

**YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI İLE SÜRTÜNME  
MALZEMELERİNİN PERFORMANS TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yavuz ŞAVK

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim MUTLU

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAYIS, 2015

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI İLE SÜRTÜNME**  
**MALZEMELERİNİN PERFORMANS TAHMİNİ**

**Yavuz ŞAVK**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. İbrahim MUTLU**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MAYIS, 2015**

## TEZ ONAY SAYFASI

Yavuz ŞAVK tarafından hazırlanan “Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Sürtünme Malzemelerinin Performans Tahmini” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca .../05/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** :Doç. Dr. İbrahim MUTLU

**Başkan** : Doç. Dr. Mustafa AYDIN İmza  
Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. İbrahim MUTLU İmza  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Yüksel OĞUZ İmza  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. İbrahim EROL

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**/ 05 / 2015**

**İmza**  
**Yavuz ŞAVK**

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

**YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI İLE SÜRTÜNME  
MALZEMELERİNİN PERFORMANS TAHMİNİ**

Yavuz ŞAVK  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
**Danışman:** Doç. Dr. İbrahim MUTLU

Bu tezde amaç, fren balatlarının uzun zaman alan sürtünme performanslarını yapay sinir ağları ile modelleyip, minimum hata oranı ile tahmin edebilmek. Tahminler sonucunda bir değerlendirme modeli oluşturmaktır. Böylece, uzun sürede belirlenen sürtünme katsayıları bu yöntemle çok daha kısa sürede ve daha düşük maliyetlerde belirlenmektedir.

İlk aşamada, yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks) ve daha önce testleri gerçekleştirilen fren balata performansları incelendi. Her içerik için deneyi üç kez tekrarlanan 18 adet numuneden elde edilen sürtünme katsayısı verilerinin aritmetik ortalamaları alınarak yapay sinir ağları eğitimi yapıldı. İkinci aşamada, daha önce testleri gerçekleştirilen sürtünme katsayısı verileri esas alınarak 19 adet numune içeriği hazırlanıp, eğitimi yapılan yapay sinir ağı ile sürtünme katsayısı tahmini yapıldı. Son aşamada, sürtünme katsayısı tahmini yapılan numunelerin üretimi yapıp, her numune için testler üç kez tekrarlanarak sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamaları alınıp, tahmindeki sürtünme katsayıları ile arasındaki tutarlılık incelendi.

**2015, xiii + 147 sayfa**

**Anahtar Kelime:** Yapay Sinir Ağları, Sürtünme, Tahmin, Fren, Balata, Karbon Elyaf

## **ABSTRACT**

M.Sc Thesis

### WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK APPROACH ESTIMATE THE FRICTION MATERIALS PERFORMANCE

Yavuz ŞAVK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Mechanical Engineering Department

**Supervisor:** Assocs. Prof. Dr. İbrahim MUTLU

The aim of this thesis is modelling the time-consuming friction performance of brake pads with artificial neural network and estimate them with minimal error rate. With the result of estimation, is to create an assessment model. By this method, the friction parameters which are determined in a long time are determined in much shorter time and at a lower cost.

In the first stage, artificial neural networks (Artificial Neural Networks) and previously tested performance of brake pads were examined. The data of friction parameters that were obtained from 18 samples which are experimented 3 times for each content were put in arithmetic mean and had a training of artificial neural network in the second stage, based on the data of previously tested friction parameters 19 sample content were prepared and friction parameter was estimated with trained artificial neural network. At the final stage, samples of which friction parameters were estimated were produced, for each sample, the tests were repeated 3 times and their friction parameters were put in arithmetic mean, and the consistency between them and estimated friction parameters were examined.

**2015, xiii + 147 page**

**Key Words:** Artificial Neural Networks, Friction, Estimate, Brake, Pads, Carbon Fiber

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőmesinde yapmış olduğu katkı ve yönlendirmeler ile büyük destek veren danışman hocam Sayın Doç. Dr. İbrahim MUTLU'ya bu çalışmanın yürütülmesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Yüksel OğUZ'a ve Yrd. Doç. Dr. İbrahim YAVUZ'a A.K. Teknik Eğitim Fakültesi personel ve araştırma görevlilerine teőekkürü bir borç bilirim. Bu günlere gelmemde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen anneme, babama ve çok kıymetli eőime en içten teőekkürlerimi sunarım.

Yavuz ŞAVK  
AFYONKARAHİSAR, 2015

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLO DİZİNİ.....	xi
RESİM DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	5
2.1 Yapay Sinir Ağları.....	13
2.1.1 Yapay Sinir Ağlarının Tarihi Gelişimi .....	13
2.1.2 İlk girişimler .....	14
2.1.3 Umut verici gelişmeler .....	14
2.1.4 Olumsuz gelişmeler .....	15
2.1.5 Yeniden Canlanma .....	16
2.2 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı .....	16
2.2.1 Biyolojik Sinir Sistemi .....	17
2.2.2 Yapay Sinir Hücresi .....	19
2.3 Yapay Sinir Ağının Ana Elemanları.....	20
2.3.1 Girdi.....	20
2.3.2 Ağırlıklar .....	21
2.3.3 Toplama Fonksiyonu .....	21
2.3.4 Aktivasyon Fonksiyonu .....	23
2.3.5 Çıktı .....	24
2.4 Yapay Ağlarında Öğrenme Ve Sorgulama.....	25
2.4.1 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme .....	25
2.4.2 Yapay Sinir Ağlarında Sorgulama.....	31
2.5 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	32
2.5.1 Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağları .....	32
2.5.1.1 İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları .....	33
2.5.1.2 Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	33
2.5.2 Öğrenme Algoritmalarına Göre Yapay Sinir Ağları .....	34
2.5.2.1 Danışmalı Öğrenme (Supervised Learning).....	34
2.5.2.2 Danışmasız Öğrenme (Unsupervised Learning) .....	35
2.5.2.3 Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning) .....	36
2.5.3 Öğrenme Zamanına Göre Yapay Sinir Ağları .....	36
2.5.3.1 Statik Öğrenme .....	36
2.5.3.2 Dinamik Öğrenme .....	37
2.6 Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları .....	37



2.6.1 Endüstriyel Uygulamalar .....	39
2.6.2 Finansal Uygulamalar .....	39
2.6.3 Askeri Uygulamalar .....	39
2.6.4 Sağlık Uygulamaları .....	40
2.6.5 Diğer Alanlardaki Uygulamalar .....	40
2.7 Balatalar .....	41
2.7.1 Balatalardan İstenilen Özellikler .....	43
2.7.2 Balata Çeşitleri .....	44
2.7.2.1 Metalik Esaslı Fren Balataları .....	45
2.7.2.2 Karbon Esaslı Fren Balataları .....	45
2.7.2.3 Organik Polimer Esaslı Fren Balataları .....	45
2.7.3 Balata Oluşumunda Kullanılan Malzemeler ve Fonksiyonları .....	45
2.7.3.1 Fiberler (takviye malzemeleri) .....	46
2.7.3.2 Asbest .....	46
2.7.3.3 Cam Elyafı .....	47
2.7.3.4 Kevlar (Aramid) .....	47
2.7.3.5 Çelik Elyaf (Çelik Yünü) .....	48
2.7.3.6 Taş Yünü .....	48
2.7.3.7 Basarit .....	48
2.7.3.8 Fiberfrax .....	49
2.7.3.9 Cashew Sürtünme Tozu .....	49
2.7.3.10 Karbon Elyaf .....	49
2.7.4 Bağlayıcı Malzemeler .....	50
2.7.5 Dolgu Malzemeleri .....	51
2.7.5.1 Barit .....	51
2.7.5.2 Alçı .....	52
2.7.5.3 Talk .....	52
2.7.5.4 Kil .....	52
2.7.5.5 Kizelgur (Diatomit) .....	53
2.7.5.6 Mermer Tozu .....	53
2.7.6 Sürtünme Ayarlayıcı Malzemeler .....	53
2.7.6.1 Grafit Tozu .....	54
2.7.6.2 Bronz Tozu .....	54
2.7.6.3 Alüminyum Oksit (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	54
2.7.6.4 Silisyum Oksit (SiO <sub>2</sub> ) .....	54
2.7.7 Temizleyiciler .....	55
2.7.8 Renklendiriciler .....	55
2.7.9 Madeni Dolgu Malzemeleri .....	55
3. MATERYAL VE METOT .....	56
3.1 Yapay Sınır Ağları Eğitimi ve Ağ Model Oluşturma .....	56
3.2 Eğitimi Yapılan Ağ Modeli ve Sürtünme Performansı Tahmini .....	63
3.3 Deney Düzenineğinin Tanıtılması .....	65
3.3.1 Bilgisayar Programı .....	67
3.3.2 Yük Hücresi .....	69
3.3.3 İnvörtör .....	70
3.3.4 Devir Sensörü .....	71
3.3.5 Basınç Sensörü .....	71

