MAPE değeri 0'a yaklaştıkça YSA modelin performansı yükselir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (s_{deneysel} - s_{ysa})^2}{n}} \quad (8.1)$$

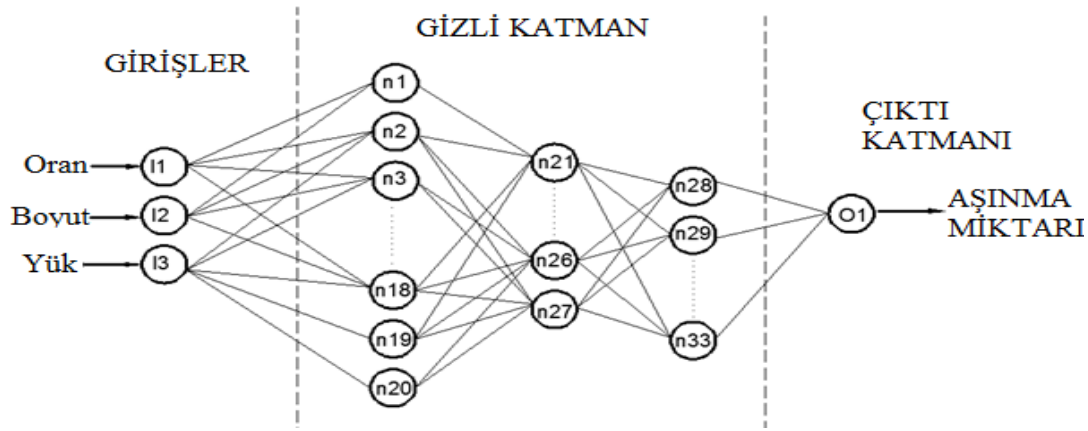
$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (s_{deneysel} - s_{ysa})^2}{\sum_{i=1}^n (s_{deneysel})^2} \right) \quad (8.2)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{s_{deneysel} - s_{ysa}}{s_{deneysel}} \right| \times 100 \quad (8.3)$$

Eşitlik 8-1'de $s_{deneysel}$ deneysel çıktı, s_{ysa} tahmin edilen (YSA) çıktısıdır. n ise veri sayısıdır. Deneysel olarak elde edilen aşınma sonuçlarını matematiksel olarak modellenmesinde farklı ağ yapıları ile alternatif çözümler sunularak bunların arasından uygun ağ modeli seçilmiştir. YSA model "EasyNN-plus" yazılımı yardımıyla geriye yayımlı ileri beslemeli, Levenberg Marquert algoritması kullanan çok katmanlı bir öğrenme mekanizması ile eğitilmiştir. Ağın eğitimi ve testi sonrası elde edilen değerler yaygın olarak kullanılan istatistiksel analizlere tabi tutularak incelenmiştir.

Çalışma kapsamında B₄C oranı (Oran), zımpara boyutu (boyut) ve uygulanan yüke (yük) bağlı olarak elde edilen 45 aşınma değerinin YSA modelleri oluşturulmuştur. Model çok

katmanlı geriye yayımlı ileri beslemeli YSA model üç giriş ve bir çıkışa sahiptir (Şekil 8.5). Üç gizli katmana sahip olan ağda 33 nöron bulunmaktadır.



Şekil 8.6. 3 Giriş 1 çıkış değerine sahip geriye yayımlı ileri beslemeli YSA model

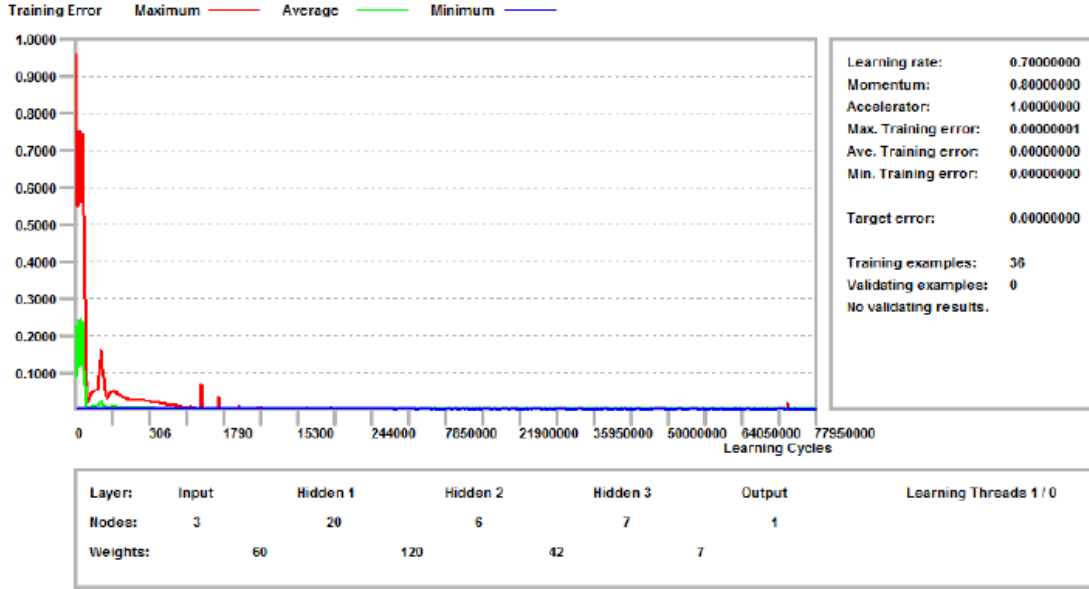
Modelin giriş verisi aşındırıcı boyutu, yük ve takviye elemanının oranıdır (Çizelge 8.2). Modelin çıkış verisi deneysel işlem sonucu malzemede gözlemlenen ağırlık kaybıdır.

Çizelge 8.2. YSA modelin giriş ve çıkış parametreleri

Girdi	Çıktı
<u>Malzeme bileşimi</u> Matris (99,7 vol%): Al Takviye elemanı<10 mikron B ₄ C Seramik toz	Aşınma değeri: Ağırlık kaybı (gr)
<u>Deneysel şartlar</u> Aşındırıcı boyutu (500, 800 ve 1200 mesh) Yük (10, 20 ve 30 N) Takviye elemanının oranı (%5, 10 ,15 ,20 B ₄ C)	

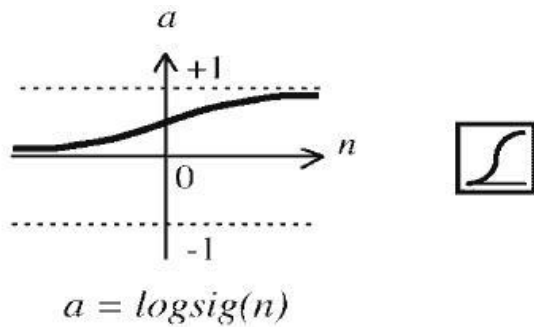
YSA modelde ağı eğitimi verilerin hepsi kullanılmaz. Deneysel verilerin % 70 ila % 90'ı, ağı eğitimi %30 ila %10'u ise ağı performansının testinde kullanılır. Yapılan çalışmada deneysel verilerin %70'i eğitim, %30'u test amaçlı kullanılmıştır. Modelde 45

aşınma değerinin 36'sı eğitim 9'u test amaçlı kullanılmıştır. Verilerin eğitimi ve testi için kullanılan ANN model 3-20-6-7-1 ağ yapısına sahiptir (Şekil 8.6). 33'ü gizli katmanda olmak üzere toplam 37 nodüle sahip olan ANN model model, 77950 iterasyon sonunda en iyi tahmin sonuçlarını vermiştir (Şekil 8.7). Modelde, ortalama hata 0,001, öğrenme oranı 0.7 ve momentum 0.8 olarak optimize edilmiştir.



Şekil 8.7. Ağın eğitim süresince hatanın gelişimi ve toplam iterasyon

Veriler, EasyNN-Plus yazılımı ile “Logistic Sigmoid” transfer fonksiyonu kullanılarak eğitilmiştir (Eşitlik 8.4). Logistic sigmoid transfer fonksiyonu bir katmanın çıkışını net girdisinden hesaplayan bir fonksiyondur (Şekil 8.8)



Şekil 8.8. Logistic sigmoid fonksiyonu

$$f(i) = \frac{1}{1 + e^{-\sum_{j=1}^n w_{ij} \times x_{ij} + \dots}} \quad (8.4)$$

Eşitlik 8.4 transfer fonksiyonunun analitik ifadesini göstermektedir. Bu eşitlikte $f(i)$ transfer fonksiyonu çıktısı, w_{ij} bir nodülde bulunan girdinin ağırlığıdır. YSA'da normalizasyon işlemi genelde (0,1) veya (1,-1) aralığında gerçekleştirilir. Çalışma kapsamında giriş ve çıkış katmanındaki verilerin normalizasyonu (0, 1) aralığında gerçekleştirilmiştir (eş. 8.2). Normalizasyon için kullanılan maximum ve minimum giriş ve çıkış değerleri çizelge 8.3'te verilmiştir.

$$S_n = \left(\frac{s_{deneyssel} - s_{min}}{s_{max} - s_{min}} \right) \quad (8.5)$$

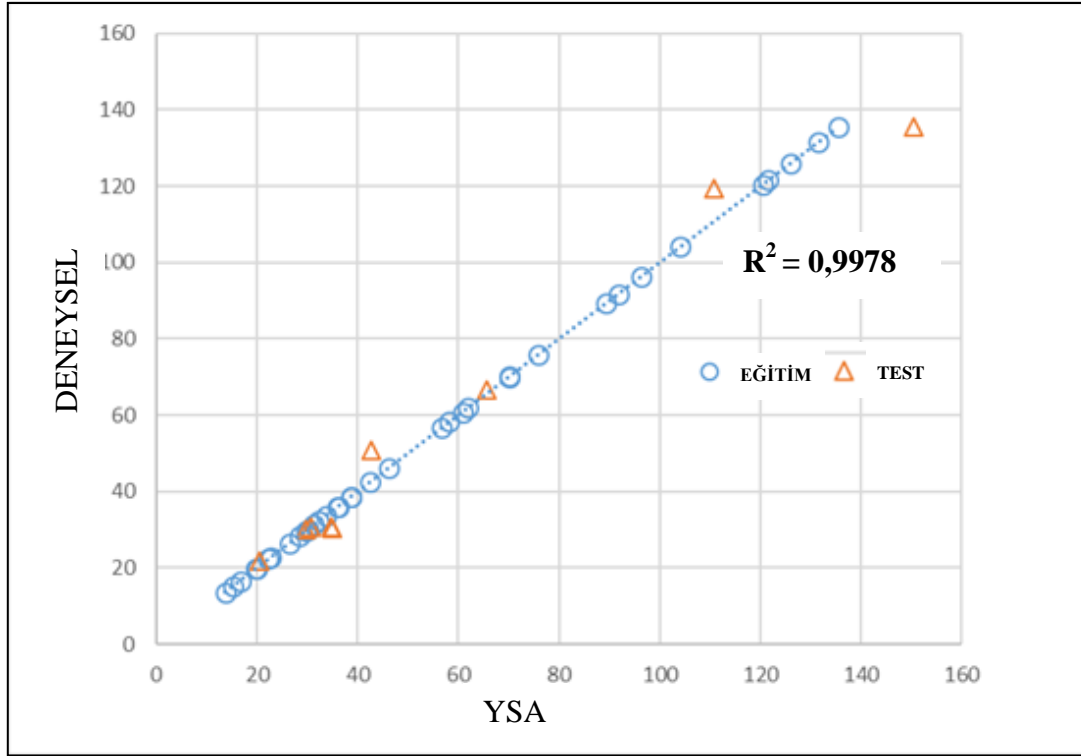
Burada $s_{deneyssel}$ deneysel çıktı, s_{max} verinin aldığı en büyük değer, s_{min} verinin aldığı en küçük değer çıktısı n veri numarasıdır (n'inci veri)

Çizelge 8.3. Giriş ve çıkış verilerinin minimum ve maksimum değerleri

	Parametreler	S_{min}	S_{max}
Girdi	Takviye elemanının oranı	0	20
	Yük	10	30
	Aşındırıcı boyutu	500	1200
Çıktı	Ağırlık kaybı	13,6	135,5

YSA modelin eğitimi sonrası elde edilen sonuçlar, ağırlık deneysel verileri tahminde oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmada, ağırlık eğitimi aşamasında mutlak değişim yüzdesinin (R^2) 1 olduğu görülmüştür (Şekil 8.9). Eğitim aşamasında ağırlık performansının gözlenmesi açısından önemli olan istatistiksel hata (RMSE) ve ortalama yüzde hata (MAPE) ortalamaları 0,0022214 ve 0,001 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 8.4). Literatürde eğitim verilerinde MAPE değerinin <0.1 olması, çalışmanın yüksek doğrulukla tahmin edildiğini

gösteren bir kriter olarak değerlendirilmektedir (Lewis, 1982). Bu çalışmada $MAPE_{\text{eğitim}}$ değeri 0,001 çıkararak literatürde işaret edilen doğruluk değerini tutturmuştur. Çizelge 8.4’de de görüleceği gibi, geliştirilen MLP modelin eğitim verilerinin MAPE değeri daima % 0.06 ’dan aşağıda olmuştur. Bu durum modelin eğitim verilerini % 99,94 doğrulukta tahmin ettiğini göstermektedir.



Şekil 8.9. Ağın eğitim performansı

Çizelge 8.4. Eğitim verilerinde aşınma değerlerinin tahmin sonuçları

Percentage B ₄ C %	Mesh	Load (N)	Weight loss (mg)	Weight loss - ANN	MAPE %	RMSE %
0	1200	10	19,9	19,9001	0,0005	0,000000
0	1200	30	35,8	35,8001	0,00028	0,000000
5	1200	10	19,8	19,7998	0,00101	0,000000
5	1200	30	36,1	36,0999	0,000277	0,000000
10	1200	10	13,6	13,6082	0,06029	0,000067
10	1200	20	22,7	22,7	0	0,000000
10	1200	30	30,1	30,1001	0,00033	0,000000
15	1200	10	15,3	15,2998	0,001307	0,000000
15	1200	20	22,3	22,3	0	0,000000
20	1200	10	16,6	16,6001	0,0006	0,000000
20	1200	30	31,2	31,2	0	0,000000
0	800	10	38,6	38,6	0	0,000000
0	800	20	58,2	58,2	0	0,000000
0	800	30	70,1	70,1	0	0,000000
5	800	20	56,7	56,7	0	0,000000
5	800	30	70	70	0	0,000000
10	800	10	26,5	26,5001	0,00038	0,000000
10	800	20	38,7	38,7	0	0,000000
15	800	10	28,4	28,3999	0,000352	0,000000
15	800	20	32,2	32,2	0	0,000000
15	800	30	42,5	42,5	0	0,000000
20	800	10	33,8	33,8	0	0,000000
20	800	30	46,2	46,2	0	0,000000
0	500	10	60,8	60,8	0	0,000000
0	500	20	91,8	91,8	0	0,000000
0	500	30	120,5	120,5	0	0,000000
5	500	10	62	62	0	0,000000
5	500	20	96,3	96,3	0	0,000000
5	500	30	121,6	121,6	0	0,000000

Çizelge 8.4. (devam) Eğitim verilerinde aşınma değerlerinin tahmin sonuçları

10	500	20	104,1	104,1	0	0,000000
10	500	30	131,5	131,5	0	0,000000
15	500	10	75,8	75,8	0	0,000000
15	500	30	135,5	135,4895	0,007749	0,000110
20	500	10	89,3	89,3	0	0,000000
20	500	20	126,1	126,1	0	0,000000
0	1200	20	29,6	29,6	0	0,000000
Ortalama MAPE % (eğitim)					0,0018	0,00222