3.3.6 Temassız İnfrared Termometre .....	72
3.3.7 Hidrolik Ünite.....	72
3.3.8 Kaliper ve Balata Tutucu Pabuç .....	73
3.3.9 Hassas Terazi .....	73
3.3.10 Sertlik Ölçüm Cihazı .....	74
3.3.11 Toz Karıştırma Cihazı .....	75
3.3.12 Yoğunluk Ölçüm Cihazı.....	76
3.4 Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi.....	77
3.4.1 Toz Karıştırma Süresinin Belirlenmesi .....	77
3.4.2 Üretim Basıncının Belirlenmesi .....	77
3.5 Deney Numunelerinin Üretilmesi.....	77
3.5.1 Komprime (Soğuk Presleme) .....	79
3.5.2 Pişirme (Sıcak Presleme).....	80
3.6 Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması .....	83
3.7 Deney Numuneleri.....	84
3.8 Fren Balataları İçin Belirlenen Deney Şartları .....	85
3.9 Deney Şartları .....	87
3.10 Aşınma Dayanımı, Sertlik ve Yoğunluk Testleri .....	88
4. BULGULAR .....	90
4.1 Zaman Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimi.....	90
1 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	91
1 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	91
2 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	92
2 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	93
3 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	93
3 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	94
4 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	95
4 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	96
5 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	97
5 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	98
6 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	99
6 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	100
7 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	101
7 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	102
8 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	102
8 Nolu Numunenin sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	103
9 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	104
9 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	105
10 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	106
10 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	107
11 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	108
11 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	109
12 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	110
12 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	111
13 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	112
13 Nolu Numunenin sürtünme yüzey karakteristiği.....	113
14 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	114

14 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	115
15 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	116
15 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	117
16 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	118
16 Nolu Numunenin sürtünme yüzey karakteristiği.....	119
17 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	120
17 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	121
18 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	122
18 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	123
19 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi .....	124
19 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği .....	125
4.2 Yoğunluk ve Sertlik Testi Sonuçları .....	125
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	127
5.1 Sonuçlar.....	127
5.2 Öneriler.....	130
6. KAYNAKLAR.....	131
ÖZGEÇMİŞ.....	140
EKLER .....	141
EK 1. Ağın Eğitim Garfikleri .....	142
EK 2. Ağ Yapısı .....	145
EK 3. M-File.....	147

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$\mu$	Sürtünme Katsayısı
A	Balata Alanı (mm <sup>2</sup> )
D	Batıcı Bilye Çapı (mm)
d	Bilye İzi Ortalama Çapı (mm)
D <sub>h</sub>	Numune Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )
F	Deney Yüğü (N)
f <sub>m</sub>	Deneydeki Ortalama Sürtünme Kuvveti (N)
F <sub>s</sub>	Yük Hüçresinden Alınan Kol Kuvveti
G <sub>dh</sub>	48 Saat Su İçerisinde Bekletildikten Sonra Numune Ağırlığı (gr)
G <sub>ds</sub>	48 Saat Su İçerisinde Bekleme Sonrası Numunenin Saf Su Doldurulmuş Kaptaki Ağırlığı (gr)
G <sub>k</sub>	Numune Kuru Ağırlığı (gr)
L	Kuvvet Kolu Mesafesi (m)
m <sub>1</sub>	Deneyden Önce Ölçülen Balata Kütlesi (gr)
m <sub>2</sub>	Deneyden Sonra Ölçülen Balata Kütlesi (gr)
n	Toplam Devir Sayısı (devir)
P	Basınç(kg/mm <sup>2</sup> )
R <sub>d</sub>	Disk Yarıçapı (m)
V	Özgöl Aşınma (mm)
$\rho$	Balata Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )

### Kısaltmalar

---

ANN	Artificial Neural Network
HB	Brinell Sertlik Değeri
NFTOOL	Neural Network Fitting Tool
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
YSA	Yapay Sinir Ağı

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1	Hammadde, imalat parametreleri, ürün, çalışma şartları ve performans arasındaki ilişki.....	3
Şekil 2.1	Biyolojik sinir hücresinin yapısı .....	17
Şekil 2.2	Sinir hücrelerinin bağlantılarının basitleştirilmiş şematik yapısı.....	19
Şekil 2.3	Yapay sinir ağının temel elemanları .....	20
Şekil 2.4	Sigmoid fonksiyonun şekilsel gösterimi .....	23
Şekil 2.5	Yapay sinir ağı modellerinde esas alınan 3 tip fonksiyon .....	27
Şekil 2.6	Girdi katmanı 30 hücreli, saklı katmanı 6 hücreli, çıktı katmanı 8 hücreli yapay bir sinir ağı. ....	32
Şekil 2.7	İleri beslemeli ağ için blok diyagram.....	33
Şekil 2.8	Geri beslemeli ağ için blok diyagram .....	34
Şekil 2.9	Danışmanlı öğrenme yapısı.....	35
Şekil 2.10	Danışmansız öğrenme yapısı. ....	35
Şekil 2.11	Takviyeli öğrenme yapısı.....	36
Şekil 2.12	Yapay sinir ağlarının uygulama alanları .....	37
Şekil 3.1	Fren balatası test cihazının şematik görünüşü (Güney 2013) .....	66
Şekil 3.2	Deney numunelerinin üretim şeması.....	83
Şekil 4.1	1 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.....	91
Şekil 4.2	2 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.....	92
Şekil 4.3	3 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.....	94
Şekil 4.4	4 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.....	96
Şekil 4.5	5 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.....	98
Şekil 4.6	6 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi....	100
Şekil 4.7	7 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi....	101
Şekil 4.8	8 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi....	103

<b>Şekil 4.9</b>	9 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi....	105
<b>Şekil 4.10</b>	10 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	107
<b>Şekil 4.11</b>	11 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	109
<b>Şekil 4.12</b>	12 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	111
<b>Şekil 4.13</b>	13 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	113
<b>Şekil 4.14</b>	14 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	115
<b>Şekil 4.15</b>	15 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	117
<b>Şekil 4.16</b>	16 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	119
<b>Şekil 4.17</b>	17 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	121
<b>Şekil 4.18</b>	18 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	123
<b>Şekil 4.19</b>	19 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi	124
<b>Şekil 5.1</b>	Deneyi gerçekleştirilen numune sürtünme katsayıları ve YSA'da tahmini gerçekleştirilen sürtünme katsayıları .....	129

## TABLO DİZİNİ

Sayfa

<b>Tablo 2.1</b> Değişik toplama fonksiyonları.....	22
<b>Tablo 2.2</b> Aktivasyon fonksiyonu örnekleri .....	24
<b>Tablo 2.3</b> Tipik ıslak ve kuru balata bileşimleri (%w) .....	42
<b>Tablo 2.4</b> TS 555'e göre balataların sınıflandırılması .....	43
<b>Tablo 3.1</b> YSA eğitiminde kullanılan balataların kompozisyondaki oranları (gr) (Şeker 2012).....	58
<b>Tablo 3.2</b> YSA'da hedef (istenilen) olarak kullanılan sürtünme katsayıları (Şeker 2012).....	59
<b>Tablo 3.3</b> YSA'da ve deneysel çalışmalarda kullanılan balataların kompozisyon oranları (gr).....	64
<b>Tablo 3.4</b> Ortak içerik olarak belirlenen katkı maddelerinin kütle oranları .....	78
<b>Tablo 4.1</b> Deney numunelerinin ortalama sürtünme katsayısı, özgül aşınma, yoğunluk ve sertlik değerleri .....	126

## RESİM DİZİNİ

### Sayfa

<b>Resim 3.1</b> Matlab R2010a Comnod Window komut penceresine “nftool” komut yazılışı.....	56
<b>Resim 3.2</b> Neural network fitting tool başlangıç penceresi .....	57
<b>Resim 3.3</b> Select data veri giriş penceresi.....	57
<b>Resim 3.4</b> YSA eğitiminde kullanılacak verilerin % değerlerinin belirlenmesi.....	59
<b>Resim 3.5</b> YSA ağ modeli oluşumu ve arayüz sayısı .....	60
<b>Resim 3.6</b> YSA ağ modeli eğitimi ile başlama .....	61
<b>Resim 3.7</b> YSA ağ model yapı ve eğitimdeki tekrar sayısı.....	61
<b>Resim 3.8</b> Ağı değerlendirme ve istenildiğinde veri girişi yapıp tekrar ağı eğitme .....	62
<b>Resim 3.9</b> Eğitimi hazırlanmış ağ modeli çıkış verileri kayıt edilmesi .....	62
<b>Resim 3.10</b> Eğitimi yapılan ağ modeli.....	63
<b>Resim 3.11</b> Eğitimi yapılan ağ modeli ve Simule edilerek tahmin gerçekleştirilmesi ....	64
<b>Resim 3.12</b> Fren balatası test cihazı.....	65
<b>Resim 3.13</b> Fren balatası test cihazı otomatik kontrol paneli .....	68
<b>Resim 3.14</b> Bilgisayar kontrol paneli grafik göstergesi.....	68
<b>Resim 3.15</b> Fren balatası test cihazı manuel kontrol paneli.....	69
<b>Resim 3.16</b> Yük hücresi.....	70
<b>Resim 3.17</b> Devir ayarlayıcı invertör .....	70
<b>Resim 3.19</b> Basınç ölçme sensörü.....	71
<b>Resim 3.20</b> Temassız İnfrared termometre .....	72
<b>Resim 3.21</b> Kaliper ve balata tutucu pabuç (Güney 2013). .....	73
<b>Resim 3.22</b> Hassas terazi.....	74
<b>Resim 3.23</b> Zwick Roell üniversal sertlik ölçme cihazı.....	75
<b>Resim 3.24</b> Toz karıştırma mikseri .....	75



<b>Resim 3.25</b> Arşimet terazisi .....	76
<b>Resim 3.26</b> Deney numunelerinin üretildiği soğuk presleme kalıbının görünüşü .....	79
<b>Resim 3.27</b> Soğuk pres ile imal edilen balata resimleri .....	80
<b>Resim 3.28</b> Deney numunelerinin üretildiği sıcak presleme kalıbı .....	81
<b>Resim 3.29</b> Sıcak pres ile imal edilen balata resimleri .....	82
<b>Resim 3.30</b> 1” lik balata tutucu piston .....	84
<b>Resim 3.31</b> Karbon elyaf iplik. ....	84
<b>Resim 4.1</b> 1 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	92
<b>Resim 4.2</b> 2 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	93
<b>Resim 4.3</b> 3 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı. ....	95
<b>Resim 4.4</b> 4 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	97
<b>Resim 4.5</b> 5 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapı .....	99
<b>Resim 4.6</b> 6 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	101
<b>Resim 4.7</b> 7 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	102
<b>Resim 4.8</b> 8 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	104
<b>Resim 4.9</b> 9 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	106
<b>Resim 4.10</b> 10 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	108
<b>Resim 4.11</b> 11 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	110
<b>Resim 4.12</b> 12 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	112
<b>Resim 4.13</b> 13 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	114
<b>Resim 4.14</b> 14 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	116
<b>Resim 4.15</b> 15 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	118
<b>Resim 4.16</b> 16 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	120
<b>Resim 4.17</b> 17 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	122
<b>Resim 4.18</b> 18 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	124
<b>Resim 4.19</b> 19 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı .....	125

## 1. GİRİŞ

Otomobil icat edilene kadar sürtünme mekanizmaları ve sürtünme malzemeleri konusunda çok az gelişme olmuştur. İlk otomobillerde deri sürtünme malzemeleri (balatalar) kullanılmış, 1902’de deriden daha iyi özelliklere sahip sürtünme malzemeleri üretilmeye başlanmıştır. Bu ilk balatalar zift veya zift ve kauçuk emdirilmiş pamuk dokumalardan oluşmakta, ağır kullanım şartlarında alev alıp yanmaktaydılar. 1905’de F.C. Stanley ilk defa dokunmuş asbest fren balatasını geliştirmiş, 1906 yılında zift uygun bağlayıcılarla değiştirilmiş ve balatalar uçucu maddelerin uzaklaştırılması için ısı ileme tabi tutulmuştur (Othmer 1966). Reçine bağlı metalik balatalar 1950’lerde ortaya çıkmıştır. 1960’larda birçok metal katkıları içeren semi-metaller geliştirilmiştir (Bijwe 1997).

Frenler; kinetik enerjiyi absorbe ederek taşıtın hareketini kontrol eden, yavaşlatan veya durduran elemanlardır (Çetinkaya 1999). Ayrıca hareketsiz duran taşıtın kendi kendine hareket etmesini ve yokuş aşağı inişlerde arzu edilmeyen ivmeleri engellemeye yarayan elemanlardır (Demirsoy 1991). Bunun için kinetik enerji, disk ve balata arasındaki sürtünme işi tarafından ısıya dönüştürülür. Fren balataları istenen sürtünme kararlılığı, çalışma ömrü, minimum gürültü ve vibrasyonu karşılamak üzere tasarlanmalıdır. Sürtünme kararlılığı fren balatasında sıcak, soğuk, ıslak ve kuru çevre koşulları altındaki ve farklı frenleme hızlarındaki performansını ifade eder. Bu bakımdan güvenliği etkileyen faktörlerin başında gelir. Fren balata malzemeleri çok ince tozlar halindeki metal veya metal dışı malzemelerin karıştırılması istenilen formda preslenmesi ve kontrollü bir atmosfer altında belirlenen süre içerisinde sinterlenmesini kapsayan üretim prosesinden oluşmaktadır (Yavuz 2002). Fren balata üretiminde bu yöntemin tercih edilmesinin temel nedeni, farklı özelliklere sahip karışım malzemelerinin özelliklerini yitirmeden üretiminin gerçekleştirilebilmesidir (Ertan ve Yavuz 2005).

Hareket halindeki bir taşıt kinetik enerjiye sahiptir. Taşıt hızının azaltılabilmesi için sahip olduğu enerjinin başka bir şekle dönüşümü gereklidir. Fren sistemlerinde, taşıtın kinetik enerjisi sürtünme yoluyla ısı enerjisine çevrilir (Ayar 1991).