Test verilerinin aşınma değerlerini tahmin sonuçlarına göre modelin mutlak değişim yüzdesi 0,975 olarak gerçekleşmiştir. Tablo 4, dokuz test verisi için ayrıntılı tahmin sonuçlarını göstermektedir. Buradan da görülebileceği gibi, geliştirilen MLP modelin test verilerinde MAPE değeri % 7,8'den yukarıya sapma göstermemiştir. Test verilerinde ortalama yüzde hata (MAPE) 3,212 olarak gerçekleşmiştir. Yani model, test aşamasında deneysel verileri yaklaşık % 96,788 doğruluk derecesinde tahmin ederek yüksek bir doğruluğa ulaşmıştır. Test verilerinde zımpara boyutu düştükçe ortalama hatanın azaldığı gözlemlenmiştir. Eğitim verilerinde aynı genellemeyi yapmak mümkün olmamıştır. Eğitim verilerinde en düşük ortalama yüzde hata (MAPE) 800 mesh örneklerde elde edilmiştir. Modelin test verilerinde istatistiksel hata ortalaması (RMSE) % 3,4 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 8.5. Test verilerinde aşınma değerlerinin tahmin sonuçları

B ₄ C %	Mesh	Yük (N)	Deneysel Sonuçlar (mg)	YSA Sonuçları	MAPE %	RMSE %
5	1200	20	29,8	30,1602	1,208724832	0,129744
15	1200	30	30,8	30,7474	0,170779221	0,002767
20	1200	20	20,5	21,6888	5,79902439	1,413245
5	800	10	34,6	33,7879	2,347109827	0,659506
10	800	30	42,6	40,6326	4,618309859	3,870663

Çizelge 8.5. (devam) Test verilerinde aşınma değerlerinin tahmin sonuçları

20	800	20	35	34,2037	2,275142857	0,634094
10	500	10	65,7	66,5423	1,282039574	0,709469
15	500	20	110,7	119,3601	7,82303523	74,997332
20	500	30	150,6	145,4927	3,391301461	26,084513
Ortalama MAPE % (Test)					3,2128	3,472

8.5. ANOVA Analizi

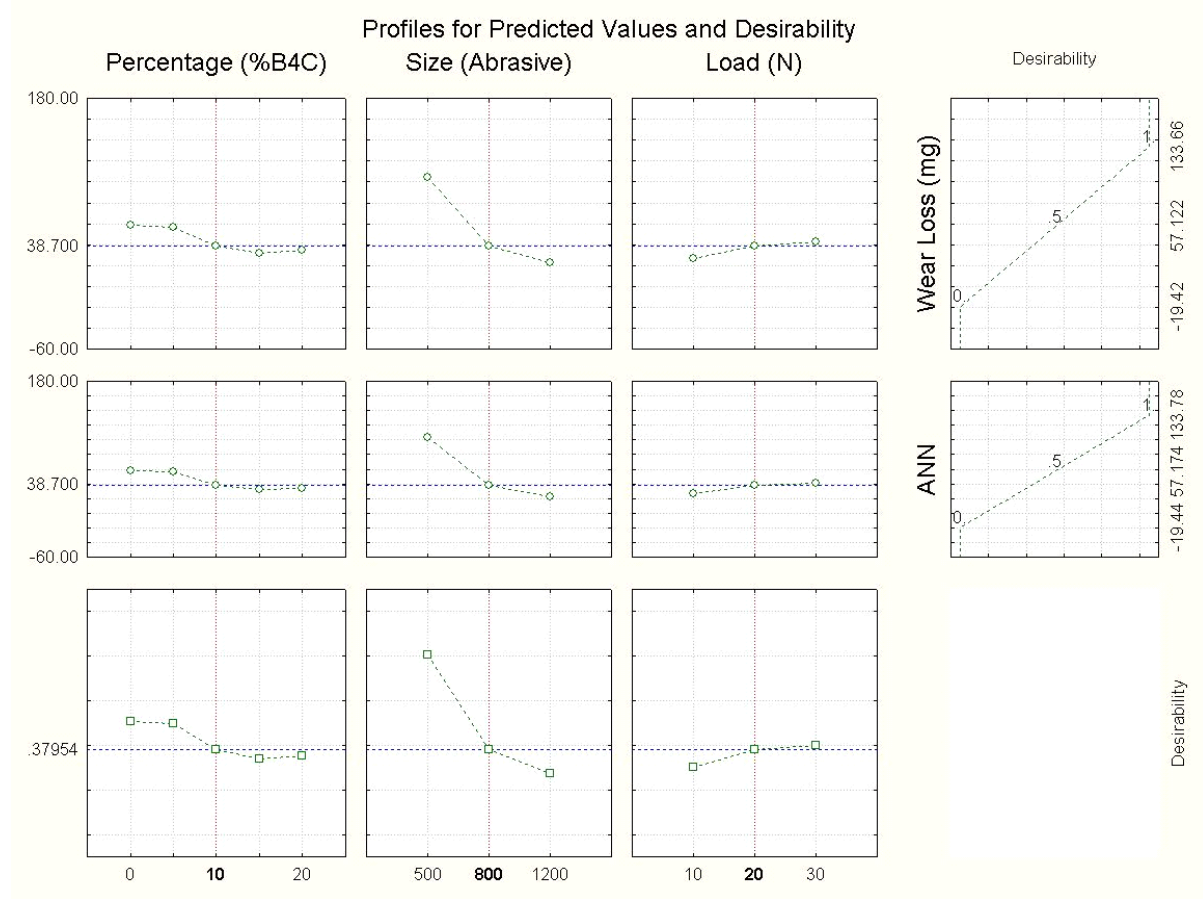
Çalışmada, ayrıca girdi parametrelerinin çıkış parametresi üzerindeki etkisini belirlemek için çoklu ANOVA (Varyans) analizi kullanılmıştır. ANOVA kısaltması, İngilizce ANalysis Of VAriance sözcüklerinden oluşturulmuştur. ANOVA analizi, bağımsız değişkenlerin kendi aralarında nasıl etkileşime girdiklerini ve bu etkileşimlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir istatistiksel analiz yöntemidir.

ANOVA analizi tek veya çok faktörlü olarak yapılabilir. Tek faktörlü varyans analizi, ilgilenilen bir faktör için varyans analizinin (ANOVA) özel bir örneğidir ve iki örneklemlili t-testinin genelleştirilmesini kapsar. İki örneklemlili t-testi, bir faktörün iki grubunun (düzeyleri) aynı ortalamaya sahip olup olmadığına karar vermek için kullanılır.