Fren performansının en önemli göstergesi, frenlemeden sonra sağlanan kısa durma mesafesidir. Bu maksimum yavaşlama ivmesi ile mümkündür. Yüksek frenleme kuvveti, sürtünen yüzeylerin önemli bir kısmını oluşturan balata kalitesi ile ilgilidir (Crouse 1979).

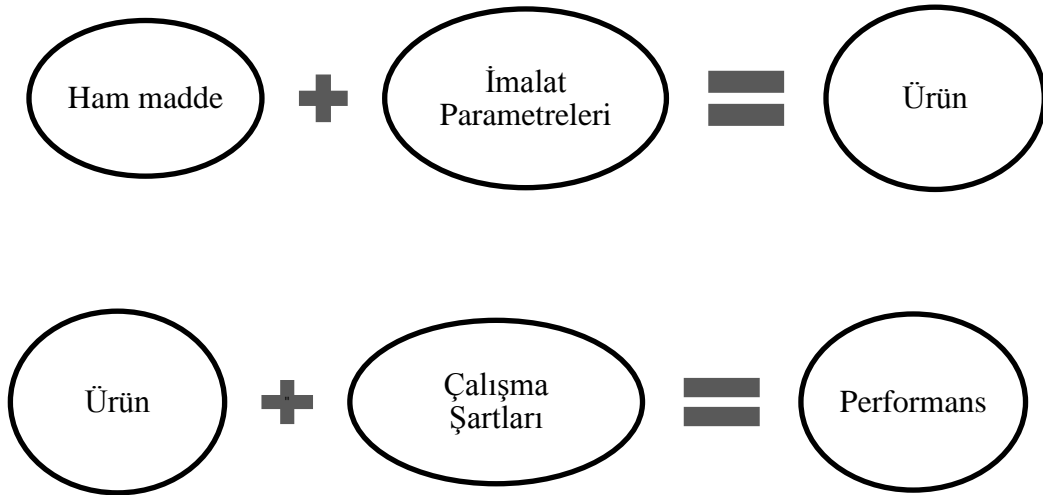
Balatalar; organik, yarı metalik ve asbestsiz olmak üzere üç ana gruba ayrılabilir. Bu balataların performansları ve kullanım alanları farklıdır. Balatayı oluşturan bileşenleri belli gruplara ayırmak mümkündür. Organik bağlayıcı kullanılan balata, bağlayıcı, elyaf, sürtünme ayarlayıcı, dolgu maddesi, yağlayıcı, temizleyici ve renklendirici bileşenler içerir (Ayar 1991). Bağlayıcı malzeme olarak genellikle fenol fermaldehit reçine kullanılmaktadır. Çünkü fenolik reçineler yüksek sıcaklık stabilitesine sahiptir ve aleve karşı mukavemetlidir (Lambla 1986).

Fren sisteminin en fazla aşınan ve frenleme performansına etki eden önemli parçalarından birisi balatadır. Tüketimi oldukça yüksek olan balataların piyasası da hareketlidir. Bundan dolayı balata üreticileri kalite ve pazar açısından sürekli rekabet halindedir. Ülkemizde ticari alanda disk fren balata üreticisi olarak sadece birkaç firma mevcuttur. Bu yüzden ülkemiz piyasasında yabancı marka balatalar çoğunluktadır. Bu firmalar kaliteli balata üretiminin gerçekleştirilmesinde, balata kompozisyonunun hazırlanması için gerekli mevcut bilgileri ve araştırma-geliştirme çalışmalarını son derece gizli tutmaktadırlar. Bu nedenle ülkemizde balatalarla ilgili araştırmaların sayısı oldukça sınırlıdır (Filikçioğlu 1998).

Frenlerin fonksiyonu; hareket enerjisini absorbe ederek, ısıya çevirmek ve bu ısıyı da atmosfere yaymaktır. Eğer frenlere çıkabileceğinden daha fazla bir ısı verilirse fren balatalarındaki sürtünme katsayısının düştüğü görülecektir ve frenlerin durdurma kabiliyetlerinin azalmasına neden olacaktır. Fren balatalarının etkisindeki bu azalma için "balata aşınması" deyimini kullanılır. Balatalar bu aşınma noktası sıcaklığının altında bulundukça normal görevlerini yaparlar. Fren balatalarının sürekli veya uzun süreli olarak aşırı sıcaklıklara maruz kalmaları balataların zarar görmesine neden olacaktır. Bu zararlar, frenlerin performansındaki azalma, hatalı çalışma, hızlı balata aşınması ve ses olarak kendini gösterir (Reinsch 1970).

Fren balatalarında aranan en önemli özellikler; zor çevre şartları altında bile güvenli kullanım ve rahatlık için; yüksek mukavemet, sabit sürtünme katsayısı, düşük aşınma oranı, düşük ses ve anti-titreşim karakteristikleri gibi çok sayıdaki özelliklerdir (Kato and Akıra 1994, Handa and Kato 1996).

Literatür araştırmalarında balatanın mekanik özelliklerinin üretim yöntemi ve tane boyutuna bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Kompozisyonlar aynı olsa bile farklı üretim yöntemi ile üretilen balatalar çok farklı özellikler sergileyebilmektedir. Bu yüzden bir balata malzemesi tasarımında kompozisyon, üretim ile birlikte bir bütün olarak incelenip ele alınmalıdır. Bu ilişki Şekil 1.1’de şematik olarak verilmiştir.



**Şekil 1.1** Hammadde, imalat parametreleri, ürün, çalışma şartları ve performans arasındaki ilişki.

Balata içerisinde kullanılan malzeme ve kullanım oranı balatanın sürtünme performansını doğrudan etkilemediği bilinmektedir. Bu konu ile ilgili yapılan araştırmalarda malzemelerin etki mekanizmalarından çok, balata formülizasyonu ve değerlendirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır (Mutlu ve Öner 2002).

1980’li yıllara kadar balata üretiminde elyaf olarak asbest kullanılıyordu. Asbest, ucuz ve balatalara mükemmel dayanıklılık ve termal direnç sağlayan, 1908 - 1980 yılları

arasında kullanımı yaygın olan bir fiberdir. 1980 yılında asbestin kanserojen etkilerinin ortaya çıkmasıyla kullanımı yasaklanmış ve araştırmacılar, asbestin yerini tutabilecek elyaf çeşitleri üzerinde çalışmaya başlamışlardır.

YSA karmaşık ve kötü şartlanmış problemlerin çözümünde oldukça geniş kabul görmüş bir yöntemdir. Günümüzde kullanılan tahmin yöntemlerinde genellikle analitik bilgisayar kodları kullanılmaktadır. Kullanılan algoritmalar ise genellikle karmaşık diferansiyel eşitliklerin çözümüne dayanmakta ve doğru sonuçların elde edilebilmesi için gelişmiş donanıma sahip bilgisayara ve zamana gereksinim duyulmaktadır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Uzun yıllar kullanılan asbest esaslı sürtünme yüzeyi malzemelerinin sağlık nedenleriyle kullanımının yasaklanması sonucu bunların yerine asbest içermeyen elyaf takviyeli yeni kompozit balatalar geliştirilmiştir. Bu yönde yapılan çalışmalar sonucu son yıllarda otomotiv fren balatalarının bileşiminde büyük yenilikler olmuştur. Bu yenilikler sonucu balataların sıcaklık dayanımı, sürtünme ve aşınma özellikleri iyileşmiştir (Domaç 2006).

Bir otomotiv fren sistemi için sürtünme elemanı kompozit malzemelerin en önemlilerinden birisidir ve genel olarak 10'dan fazla malzemedan oluşur (McLellan 1988, Anderson 1992). Fren balatasının sürtünme katsayısının stabilitesi ve aşınma direnci için en iyi üretim parametrelerinin bulunması amacıyla 15 farklı malzeme içeren fren balatası üretilmiştir. Parametre düzenlemesine göre 16 farklı şartlarda üretilen fren balataları fiziksel ve tribolojik özellikler için test edilmiş ve bu çalışmanın sonucu fren balatasındaki sürtünme performansı ve fiziksel özellikleri arasında hiç bir ilgi olmadığını göstermiştir. Üstelik ağır araçlarda kullanılan dört ticari otomotiv balatasının fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Konu ile ilgili fiziksel özellikler, yoğunluk, su emme, kabarma gibi özellikler standart test metodu kullanılarak yapılmış ve sonuçlar karşılaştırıldığında dört farklı sürtünme malzemesinin de matris olarak fenol formaldehit reçine içerdiği belirlenmiştir (Morshed 2004).

Handa ve Kato, Cu, BaSO<sub>4</sub> ve maun ağacı tozunun fren balatalarının sürtünme ve aşınma özelliklerine etkilerini araştırmak için beş türlü katkı maddesi içeren üç grup kompozit incelemiştir (Handa and Kato 1996). Bir bileşenin oranı sabit tutularak diğer ikisi % 0-40 arasında değiştirilmiştir. Kompozitlerin tribolojik değerlendirilmesi pim-disk tipi deney düzeneği kullanılarak iki farklı şartta yapılmıştır. Birinci grup deneyler düz yolda hafif frenleme şartlarında, ikinci grup ise uzun bayır aşağı iniş şartlarında (ağır frenleme) şartlarında yapılmıştır. Her bileşenin etkisini incelemek için birinin oranını artırıp diğerini azaltarak yapılan deneylerde aşınma oranı ve fren zayıflama dayanımları incelenmiştir. Bakır tozu katılması fren zayıflama dayanımını artırırken aşınma dayanımını azaltmıştır. BaSO<sub>4</sub> ilavesi ile fren zayıflama dayanımını azaltırken

aşınma dayanımı ve mukavemet artmıştır. BaSO<sub>4</sub> katılmayan numunelerde kaymaların sonucu aşınan yüzeylerden bir tabaka koparak ayrılmış, bu olay yüzey pürüzlülüğünü ve aşınmayı artırmıştır. Bakır tozu maun ağacı tozu karışımı katılması durumunda özgül aşınma miktarı artan bakır oranıyla yaklaşık doğrusal olarak artmıştır. En üstün fren zayıflama dayanımı ve en iyi sürtünme özellikleri her iki madde %20 oranında katıldıkları zaman elde edilmiştir.

BaSO<sub>4</sub> veya maun ağacı tozu içeren kompozitlerde en iyi sürtünme performansı ve fren zayıflama dayanımı %0 BaSO<sub>4</sub> içeren numunelerde, en az özgül aşınma değeri ise %10 BaSO<sub>4</sub> ve %30 maun ağacı tozu içeren numunelerde görülmüştür. Bakır tozu ile maun ağacı tozunun sürtünme oranı üzerine önemli etkisinin olduğu BaSO<sub>4</sub> tozunun ise önemli etki yapmadığı belirlenmiştir (Handa and Kato 1996).

Mutlu ve arkadaşları, borik asidin fren balata özelliklerine etkisi üzerine araştırma yapmıştır. Çalışmasında disk balataları üzerinde 50°C den 400°C ye kadar sıcaklıkta ve 1050-3000 kPa basınçlar altında aşınma ve sürtünme katsayısı testleri yapmış, disk malzemesi olarak dökme demir kullanmıştır. SEM çalışmasına ilave olarak balatanın su, tuzlu su, fren sıvısı ve motor yağına olan tepkilerini belirlemek için yapmıştır. Balata numuneleri imalat sırasında ısıl işleminden geçirilmiştir. Bu nedenle balataların sertlikleri artmış, yoğunlukları azalmış, aşınmaya karşı dayanımları artmıştır. Aynı zamanda borik asit içeren balatalar çevre ortamlarından daha az etkilenmektedir. Borik asit içermeyen numunelerde ise ısıl işlem sonucunda aşınma direncine negatif yönde etki yapmış borik asit içeren numunelerde ise aşınma direnci artmaktadır (Mutlu ve Öner 2005).

Boz M. ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada fren balatalarının sürtünme performansının geliştirilmesi amacıyla fren balata kompozisyonuna Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi yapmışlardır. Yapılan çalışmada %2 ve %4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi yapılan numunelerin sürtünme performansı açısından en iyi sonuçları verdiğini gözlemlemişlerdir (Boz ve Kurt 2007).

Kılıç, yaptığı çalışmada mermer atıkları balata dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Mermer tozunu farklı oranlarda kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlarda mermer tozunun frenleme performansının arttığını gözlemlemişlerdir (Kılıç 2010).

Karbon elyaflar temel olarak iki gruba ayrılır. Bunlar, petrol türevlerinden elde edilen zift esaslı elyaflar. Zift esaslı elyaflar büyük ölçüde dayanım dışı amaçlarla kullanılırlar. Takviye malzemesi olarak genellikle polyacrylonitrile' den (PAN) üretilmiş karbon elyaflar kullanılır (Arıcasoy 2006).

Rhee, demir tozu ve grafit dolgulu fenolik reçinenin sürtünme özelliklerinin yük, hız ve sıcaklığa bağımlılığını araştırmıştır. Fren zayıflamasında yük zayıflaması, hız zayıflaması ve sıcaklık zayıflaması olarak üç mekanizmanın etkili olduğunu görmüştür. Sabit kayma hızında balata basıncını artırmakla sürtünme kuvvetinin doğrusal olarak artmadığını, sabit basınçta kayma hızını artırmakla sürtünme kuvvetinin azaldığını tespit etmiştir. Bu nedenle sürtünme katsayısının sabit değil normal kuvvet, kayma hızı ve ara yüzey sıcaklığına bağlı olabileceği sonucuna varılmıştır. Sürtünme katsayısının sabit olmadığını, sabit sıcaklık ve sabit kayma hızında artan basınçla azaldığı, sabit basınçta ise artan hızla azaldığını tespit etmiştir. Ayrıca sürtünme katsayısının sıcaklığa bağlı olduğu sonucuna varmıştır (Rhee et al. 1971).

Loken, %50 wollastonit, %20 BaSO<sub>4</sub>, %15 maun cevizi tozu, %15 toz fenolik reçine sabit bileşiminde değişik boyut ve şekillerde %5 kevlar ile takviye edilmiş kompozit numuneler hazırlamıştır. Elyaf şekli ve üretim parametreleri mekanik özellikleri etkilemekle birlikte sürtünme ve aşınma özelliklerini önemli ölçüde etkilememiştir. Karşılaştırmalı çalışmalar kevlar'ın asbestin yerini alacak çok iyi bir alternatif olduğunu göstermiştir.

Vishwanath ve arkadaşları, cam elyaf, karbon elyaf ve kevlar elyaf dokumaları, polivinilbütiral (PVB) ile modifiye edilerek üretilmiş fenolik reçine bağlı, kompozit numuneleriyle yapılan deneylerde ağırlıkça %80 elyaf, %20 reçine kullanmışlardır. Aşınma deneyleri sonunda en az özgül aşınmanın kevlar dokuma takviyeli, en fazla özgül aşınmanın ise cam elyaf dokuma takviyeli kompozitlerde olduğu bulunmuştur.



Kevlar elyaf kullanıldığında karşı yüzey pürüzlülüğünün azalmasının aşınma parçacıklarının abrasif etkisinin az olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Bu durum aynı zamanda kevlar'ın karşı yüzey aşındırıcılığının cam elyaf ve karbon elyaftan daha düşük olduğunu da göstermektedir (Vishwanath 1993).