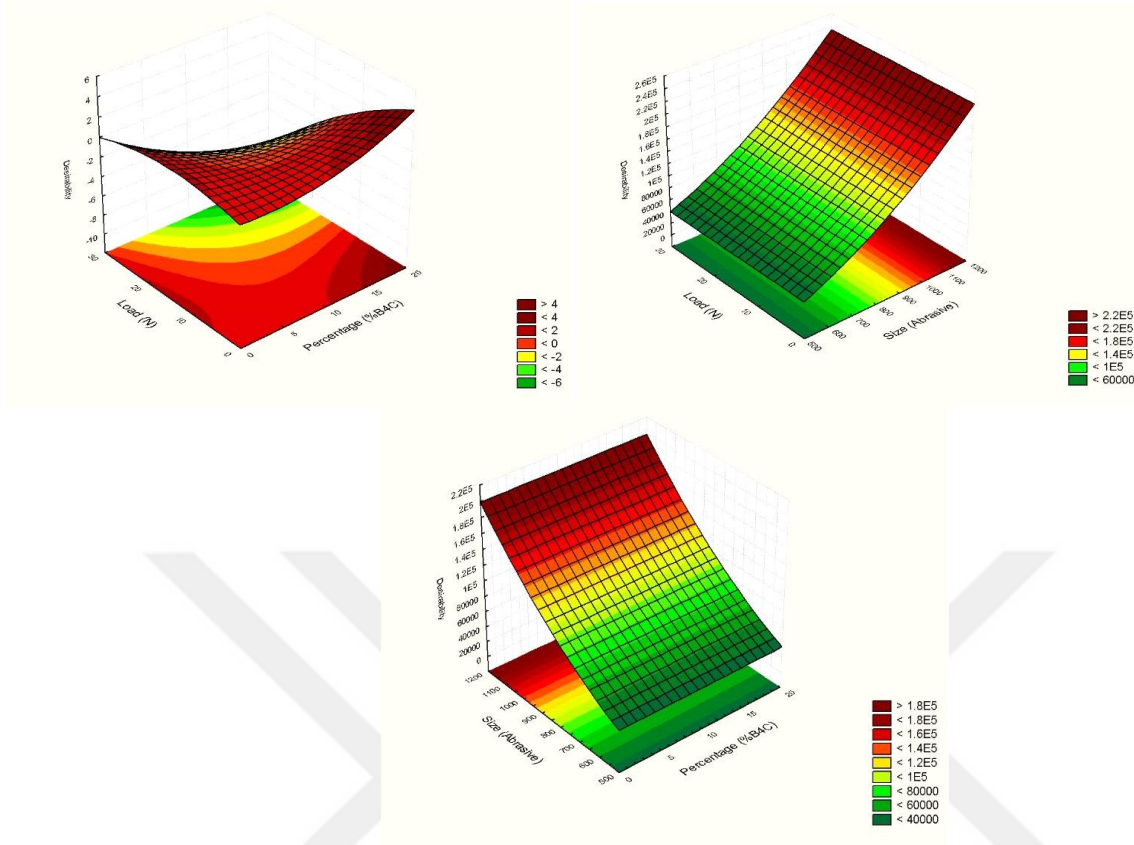
Çoklu ANOVA analizinde ise iki ya da daha fazla bağımlı değişken ve bir veya daha fazla bağımsız değişken bulunur. Her faktör belli sayıda değer alabilir. Bunlara bir faktörün seviyeleri denir. Seviyelerin sayısı faktörlerden farklılık gösterebilir. Tasarlanan deneyler için, belirli bir faktör için seviyelerin sayısı küçük olma eğilimindedir. Birden fazla bağımlı değişkenin aynı anda gözlemlenmesi gerektiği durumlarda kullanılır. Burada amaç bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimleri incelemektir.

Çalışmada ANOVA analizi STATİSTİCA yazılımı kullanılarak yapılmıştır. STATİSTİCA yazılımıyla yapılan ANOVA analizi sonucunda R^2 değeri 0,79329652, adjusted (ayarlanmış)

R^2 değeri 0,77817188, $f = 51,45059$, df ve $P = 0,000$ çıkmıştır. Bu sonuçlar incelendiğinde verileri yorumlayabilecek bir katkı elde edilemediği görülmüştür (Şekil 8.10 ve 8.11).



Şekil 8.10 Anova analiz sonuçları



Şekil 8.11. Anova analiz sonuçları

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Al matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozit malzemede B₄C partiküllerinin matris yapı içerisindeki durumu incelenmiş ve sertlik değerleri ölçülmüştür. Ayrıca, aşınma davranışı karakterize edilen malzemenin aşınma değerlerini tahmine yönelik YSA tabanlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. İleri beslemeli geriye yayımlı Levenbergt Marquert algoritması kullanan YSA model, üç giriş ve bir çıkışa sahiptir. Çalışmada girdi parametrelerinin çıkış parametresi üzerindeki etkisini belirlemek için çoklu ANOVA analizi kullanılmıştır.

Çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Numunelerin sinterleme işlemi sonrasında yapılan mikroyapı incelemelerinde, B₄C partiküllerinin matris içerisinde homojen dağıldığı görülmüştür. Ayrıca, partikül oranının artmasıyla homojen dağılım sağlandığı görülmüştür.
- Aşınma davranışını karakterizasyonu sonunda partikül ilavesinin aşınma dayanımını artırdığı görülmüştür. Ayrıca, aşınma deneyleri esnasında kullanılan aşındırıcı yükün artması ağırlık kayıp oranını arttırmıştır.
- Deneysel yöntemler ile karşılaştırıldığında, YSA ile daha hızlı bir şekilde tahminlerde bulunmak mümkün olmuştur. Bu çalışma ile deneysel süreçlerde zaman ve maliyet kaybına neden olan klasik yöntemlere gerek kalmadan YSA ile aşınma değerlerinin tahmin edilebileceği görülmüştür.
- Buna göre eğitilen deneysel verilerin mutlak değişim yüzdesinin (R^2) 0,9978 olduğu görülmüştür. Yani model, deneysel verileri % 99,78 doğrulukta eğitmiştir. Ağın performansının gözlemlenmesi için önemli bir veri olan istatistiksel hata miktarının (RMS) eğitim için 0,022, ortalama yüzde hatanın ise (MAPE) 0,0018 olduğu görülmüştür.
- Test verilerinin performansı test edildiğinde mutlak değişim yüzdesi'nin 0,975, istatistiksel hata miktarı (RMS)'nin 3,472 ve ortalama yüzde hatanın 3,2128 olduğu gözlemlenmiştir. Lewis'e göre eğitim aşamasında MAPE değerinin <0.1 olması, çalışmanın yüksek doğrulukla tahmin edildiğini göstermektedir, bu çalışmada eğitim aşamasında MAPE değeri %0,01; test aşamasında ise %3,2128 çıkmıştır. Bu ise modelin % 96,788 doğrulukta tahmin edebildiğini göstermektedir.

Böylece hem eğitim verisi hem de test verisinde Lewis'in doğruluk değeri tutturulmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bilgiler doğrultusunda aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- B_4C partikül boyutları değiştirilerek aşınma testleri yapılabilir.
- Al_2O_3 , SiC ve TiB_2 gibi farklı partiküller kullanılarak aşınma testleri ve mekanik özellikler karakterize edilebilir
- Bu çalışmada ticari saflıktaki Al tozları kullanılmıştır. Al5000, Al6000 ve Al7000 serileri kullanılarak farklı çalışmalar yapılabilir.
- Bu çalışmada SiC abrasiv aşındırıcı kullanılarak aşınma deneyleri yapılmıştır. Abrasiv aşındırıcı özellikleri değiştirilerek çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdelbary, A., Abouelwafa, M.N., El Fahham, I.M., Hamdy, A.H. (2012). Modeling the wear of Polyamide 66 using artificial neural network. *Materials & Design*, 41, 460-469.
- Abouelmagd, G. (2004). Hot deformation and wear resistance of P/M aluminium metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 155(156), 1395–1401.
- Ahamed, A.R., Asokan, P., Aravindan, S. (2009). EDM of hybrid Al-SiCp-B4Cp and Al-SiCp-Glassp MMCs. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 44(5-6), 520-528.
- Akbulut, H. (1995). *Alümina fiber takviyeli Al-Si metal matriksli kompozit üretimi ve mikroyapı özellik ilişkilerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akbulut, H., Durman, M. (1995). *SiC partikül takviyeli Al-Si metal matrisli kompozitlerin santrifüj dökümü*. 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 687-692.
- Akgün, S., Şahin, S. (2006). *Influence of age Hardening on Mechanical Properties at SiC/AA7075 Composites Produced by P/M*. Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli, Turkey.
- Akın, G. (2006). *Toz Metalurjisi Yöntemiyle Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozitlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkurt, M. (2000). *Makina Elemanları* (Cilt: 1 – 2), İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Akoral, E., Türker, M., Özçatalbas, Y. (2002). *Al Matrisli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi*, 3.Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Aktaş, H. (2007). *Alüminyum Matrisli Al₂O₃ Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altınkok, N., Koker, R. (2005). Use of artificial neural network for prediction of physical properties and tensile strengths in particle reinforced aluminum matrix composites. *Journal of Materials Science*, 40, 1767 – 1770.
- Altınkök, N., Demir, A., Özsert, I., Fındık, F., Soy, U. (2006). *The Investigation of Mechanical Behaviour and Produced Al₂O₃/SiCp Reinforced Al Metal Matrix Composites*. Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli, Turkey.

- Altun, H., Şen, S. (2006). *PVD Tekniğiyle Yapılan Kaplamaların Magnezyum Alaşımlarının Yapısal, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkisi*, 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, Denizli.
- Askeland, D.R. (2004). *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*, (Çev. Erdoğan M.). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Aşkın, D., İskender, İ., Mamizadeh, A. (2011). Dry type transformer winding thermal analysis using different neural network methods. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 4, 905-913.
- Atik, E., Ünlü, S.B., Şen, O., Çavdar, U. (2006). Partikül Takviyeli AlSi12CuNiMg Kompozitinin Aşınma Dayanımı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 75-87.
- Baradeswaran, A., Elaya Perumal, A. (2013). Influence of B4C on the tribological and mechanical properties of Al 7075–B4C composites. *Composites: Part B*(54), 146–152.
- Bedir, F., Varol, R. (2006). *Production of Al-Cu/TiC Composites and Their Wear Characteristics*. Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli, Turkey.
- Bonollo, F., Urban, J., Bonatto, B., Botter, M. (2005). Gravity and low pressure die casting of aluminium alloys: a technical and economical benchmark, *La Metallurgia Italiana*, 97(6), 23-32.
- Buytoz, S., Eren, H. (2007). A209 Al Metal Matris Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Performansına Takviye Elemanlarının Etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 19 (2), 209-216.
- Cambronero, L.E.G., Sánchez, E., Ruiz-Roman, J.M. ve Ruiz-Prieto, J.M. (2003). Mechanical characterisation of AA7015 aluminium alloy reinforced with ceramics, *Journal of Materials Processing Technology*, 143(144), 378–383.
- Chawla, K.K. (1998). *Composite Materials-Science and Engineering*(Second Edition). New York :Springer, 293-295.
- Chawla, N., Chawla, K.K. (2006). *Metal Matrix Composites* (First Edition). New York: Springer, 129.
- Chiou, Y.C., Kato, K., and Kayaba, T. (1985). Effect of normal stiffness in loading system on wear of carbon steel — part 1: severe-mild wear transition, *American society of Mechanical Engineers J. Tribology* , 491-495.

- Chuangdong Wua, B., Kaka, M., Jialu, W., Pan, F., Guoqiang, L., Fei, C., Qiang, S., Lianmeng, Z., Julie M. S., Enrique J. L. (2016). Influence of particle size and spatial distribution of B₄C reinforcement on the microstructure and mechanical behavior of precipitation strengthened Al alloy matrix composites. *Materials Science and Engineering A*, 675, 421–430.
- Chung, D. D. L. (2003). *Composite Materials: Functional Materials for Modern Technologies*. London: Springer-Verlag, 95.
- Clyne, T. W. (2001). *Metal matrix composites: Science and Applications*. Cambridge: Elsevier, 15-54.
- Clyne, T. W., Withers, P. J. (1993). *An Introduction to Metal Matrix Composites*. Cambridge: University Press, 153.
- Composite materials handbook. (2002). *Polymer matrix composites materials usage, design, and analysis*. United States of America: Department of Defense , 12.
- Cöcen, Ü., Önel, K. (1996). Metal Matrisli Kompozitler: Özellikleri ve Uygulamaları. *Metalurji Dergisi*, 20 (104), 18-31.
- Çalgül, U., Açık, M. (2015). Interface characterization of friction welded low carbon steel and copper alloys. *Materials Testing*, 57(1), 29-36.
- Çiftçi, İ. (2003). *Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Daniel B. M., Donaldson, L. (2001). Composites. *American Society of Mechanical Engineers Handbook Abstracts*.
- Dieringa, H. ve Kainer, K.U. (2006). *Metal Matrix Composites: Particles, Fibers and Short Fibers for the Reinforcement of Metal Material*. Weinheim: WILEY-VCH
- Durmuş, H.K., Meriç, C. (2005). Makine mühendisliğinde yapay sinir ağlarının (YSA) kullanımı. *Mühendis ve Makine*, 46 (546), 47-56.
- EISS, N.S., Wood, K.C., Herold, J.A., Smyth, K.A. Model for the Transfer of Polymer to Rough, Hard Surfaces, *Transactions ASME, Journal of Lubrication Technology*, (101)1979, 212-219.
- Ekşi, A.K., Bircan, D.A. (2006). *Mechanical Properties of Cold and Warm Compacted Aluminum Alloys (Al7XXX)*. Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli, Turkey.
- Elmas, Ç. (2016). *Yapay Zeka Uygulamaları: Yapay Sinir Ağı – Bulanık Mantık – Sinirsel Bulanık Mantık – Genetik Algoritma*. (3. Baskı). Ankara: Seçkin yayıncılık.

- Erden, M.A. (2016). Karıştırma Süresinin Toz Metalürjisi İle Üretilen Alaşımsız Çeliklerin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *European Journal of Science and Technology*, 5(9), 62-65.
- Evans, R.D., Phaneuf, M.W., Boyd, J.D. (1999). Imaging damage evolution in a small particle metal matrix composite. *Journal of Microscopy*, 196(2), 146–154.
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms And Applications*. India: Prentice Hall.
- Fındık, T., Taşdemir, Ş., Şahin, İ. (2010). Artificial neural network for prediction of grain size of 17-4 pH stainless steel powders. *Scientific Research and Essays*, 5(11), 1274-1283.
- Genel, K., Kurnaz, S.C., Durman, M. (2003). Modeling of tribological properties of alumina fiber reinforced zinc-aluminium composites using artificial neural network. *Material Science Engineers A*, 363, 203-210.
- German, R. M. (1994). *Powder Metallurgy Science* (Second edition). United States of America: Metal Powder Industries Federation.
- Groover, M. P. (2016). *Modern imalatın prensipleri*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Gülüzade, R. (2011). *Alüminyum ve çelik testere talaşlarından sinterleme ile üretilen metal matriks kompozitlerin mekanik özellikleri ve kırılma davranışları*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Halling, J. (1975). *Principles of Tribology*. London: MacMillan Press.
- Hanief, M., Wani, M.F. (2015). Modeling and prediction of surface roughness for running-in wear using Gauss-Newton algorithm and ANN. *Applied Surface Science*, 357, 1573–1577.
- Harrigan, W.C. (1998). Commercial Processing of Metal Matrix Composites, *Materials Science and Engineering*, 244, 75-79.
- Haykin, S.S. (1994). *Neural Network: A Comprehensive Foundation*. India: Pearson edition.
- Hebb, D. (1949). *The Organization of Behavior*. New York: Wiley.
- Hiçyılmaz, N., Aydın, S., Sarıtaş, S. (1999). *Toz Metalürjisi İle Üretilmiş Alüminyum Esaslı Tanecikli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri*. 2. Uluslararası Katılımlı Toz Metalürjisi Konferansı, ODTÜ, Ankara.
- Hua, J., Li, D.Y., Llewellyn, R. (2005). Computational investigation of microstructural effects on abrasive wear of composite materials. *Wear*, 6–17.
- Ibrahim, M.F., Ammar, H.R., Samuel, A.M., Soliman, M.S., Almajid, A., Samuel, F.H. (2014). Mechanical properties and fracture of Al- 15 vol% B4C based metal matrix composites, *International Journal of Cast Metal Research*, 27(1), 7-14.

Ipek, R. (2005). Adhesive wear behaviour of B₄C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/B₄C–Al/SiC). *Journal of Materials Processing Technology*, 162–163, 71–75.

İnternet: Akdoğan, A, Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yildiz.edu.tr%2F%7Eakdogan%2Flessons%2Fimalattakompozit%2FMMK_son&date=2017-01-26, Son Erişim tarihi: 26-01-2017.

İnternet: Beffort, O. (2002). Metal Matrix Composites : Properties, Applications and Machining, EMPA Swiss Federal Laboratories for Materials Research. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.empathun+ch%2Fmmc%2Fgeneralintandmachining.pdf&date=2016-03-17>, Son Erişim Tarihi: 17.03.2016.