Crosa ve Baumvol, sürtünme malzemelerinin tribolojik özellikleriyle ilgili araştırmalar yapmıştır. Çalışmalarda iki karakteristik grup elyaf kullanmışlardır.

1. Cam, seramik, çelik ve mineral elyafları (ağırlıkça %10-%20 oranında)
2. Aramid, karbon, akrilik (ağırlıkça %4-8 oranında)

İnce öğütülmüş alümina, yeşil krom oksit, zirkonit ve kuartz gibi abrasif refrakter tozlar dolgu maddesi olarak kullanılmış, elyaf takviyeli fenolik kompozitlerin ve saf fenolik numunenin tribolojik özellikleri de araştırılmıştır. Bu araştırmada dökme demir disk ve dinamometre tipi düzenek kullanılmıştır. Deneylerde farklı iki p (basınç)- v (hız) [(MPa).(m/s)] düzeyinde 230 °C'deki disk aşınması da incelenmiştir. İki bileşenli sistemlerin tribolojik özelliklerine, elyaf tiplerinin ve abrasiflerin etkisi araştırılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir

1. Hiç katkısız saf reçine (karbon elyaflı kompozit hariç) diğerlerinden daha düşük  $\mu$  değeri göstermiştir. Bu durum disk yüzeyine transfer olan karbon parçacıklarla kanıtlanmıştır.
2. Elyaf katılması sürtünme katsayısının artmasına sebep olmuştur. En önemli bileşen olan elyaf aynı zamanda kazımayı (ploughing) da artırır.
3. Kompozit aşınması sırasıyla çelik elyaf>cam elyaf>mineral elyaf>seramik elyaf>karbon elyaf>aramid elyaf>akrilik elyaf şeklindedir.
4. Üç organik elyafta (aramid, karbon ve akrilik) aşınma daha az olmuştur. Aramid elyaflı kompozitlerde diske kompozit malzeme transferi olmamakla birlikte elyafın mekanik özelliklerinin aşınma dayanımını artırdığı düşünülmektedir. Akrilik ve karbon elyaflı kompozitlerde diske transfer olan karbon filminin yağlama etkisi yaparak aşınmayı azalttığı sonucuna varılmıştır (Crosa and Baumvol 1993).

Shibata ve arkadaşlarının hibrit kompozitler (iki farklı elyaf içeren) üzerine yaptığı araştırmalarda karbon-aramid elyaf kombinasyonu daha yüksek ve kararlı  $\mu$  değeri göstermiştir. Ayrıca asbestli kompozitlere göre daha az frenleme sesi ve daha iyi aşınma dayanımı göstermiştir. Dinamometre tipi deney cihazında, sürtünme aşınma, zayıflama dayanımını ve yeniden düzelme karakteristiklerini değişik hız, basınç ve sıcaklıkta incelemiştir. Reçine olarak fenol formaldehit ve dolgu malzemesi olarak da barit ( $BaSO_4$ ) kullanılmıştır. Kompozitlerde sadece takviye elyafının tipi ve yapısı değişken olarak alınmıştır. Bileşimi ağırlıkça %35, %30, %25, %20 oranında cam elyaf/reçine/dolgu ve sürtünme ayarlayıcılardan oluşan altı ayrı kompozit alınmıştır (Subramaniam 1991).

Her kompozitte öğütülmüş cam elyafın uzunluğu, çapı ve yüzey şartları farklıdır. Elyafın yüzey şartlarını sadece çekme dayanımını artırdığı eğilme dayanımının ise artan elyaf boyu ile arttığı, azalan elyaf çapı ile azaldığı tespit edilmiştir. Eğilme modülünün artan elyaf çapı ile arttığı elastiklik modülünün ise elyaf boyu, çapı ve yüzey şartlarına bağlı olmadığı görülmüştür. Kompozitlerin sürtünme katsayılarını 0,21 $\mu$  ile 0,33 $\mu$  arasında olduğu ve bu miktarın fren balataları için uygun olmadığı belirlenmiştir. Mekanik özelliklerin sürtünme özellikleriyle doğrudan ilişkili olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmalar cam elyafın sürtünme performansı üzerindeki etkisinin anlaşılmasına yardımcı olmuştur. Bu kompozitlerin incelenmesinden elde edilen sonuçlar şunlardır (Gopal 1994).

#### 1. Cam elyaf takviyeli fenolik kompozit;

- Artan yük, kayma hızı ve sıcaklıkla, sürtünme katsayısı  $\mu$  ve özgül aşınma miktarı azalmıştır. Özgül aşınma miktarı ise sıcaklıkla artmıştır. Mikroskopik incelemeler reçinelerin yüksek sıcaklıkta ayrıştığını elyaf-matris bağının zayıfladığını göstermiştir. Bu suretle matristen elyaf çekilmesi özgül aşınmayı artırmıştır.
- Fren zayıflama özellikleri numunenin önceki kullanım şartlarıyla ilgilidir. Aşınmış çelik veya cam elyafların uçlarında toplanan; dolgu maddesi, cam elyaf,

demir ve karbon içeren film fren zayıflamasını artırır. Bu filmin zımparalanarak kaldırılması fren zayıflamasını azaltmıştır.

- Yüksek ve kararsız  $\mu$  değeri ve kötü fren zayıflama dayanımı bu kompozitin sürtünme malzemesi olarak kullanılmasını engeller.

## 2. Karbon elyaf takviyeli fenolik kompozit;

- Bu kompozitin sürtünme özellikleri deney parametrelerinden nispeten daha az etkilenmektedir.
- Özgül aşınma oranı artan sıcaklık ve kayma hızı ile artmakta iken artan yükte azalmaktadır.
- Numunenin bir kaç kez fren zayıflama direncinde toparlanma deneyine tabi tutulmasından sonraki deneylerde daha kararlı bir sürtünme gösterdiği tespit edilmiştir. Aşınma parçacıklarının kayma arayüzeyinde toplanarak kaymayı etkilemesi nedeniyle bu kompozitin fren zayıflama toparlanma karakteristiği cam elyaf takviyeli kompozitten farklıdır.
- Deney parametreleriyle sürtünme özelliklerinin hızla değişmesi (Özellikleri cam elyaf takviyeli kompozitten iyi olmasına rağmen) bu kompozitin fren balatası olarak kullanılmasını sınırlamıştır.

3- Hibrit kompozitler, kontrol kompozitlerine Kevlar katılmasının etkilerini incelemek için imal edilmiştir. Cam elyaf+çelik elyaf içeren kontrol kompozitleri ile cam elyaf + kevlar ve çelik elyaf + kevlar içeren hibrit kompozitlerden elde edilen sonuçlar;

- Aşınma miktarında önemli miktarda azalma olmuştur.
- Frenlemede gürültü önlenmiştir.
- Geniş çalışma (basınç ve hız ve sıcaklık gibi) aralığında kararlı sürtünme özellikleri elde edilmiştir.
- Sürtünme katsayısında azalma olmuştur.

Kompozitlerin tribolojik özelliklerindeki iyileşme kompozit formülasyonu ve çalışma parametrelerine bağlıdır. Çelik-keklar kompozitleri en iyi özellikleri göstermiş ve deney parametrelerinden en az ölçüde etkilemiştir. Bu araştırmacılar bu kompoziti otomobil balatası olarak önermişlerdir.

Ashland Oil USA tarafından asbest yerine kullanılabilir karbon elyaftan ucuz ve daha iyi bir elyaf geliştirildiği ifade edilmiştir. Bu elyaf petrol katranından üretilen ve Carboflex olarak adlandırılan kısa karbon elyafıdır. Bu elyaflar çeliğe eşit mukavemette, düşük yoğunlukta, yüksek rijitlik, yüksek ısı iletkenliği ve 3050°C'ye kadar sıcaklığa dayanma özelliklerine sahiptir. Ayrıca 540°C'a kadar oksidasyona dayanıklı, yağlama özelliğine sahip, düşük termal genleşme katsayısı, iyi aşınma dayanımına sahiptirler. Yapılan çalışmalar bu elyafların asbestten üstün olduğunu göstermiştir (Bijwe 1997).

Dönmez, Asbest yerine kullanılabilir olan değişik elyaflarla, genel olarak balata bileşiminde bulunan katkı maddeleri ve bağlayıcı olarak fenolik reçine kullanarak sürtünme malzemeleri üretilip fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklerini inceledi. Deneylerde özel olarak imal edilmiş pim-disk tipi bilgisayar bağlantılı aşınma deney cihazı kullandı. Üretilen numunelerin farklı kayma hızları (3-18 m.s<sup>-1</sup>) ve yüzey basınçlarında (0,5-1,0 MPa) 100-350°C sıcaklıkları arasındaki sürtünme-aşınma özelliklerini belirledi. Elyaf olarak Basarit, taş yünü, Fiberfrax, kırılmış E-camı elyafı, çelik yünü, Kevlar-pulp ve çay elyafı kullandı. Piyasadan satın aldığı balatalardan temin ederek numuneleri incelemiştir. Barit ve taş yünü içeren numunelerde elyaf hacim oranları %7-40 arasında değiştirerek 1 MPa yüzey basıncı ve 6 m.s<sup>-1</sup> kayma hızında 100-350°C sıcaklıkları arasındaki sürtünme-aşınma özelliklerini incelemiştir. Her iki grupta ~%30 elyaf hacim oranına kadar elyaf oranı arttıkça sürtünme katsayısı arttığı ve her sıcaklıktaki özgül aşınmanın azaldığı ve ısı feyd dayanımının iyileştiği gözlenmiştir. Aynı eğilim diğer numunelerde de görüldü. Basarit içeren numunelerin ortalama sürtünme katsayıları %7 elyaf hacim oranında 0,33 iken %30 elyaf içeren numunede 0,48 ölçülmüş. Elyaf hacim oranları %20 olan balataların ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla Fiberfrax 0,51, çelikiyünü 0,51, taş yünü 0,47, Basarit 0,44, kırılmış E-camı elyafı 0,43, kevlar-pulp 0,19 ve çay elyafı 0,21 ölçülmüş. Yaklaşık aynı elyaf hacim oranına sahip numunelerin özgül aşınma değerleri en düşük değerden en yükseğe doğru

Kevlar-pulp, çay elyafı, Basarit, kırılmış E-camı elyafı ve taş yünü, Fiberfrax ve çelik yünü şeklinde sıralanmıştır. Kevlar-pulp, kırılmış E-camı elyafı ve taş yünü içeren numunelerin sürtünme katsayılarının yüzey basıncına daha duyarlı olduğu (yüzeybasıncı 0,25-1,0 MPa arasında arttıkça sürtünme katsayısının düştüğü) görüldü. Kayma hızını  $2\text{m.s}^{-1}$ ,den  $12\text{ m.s}^{-1}$  ye artırılmasıyla bütün numunelerin sürtünme katsayılarında düşme gözlenmiş. Ancak bu düşme miktarı kevlar-pulp içeren numunede daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmadan Basarit, taş yünü, kırılmış E-camı elyafı ve çelik yününün sürtünme malzemesi üretiminde asbeste alternatif olarak, Kevlar-pulp ve çay elyafının da inorganik elyaflarla birlikte kompozit şeklinde sürtünme malzemesi üretiminde kullanılabilceği sonucuna varmıştır (Dönmez 2000).

Kara, karbon elyaf takviyeli balata üzerinde yaptığı çalışmada farklı uzunluklarda (5, 7, 5, 10 mm) karbon fiber kullanarak oluşturduğu numuneleri dökme demir disk üzerinde sürtünme testi yapmış, araştırma sonucu olarak; elyaf uzunluğu arttıkça karbon elyafın homojenliğini azaldığını, en yüksek sürtünme katsayısının 5 mm uzunluktaki %25 karbon oranındaki numunede 0,44 olarak en düşük sürtünme olan %27 yi %5 katkı olan numunede olduğunu tespit etmiştir. Karbon elyafın belirgin bir şekilde sürtünme sürecine aktif katılmıştır. Elyafın boyunun uzamasıyla numunelerdeki boşluğun daha çok olduğu bununda sürtünme esnasında, numune yüzeyinden reçine ve matrisin sıcaklıkla zayıflaması veya sürtünme kuvveti etkisi ile metalik takviyelerin boşalttığı kısımlar olduğu tespit edilmiştir (Kara 2011).

Koca, bazı mineral malzemelerin fren balatasında sürtünme özelliklerini araştırması üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada dolgu maddesi Baritin yerine kütleli olarak %5-25 oranında uçucu kül, Diatomit ve Perlit kullanarak oluşturduğu numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme-sıcaklık değişimlerini araştırmıştır. Katkı oranları yüzdesel olarak arttıkça numunelerin yoğunluğu azalmıştır. Numunelerde Barit oranı arttıkça yoğunluk ve özgül aşınmada artmış, sertlik ise düşmüştür. Balataya katılan değişken malzeme içeriği arttıkça numunedeki aşınma miktarı artmıştır (Koca 2011).

Aleksendric ve Duboka, yaptığı çalışmada otomotiv sürtünme malzemelerinin soğuk performanslarını yapay sinir ağ yaklaşımı kullanarak tahmin etmiştir. Tahmin edilen soğuk performans için öncesi ve sonrası olmak üzere her iki durumda kayıp ve kazanım testleri yapmıştır. YSA' da fren faktörü C değerleri tahmini için 26 veri girişli parametre kullanmıştır. Giriş parametreleri sürtünme materyal komponenti 18 parametre tarafından, üretim koşulları 5 parametre ve test koşulları 3 parametre olarak tanımlamıştır. Bu tahminler için, 5 tür sürtünme materyali üretmiş ve test etmiştir. YSA tahmin sonuçları ile deneyler arasındaki ilişkiyi 15 farklı YSA modelde incelemişlerdir (Aleksendric and Duboka 2005).

## **2.1 Yapay Sinir Ağları**

### **2.1.1 Yapay Sinir Ağlarının Tarihi Gelişimi**

1950'li yılların sonlarında, büyük ölçekli işlemcilerin geliştirilmesiyle, beynin yaptığı işlemleri yapabilecek sinir ağlarının oluşturulabilmesi mümkün hale gelmiştir. Gerçekten de, YSA'lar dijital işlemcilerin geliştirilmesinden sonra işlem yöntemi olarak önemli bir yeni yaklaşım olarak görülmektedirler. YSA simülasyonları, nispi olarak yeni bir gelişme olarak görülmektedir. Bununla beraber, bu alan bilgisayarın çıkışından önce ortaya çıkmıştır ve bir bocalama devresi geçirdikten sonra yoluna devam etmiştir.

Bilgisayarların yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, YSA alanında oldukça önemli gelişmeler olmuştur. Bu alandaki araştırmalar ve çalışmalar büyük bir ilgi ile başlamış fakat beklenen gelişmelerin gerçekleşmemesi sonucunda ilgi azalmış ve bir suskunluk dönemi yaşanmıştır. Profesyonel ve maddi katkının en az olduğu bu dönemde, sadece birkaç araştırmacı tarafından katkı sağlanmıştır. Bu araştırmacılar, Minsky ve Papert tarafından tanımlanan sınırlamaları etkisiz kılan bir teknoloji geliştirmişlerdir. Minsky ve Papert, 1969 yılında bir kitap yayınlamışlar ve bu kitapta, araştırmacılar arasında ön plana çıkan ve ekstra analiz yapılmadan kabul gören YSA'na karşı bazı olumsuzlukları toplamışlardır. Son yıllarda ise, YSA alanı ilgi ve katkı olarak yeniden canlanmaktadır. YSA tarihi, dönemler itibariyle incelenebilir.