İnternet: Eker, A.K., Metal matrisli kompozit malzemeler ve üretim yöntemleri. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yildiz.edu.tr%2F~akdogan%2Flessons%2Fimalattakompozit%2FMMK_son&date=2016-12-14, Son Erişim Tarihi: 14.12.2016.

İnternet: Köksal, S. Kompozit Malzemeler. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fsinankoksal.cbu.edu.tr%2Fdosyalar%2Fkonu_ekleri%2Fkompozit-malzemeler-72.pdf&date=2017-01-26. Son Erişim Tarihi: 26.01.2017.

İnternet: Li, C. X. Wear and Wear Mechanism. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Femrkt.unimiskolc.hu%2Fprojekte%2Fadveng%2Fhome%2Fkurzus%2Fkorsz_ananyagtech%2F1_konzult%09acio_emei%2Fwear_and_wear_mechanism.htm&date=2017-02-18, Son Erişim Tarihi: 18.02.2017.

İnternet: Kompozit Malzemeler ve Özellikleri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhttp%3A%2F%2Fwww.putech-composites.com%2FHaber%2FKompozit-Malzemeler-ve-Ozellikleri.html&date=2017-03-02>, Son Erişim Tarihi: 02.03.2017.

İnternet: Sinan Köksal. Kompozit Malzemeler. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fsinankoksal.cbu.edu.tr%2Fdosyalar%2Fkonu_ekleri%2Fkompozit-malzemeler-72.pdf&date=2017-01-26 Son erişim tarihi: 26-01-2017.

İnternet: Ünal, R. Toz Üretim Teknikleri. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Frahmiunal.net%2Ftoz%2Ftozuretimi%2Fpow_der_product.html&date=2015-03-18, Son Erişim Tarihi: 18.03.2015.

İnternet: Varyans Analizi. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.istatistikanaliz.com%2Fvaryans_analizi.asp&date=2017-04-24, Son Erişim Tarihi: 24.04.2017.

- İnternet: Hristev, R. M. Simple neuron and networks. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fneuron.tuke.sk%2Fhudecm%2FPDF_PAPERS%2FHritsev_The_ANN_Book.pdf&date=2017-06-12, Son Erişim Tarihi:12.06.2017.
- İnternet: The production of metal powders. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.worrlldcat.org%2Ftitle%2Fatomization-the-production-of-metalpowders%2Foclc%2F924903807%3Fpreferer%3Ddi%26ht%3Deditio&date=2016-11-14>, Son Erişim Tarihi: 14.11.2016.
- İnternet: Aran, A. (1997) Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Alanında Yeni Gelişmeler. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.itu.edu.tr%2F~arana%2FIML212-N9.pdf&date=2017-04-10>, Son Erişim Tarihi: 10.04.2017.
- James, W. B. (2015). *Metallurgy Methods and Applications* (Editors: Samal, P. and Newkirk, J), U.S.A:Hoeganaes Corporation.
- JE Allison, LC Davis, JW Jones. (1995). *Metal matrix composites by design*, UK: Woodhead Publishing Limited.
- Jiang, J., Collado, C., Keeley, D., Dodd B. (1995). Room Temperature Formability of Particle Reinforced Metal Matrix Composites: forging, extrusion and deep drawing. *Composites*, 26(11), 785-789.
- Jiang, Z., Zhang, Z., Friedrich, K. (2007). Prediction on wear properties of polymer composites with artificial neural networks. *Composites Science and Technology*, 67, 168–176.
- Jokhio, M.H., Panhwar, I.M., Unar, M.A. (2011). Modeling Mechanical Properties of Aluminum Composite Produced Using Stir Casting Method. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 30 (1), 75-88.
- Jun, D., Liu, Y.H., Yu, S.R., Li, W.F. (2004). Dry sliding friction and wear properties of Al₂O₃ and carbon short fibres reinforced Al-12Si alloy hybrid composites. *Wear*, 257, 930-940.
- Kaczmar, J.W., Pietrzak, K., Wlosinski, W. (2000). The Production and Application of Metal Matrix Composite Materials. *Journal of Materials Processing Technology*, 106, 58-67.
- Kaczmar, J.W., Pietrzak, K., Wlosinski, W. (2000). The Production and Application of Metal Matrix Composite Materials. *Journal of Materials Processing Technology*, 106, 58-67.
- Kainer, K. U. (2006). *Metallische verbundwerkstoffe* (ed. K. U. Kainer). Weinheim: Wiley-VCH. 5-6.
- Kalaiselvan, K., Murugan, N., Siva, P.V. (2011). Production and characterization of AA6061–B₄C stir cast composite. *Materials and Design*, 32, 4004–4009.

- Kalemtaş, A. (2014). Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış, *Putech & Composites Magazine*, 17-30.
- Karabulut, H. (2010). *T/M yöntemiyle üretilen Al₂O₃, B₄C, SiC takviyeli Al matrisli kompozit üretiminde mekanik alaşımlama süresinin kompozit özelliklerine etkisi*, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karakaş, M. S., Acır, A., Ubeyli, M., Ogel, B. (2006). Effect of cutting speed on tool performance in milling of B₄C_p reinforced aluminum metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 3(2), 241–246.
- Karataş, Ç., Sozen, A., Dulek, E.(2009).Modelling of residual stresses in the shot peened material C-1020 by artificial neural network. *Expert Systems with Applications*. 36 (2), 3514–3521.
- Kato, K., Koshi, A. (2001). *Modern Tribology Handbook*(Ed. Bharat Bhushan). USA: CRC Press LLC.
- Kennedy, A.R., Brampton, B. (2001). The Reactive Wetting and Incorporation of B₄C Particles into Molten Aluminium. *Scripta Material*, (44), 1077-1082.
- Kennedy, A.R., Wyatt, S.M. (2000). The effect of processing on the mechanical properties and interfacial strength of aluminium/TiC MMCs, *Composites Science and Technology*, 307-314.
- Kennedy, A.R., Wyatt, S.M. (2001). Characterising particle–matrix interfacial bonding in particulate Al–TiC MMCs produced by different methods. *Composites A*, 32, 555–559.
- Khairaldien, W.M., Khalil, A.A., Bayoumi, M.R. (2007). Production of aluminum-silicon carbide composites using powder metallurgy at sintering temperatures above the aluminum melting point. *Journal of Testing and Evaluation*, 35(6), 111-125.
- Kumdalı, F. (2008). *Alüminyum Matrisli B₄c Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lee, B.S., Kang, S. (2001). Low-Temperature Processing of B₄C-Al Composites Via Infiltration Technique. *Materials Chemistry and Physics*, 67(1-3), 249-255.
- Macurova, A. (2010). The roughness surface expressed by the mathematical model. *Applied Surface Science*, 18(256), 5656–5658.
- Matik, U. (2010). *Akımsız Nikel kaplamalarda ısı işlemin sertlik ve aşınma özelliklerine etkisi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Mazumdar, S.K. (2002). *Composites manufacturing: Materials, product and process engineering*. USA: CRC Press LLC.

- McCulloch, S.M., Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115-133.
- Midling, O.T., Grong, O. (1995). Processing and Properties of Particle Reinforced Al-SiC MMCs. *Key Engineering Materials*, 104(107), 329-354.
- Mindivan, H., Baydogan, M., Kayalı, E.S., Cimenoglu, H. (2005). Wear Behaviour of 7039 Aluminum Alloy. *Materials Characterization*, 3(54), 263–269.
- Mindivan, H. (2007). *Silisyum Karbur Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Minsky, M., Papert, S. (1969). *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*. USA: MIT Press.
- Mitra, A., Majumdar, A., Majumdar, P.K., Bannerjee, D. (2013,october). Predicting thermal resistance of cotton fabrics by artificial neural network model, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 172-177.
- Monaghan, J., O'reilly, P. (1992). The drilling of an Al/SiC metal-matrix composite. *Journal of Materials Processing Technology*, 4(33), 469–480.
- Mondal, D.P., Das, S., Jha, A.K., Yegneswaran, A.H. (1998). Abrasive wear of Al alloy–Al₂O₃ particle composite: a study on the combined effect of load and size of abrasive, *Wear*, 223(1-2), 131–138.
- Möller, H., Govender, G., Stumpf, W.E. (2010). Application of shortened heat treatment cycles on A356 automotive brake calipers with respective globular and dendritic microstructures. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 9(20), 1780-1785.
- Orhan, A., Gür, A.K., Çalgülü, U. (2007). Al Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretimi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2007(4), 8-13.
- Öztemel, E. (2003). *Yapay Sinir Ağları*, İstanbul: Papatya Yayıncılık, 29-52.
- Öztemel, E., Düğenci, M. (2016). *Atıksu arıtma tesis kontrolde yapay sinir ağı ile kirlilik parametre tahmini*. 3rd International Symposium on Environment and Morality, İstanbul.
- Özkan, M.T., Eldem, C., Sahin, I. (2004). Determination of the notch factor for shafts under torsional stress with artificial neural networks. *Materials and technology*, 48(1), 81-90.
- Palavar, O., Ozyurek, D., Kalyon, A. (2015). Artificial neural network prediction of aging effects on the wear behavior of IN706 superalloy. *Materials & Design*, (82), 164–172.

- Pandey, A.B. (1992). *Composites* (Ed. Miracle, D.B. ve Donaldson, L.S.), Ohio: ASM International, 396–402.
- Poudens, A., Bacroix, B., Bretheau, T. (1995). Influence of Microstructures and Particle Concentrations on the Development of Extrusion Textures in Metal Matrix Composites. *Materials Science and Engineering A*, 196(1-2), 219-228.
- Pradeep, V.P., Virupaxi, A., Rajesh G. L., Vijaykumar, Hiremath. (2015). Investigation on Mechanical Properties of B4C Particulate Reinforced Al6061 Metal Matrix Composites. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(71), 494-497.
- Premkumar, M. K., Hunt, W. H., Sawtell, R.R. (1992). Aluminum composite materials for multichip modules. *Journal of Materials*, 44(7), 24-28.
- Ramesh, C.S., Anwar Khan, A.R., Rvikummar, N. and Savanprabhu, P. (2005). Prediction of wear coefficient of Al6061-TiO₂ composites. *Wear*, 259(1-6), 602-608.
- Rashed, F. S., Mahmoudb, T.S. (2009). Prediction of wear behaviour of A356/SiCp MMCs using neural networks. *Tribology International*, 42(5), 642-648.
- Ray, Y., Kannikeswaran K. (1989). Interfacial Reaction Kinetics of Al/SiC Composite During Casting, Interfaces in Metal-Ceramic Composites. *The Minerals, Metals & Materials Society*, 153-164.
- Rochester, N., Holland, J.H., Habit, L.H., Duda, W.L. (1956). Tests on a cell assembly theory of the action of the brain, using a large digital computer. *IRE Transactions on Information Theory*. 2(3), 80–93.
- Rooy, E.L. (1990). *Aluminum and aluminum alloys* (9th edition). Ohio: ASM International, 3–14.
- Rosenblatt, F. (1958). The Perceptron: A Probabilistic Model For Information Storage And Organization In The Brain. *Psychological Review*, 65(6), 386–408.
- Rumelhart, D., Hinton, G., Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propogating errors, *Nature*, 323, 533-536.
- Rumelhart, D.E., James, M. (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. Cambridge: MIT Press.
- Sahin, Y., Ozdin, K. (2008). A model for the abrasive wear behaviour of aluminium based composites. *Materials and Design*, 29, 728-733.
- Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N. (2007). *Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri*. Ankara: Türk Toz Metalurjisi Yayınları, 35-37.
- Schmidhuber, J. (2014). Deep learning in neural networks: an overview. *Neural Network*, 61, 85–117.

- Shabania, M. O., Mazahery, A. (2011). Prediction of Wear Properties in A356 matrix composite reinforced with B₄C particulates. *Synthetic Metals*, 161(13-14), 1226-1231.
- Shabania, M.O., Mazahery, A. (2012). Prediction performance of various numerical model training algorithms in solidifications process of A356 matrix composites. *Indian Journal of Engineering & Material Sciences*, 19(2), 129-134.
- Shirvanimoghaddam, K., Khayyam, H., Abdizaeh, H., Akbari, M., Pakseresht, A., Ghasali, A.(2016). Boron carbide reinforced alüminium matrix composite: Physical, mechanical characterization and mathematical modelling. *Materials Science and Engineering A*, 658, 135-149.
- Sinmazcelik, T., Taskiran, I. (2007). Erosive wear behaviour of polyphenylenesulphide (PPS) composites. *Materials in engineering*, 28(9), 2471-2477.
- Smith, W.F. (2001). *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*(Çeviren: Kınikoğlu, N.),İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Sonsino, C.M., Schlieper, G., Huppmann, W.J. (1984). Influence of Homogeneity on The Fatigue Properties of Sintered Steels. *International Journal Powder Metallurgy*, 20(1), 45-50.
- Soundararajan, R., Ramesh, A., Sivasankaran, S., Sathishkumar, A. (2015). Modeling and analysis of mechanical properties of alüminium alloy (A413) processed through squeeze casting route using artificial neural network model and statistical technique.*Advancs in Materials Science and Engineering*, 2015, 1-16.
- Suong D.G., V. Hoa (2003). *CompositeMaterials: Design and Applications* (Second edition). Boca Raton: CRC Press , 120.
- Stachowiak, G. W., Batchelor, A. W. (2005). *Engineering Tribology*. USA: Elsevier, Butterworth-Heinemann, 235-237.
- Stachowiak, G., Batchelor, A. (2006). *Engineering Tribology*, USA: Butterworth-Heinemann.
- Stolarski, T.A., Jisheng, E., Gawne, D.T., Panesar, S., (1995). The effect of load and abrasive particle size on the material removal rate of silicon nitride artefacts. *Ceramics International*, 21(5), 355–366.
- Sahin, I. (2014). Yapay sinir ağları ile al/sic kompozit malzemenin yüzeypürüzlülüğünün tahmini, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(1), 209-216.
- Şahin, İ. (2014). Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Matkap ile Delinmesi Konusunda Yapılan Çalışmaların İncelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 55 (649), 9-16.
- Şahin, Y. (2000). *Kompozit Malzemelere Giriş*, Ankara: Gazi Yayınevi.

- Şahin, Y., Kılıçlı, V., Özer, M., Erdoğan, M. (2010). Comparison of abrasive wear behavior of ductile iron with different dual matrix structures, *Wear*, 268(1-2), 153-165.
- Taha, M.A. (2001). Practicalization of cast metal matrix composites (MMCCs). *Materials and Design*, 22(6), 431-441.
- Taşkesen, A., Kütükde, K. (2013). Analysis and optimization of drilling parameters for tool wear and hole dimensional accuracy in B₄C reinforced Al-alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(9), 2524–2536.
- Tavman, İ.H. (1997). *Kompozit malzemelerin savunma sanayinde kullanımı*. Savunma Sanayindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu, Ankara.
- Taya, M., Arsenault R.J. (1987). A Comparison Between a Shear Lag Type Model and an Eshelby Type Model in Predicting the Mechanical Properties of a Short Fiber Composite. *Scripta Metallurgica*, 21(3), 349-354.
- Thevenot, F. (1990). Boron Carbide-A Comprehensive Review. *Journal of the European Ceramic Society*, 6(4), 205-225.
- Tofigh, A.A., Shabani, O.M. (2013). Optimized processing power and trainability of neural network in numerical modeling of Al matrix nano composites. *Processes*, 15(4), 518-523.
- Topcu, I., Gulsoy, H.O., Kadioglu, N., Gulluoglu, A.N. (2009). Processing and mechanical properties of B₄C reinforced Al matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 482(1-2), 516–521.
- Topçu, İ. (2008). *Determination of mechanical properties of Ceramic reinforced Al matrix composites under dynamic loading conditions*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Toptan, F. (2006). *Alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Torralba, J.M., Costa, C.E., Velasco, F. (2003). P/M Aluminum Matrix Composites: An Overview. *Journal of Materials Processing Technology*, 133(1-2), 203-206.
- Ünlü, S.B., Durmuş, H., Meriç, C. (2007). Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Uygulamaları. *Metalurji-Malzeme Dergisi*, 106-113.
- Vasiliev, V.V., Evgeny, V. (2001). *Mechanics and Analyses of Composite Materials*, Amsterdam: Elsevier,8-11.
- Venkateshi, B., Harish, B. (2015). Mechanical properties of metal matrix composites (Al/SiCp) particles produced by powder metallurgy. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(1), 1277-1286.

- Vettivel, S. C., Baradeswaran, A., Perumal, A. E., Selvakumar, N., Franklin, I. R. (2014). Experimental investigation on mechanical behavior, modelling and optimization of wear parameters of B₄C and graphite reinforced aluminium hybrid composites. *Materials and Design*, 63, 620-632.
- Wallenberger, F.T. (2000). *Advanced Inorganic Fibers*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Wenlong, L., Gengpei, Z., Xiaojun, L., Liping, Z., Liangzhou, C., Xiangqian, J. (2014). Prediction of surface topography at the end of sliding running-in wear based on areal surface parameters. *Tribology Transactions*, 57(3), 553-560.
- Werbos, P.J. (1974). Beyond Regression. Andrew G. Barto(Eds.), *New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Science*. Harvard University, 3-17.
- Ye, J., He, J., Schoenung, J.M. (2006). Cryomilling for the Fabrication of a Particulate B₄C Reinforced Al Nanocomposite: Part I. Effects of Process Conditions on Structure. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 37(10), 3099- 3109.
- Yıldız, T., Gür, A.K. (2006). Aşınma Sistemleri. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, Fırat Üniversitesi, 7(1), 86-91.
- Yılmaz, M. (2013). *Kompozitlerin kuru kaymadaki aşınma davranışlarının deneysel olarak araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yılmaz, O., Buytoz, S. (2001). Abrasive wear of Al₂O₃-reinforced aluminium-based MMCs. *Composites Science and Technology*, 61(16), 2381-2392.
- Younesi, M., Bahrololoom, M.E., Ahmadzadeh, M. (2010). Prediction of wear behaviors of nickel free stainless steel-hydroxyapatite bio-composites using artificial neural network. *Computational Materials Science*, 47(3), 645-654.
- Yurdakul, M., Ozbay, O. ve İç, Y.T. (2002). Havacılık Alanında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Seçimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 17(2), 1-23.
- Yüksel, F. (2014). *Alüminyum Matrisli B₄C Partikül Takviyeli Aşınma Direnci Yüksek Kompozit Malzemelerin Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhang, H., Ramesh, K.T.E., Chin, S.C. (2004). High strain rate response of aluminium 6092/B₄C Composites. *Materials Science and Engineering*, 384(1-2), 26-34.



EKLER

EK-1. Çizelge 8.1. Deneyle süresince meydana gelen ağırlık değişimleri

Numune No	Uygulanan Yük	Zımpara Boyutu	Ağırlık Kaybı (Aşınma)
0	10	1200	19,9
1	10	1200	19,8
2	10	1200	13,6
3	10	1200	15,3
4	10	1200	16,6
0	20	1200	29,6
1	20	1200	29,8
2	20	1200	22,7
3	20	1200	22,3
4	20	1200	20,5
0	30	1200	35,8
1	30	1200	36,1
2	30	1200	30,1
3	30	1200	30,8
4	30	1200	31,2
0	10	800	38,6
1	10	800	34,6
2	10	800	26,5
3	10	800	28,4
4	10	800	33,8
0	20	800	58,2
1	20	800	56,7
2	20	800	38,7
3	20	800	32,2
4	20	800	35
0	30	800	70,1
1	30	800	70
2	30	800	42,6
3	30	800	42,5
4	30	800	46,2
0	10	500	60,8
1	10	500	62
2	10	500	65,7
3	10	500	75,8
4	10	500	89,3
0	20	500	91,8

EK-1. (Devam) Çizelge 8.1. Deneyle süresince meydana gelen ağırlık değişimleri

1	20	500	96,3
2	20	500	104,1
3	20	500	110,7
4	20	500	126,1
0	30	500	120,5
1	30	500	121,6
2	30	500	131,5
3	30	500	135,5
4	30	500	150,6



EK-2. Çizelge 8.4. Eğitim verilerinde aşınma değerlerinin tahmin sonuçları

Percentage B ₄ C %	Mesh	Load (N)	Weightloss (mg)	Weightloss - ANN	MAPE %	RMSE %
0	1200	10	19,9	19,9001	0,0005	0,000000
0	1200	30	35,8	35,8001	0,00028	0,000000
5	1200	10	19,8	19,7998	0,00101	0,000000
5	1200	30	36,1	36,0999	0,000277	0,000000
10	1200	10	13,6	13,6082	0,06029	0,000067
10	1200	20	22,7	22,7	0	0,000000
10	1200	30	30,1	30,1001	0,00033	0,000000
15	1200	10	15,3	15,2998	0,001307	0,000000
15	1200	20	22,3	22,3	0	0,000000
20	1200	10	16,6	16,6001	0,0006	0,000000
20	1200	30	31,2	31,2	0	0,000000
0	800	10	38,6	38,6	0	0,000000
0	800	20	58,2	58,2	0	0,000000
0	800	30	70,1	70,1	0	0,000000
5	800	20	56,7	56,7	0	0,000000
5	800	30	70	70	0	0,000000
10	800	10	26,5	26,5001	0,00038	0,000000
10	800	20	38,7	38,7	0	0,000000
15	800	10	28,4	28,3999	0,000352	0,000000
15	800	20	32,2	32,2	0	0,000000
15	800	30	42,5	42,5	0	0,000000
20	800	10	33,8	33,8	0	0,000000
20	800	30	46,2	46,2	0	0,000000
0	500	10	60,8	60,8	0	0,000000
0	500	20	91,8	91,8	0	0,000000
0	500	30	120,5	120,5	0	0,000000
5	500	10	62	62	0	0,000000
5	500	20	96,3	96,3	0	0,000000
5	500	30	121,6	121,6	0	0,000000
10	500	20	104,1	104,1	0	0,000000
10	500	30	131,5	131,5	0	0,000000
15	500	10	75,8	75,8	0	0,000000
15	500	30	135,5	135,4895	0,007749	0,000110
20	500	10	89,3	89,3	0	0,000000
20	500	20	126,1	126,1	0	0,000000
0	1200	20	29,6	29,6	0	0,000000
Average % (training)					0,0018	0,00222

EK-3. Çizelge 8.5. Test verilerinde aşınma değerlerinin tahmin sonuçları

Percentage B ₄ C %	Mesh	Load (N)	Experimental results (mg)	ANN results	MAPE %	RMSE %
5	1200	20	29,8	30,1602	1,208724832	0,129744
15	1200	30	30,8	30,7474	0,170779221	0,002767
20	1200	20	20,5	21,6888	5,79902439	1,413245
5	800	10	34,6	33,7879	2,347109827	0,659506
10	800	30	42,6	40,6326	4,618309859	3,870663
20	800	20	35	34,2037	2,275142857	0,634094
10	500	10	65,7	66,5423	1,282039574	0,709469
15	500	20	110,7	119,3601	7,82303523	74,997332
20	500	30	150,6	145,4927	3,391301461	26,084513
Average % (testing)					3,2128	3,472

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SÖNMEZ, Aslı
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 07.09.1984 Trabzon
Medeni hali : Evli
Telefon : 05324917185
e-mail : bektas.1984@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Makine Eğitimi	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/Tasarım ve Konst. Öğrt.	2010
Lise	Of Hacı Mehmet Bahattin Ulusoy Anadolu Meslek Lisesi	2002

İş Deneyimi

–

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Sahin, İ., Sonmez, A., Gül, F., Cinici, H. (2017). Modeling of wear behavior of Al/B₄C composites produced by powder metallurgy, *Materials Testing*, 59 (5), 491-496.

Hobiler

Müzik, yüzme



GAZİ GELECEKTİR..