### 2.1.2 İlk girişimler

Bu dönemde, genel mantığı kullanan başlangıç simülasyonları yapılmıştır. Mc Culloch ve Pitts 1943'te, kendi nöroloji anlayışları çerçevesinde YSA modelleri geliştirmişlerdir. Bu modeller, nöronların çalışma şekilleri hakkında bazı varsayımlarda bulunmuştur. Oluşturdukları ağlar, sabit eşiklere sahip ikili aletler olarak görülen basit nöronları temel almıştır. Modellerinin sonuçları, "a veya b" ve "a ve b" gibi basit mantıksal fonksiyonlardır. Diğer bir girişim, bilgisayar simülasyonları kullanılarak yapılmıştır. Bu noktadaki katkılar iki araştırmacı grubu tarafından (Farley ve Clark 1954'te ve Rochester, Holland, Haibit ve Duda 1956'da) yapılmıştır. Özellikle ilk grup ki bunlar IBM araştırmacılarıdır, modellerini çalıştıramamışlar ve Mc Gill Üniversitesinden nörobilimcilerle ortak bir çalışma yapmışlardır. Bu etkileşim, günümüze kadar süren çok disiplinli bir eğilim oluşturmuştur.

### 2.1.3 Umut verici gelişmeler

YSA'ların gelişmesinde tek etkisi olan nörobilim değildir. Psikologlar ve mühendisler de YSA simülasyonundaki ilerlemeye katkı sağlamıştır. Rosenblatt 1958'de Perceptron'u tasarlayıp geliştirdikten sonra, bu alandaki ilgi ve etkinlik canlanmaya başlamıştır. Perceptron üç tabaka içermektedir ve orta tabaka birleştirme tabakası olarak adlandırılmaktadır. Bu sistem, bir veri girdi kümesinin bir çıktıya bağlanma veya birleşme şeklini öğrenebilmektedir. Burada öğrenme kelimesi, bağlantı ağırlıklarının ilişkiye göre ayarlanması anlamında kullanılmaktadır. Diğer bir sistem (ADALINE – Adaptive Linear Element) ise Stanford Üniversitesinden Widrow ve Hoff tarafından 1960 yılında geliştirilmiştir. Basit bileşenlerden oluşan bir analog elektronik alet olan ADALINE, kullanılan öğrenme yöntemi ile Perceptrondan farklılaşmıştır. Bu sistemde "En Küçük Ortalama Kareler" yaklaşımı, öğrenme kuralı olarak kullanılmıştır.

#### 2.1.4 Olumsuz gelişmeler

1969 yılında, Minsky ve Papert bir kitap yazmış ve bu kitapta çok tabakalı sistemlere göre tek tabakalı perceptronların sahip olduğu sınırlamaları ortaya koymuşlardır. Kitabın ana fikri şu şekilde özetlenebilir: “...bizim sezgisel görüşümüz çok tabakalı sistemlere genişlemenin verimsiz olduğudur.”. Kitapta ortaya konulan bu önemli sonuç sonrasında YSA simülasyonlarına yönelik araştırmalar hem ilgi hem de kaynak kaybına uğramıştır. Sonuç olarak, bu alana yönelik önemli bir önyargı oluşmuştur.

Yenilikler, ilgi ve kaynağın minimum düzeyde olmasına rağmen bazı araştırmacılar yapı tanımlama gibi problemlerin çözümüne yönelik çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Bu dönem süresince bazı ortak değer ve anlayışlar ortaya çıkmıştır. Carpenter ve Grossberg tarafından yapılan çalışmalar, yankı algoritmaları araştıran bir düşünce okulunun temellerini atmıştır. Bu araştırmacılar, temeli biyolojik olarak teorik gelişmelerle ilgilenmişler ve adaptif yapı sınıflandırması konusu üzerine bir makale yayınlamışlardır. Bu makalede bir öğrenme temeli (hata düzeltme metodu) için bir matematiksel teori oluşturulmuştur.

Fukushima ise el yazısı karakterlerini yorumlamak için, adım adım eğitilmiş çok tabakalı bir YSA oluşturmuştur. Cognitron olarak adlandırılan bu model 1975 yılında yayınlanmıştır. Makul modellere dayanan ART (Adaptif Rezonans Teorisi) ağlarını geliştirmiştir. Anderson ve Kohonen ise birbirlerinden bağımsız olarak benzer teknikler geliştirmişlerdir. Klopff (1972) yapay nöronlarda öğrenme işlemi için, “heterostasis” olarak adlandırılan ve nöronsal öğrenmenin biyolojik prensiplerine dayanan bir temel oluşturmuştur. Werbos (1974) geri-besleme öğrenme metodunu geliştirmiş, kullanmış ve bir kaç yıl sonrasında bu metot oldukça popülerite kazanmıştır. Geri besleme ağlar, bugün en çok bilinen ve kullanılan YSA’dır. Geri besleme ağı, aslında yapay nöronunda farklı bir eşik fonksiyonuna sahip, daha sağlam ve yetenekli öğrenme kuralı olan birçok tabakalı perceptrondur.



### **2.1.5 Yeniden Canlanma**

1970’li yılların sonlarında ve 1980’li yılların başlarındaki ilerleme, YSA alanına ilginin yeniden canlanması bakımından önemlidir. Bu hareketi bir kaç faktör etkilemiştir. Örneğin, ayrıntılı kitaplar ve konferanslar çok farklı alanlarda uzmanlaşmış insanlara bir forum imkânı ve dolayısı ile bir etkileşim sağlamıştır. Akademik programlar oluşturulmuş ve en önemli üniversitelerde dersler açılmıştır. Artan ilgi ile beraber, bu alandaki araştırmalara yönelik fonlar artmış ve enstitüler ortaya çıkmıştır.

Günümüzde ise yapay sinir ağları alanında daha ileri araştırmalar için gerekli ilgi ve bilgi birikimini sağlamıştır. Sinir sistemi tabanlı işlemciler oluşturulmakta ve karmaşık problemlerin çözümüne yönelik uygulamalar gelişmektedir. Kısacası, bu alan günümüzde bir geçiş dönemi içinde görülmektedir. YSA’lar 1950’li yıllarda ortaya çıkmalarına rağmen, ancak 1980’li yılların ortalarında genel amaçlı kullanım için yeterli seviyeye gelebilmişlerdir (Mehrotra et al. 2000, Luger 2005, İnt. Kyn.1).

### **2.2 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı**

Bilgisayar ortamında, beynin yaptığı işlemleri yapabilen, karar veren, sonuç çıkararak, yetersiz veri durumunda var olan mevcut bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden, öğrenen, hatırlayan bir algoritma kısaca “Yapay Sinir Ağları” olarak adlandırılır. Yapay sinir ağları, insan beyni esas alınarak modellenmiş bir sistemdir. Klasik yöntemlerle çözülemeyen problemleri insan beyninin çalışma sistemine benzer yöntemlerle çözmeye çalışırlar. Yapay sinir ağları, insan beynindeki nöronlara benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan karmaşık sistemlerdir. Yapay sinir ağlarının insan beynindeki sınırlardan esinlenerek ortaya çıkmasından dolayı, öncelikle biyolojik sinir sistemi konusuna değinilecektir (Kalogirou 2000, Sözen ve ark. 2004).

### 2.2.1 Biyolojik Sinir Sistemi

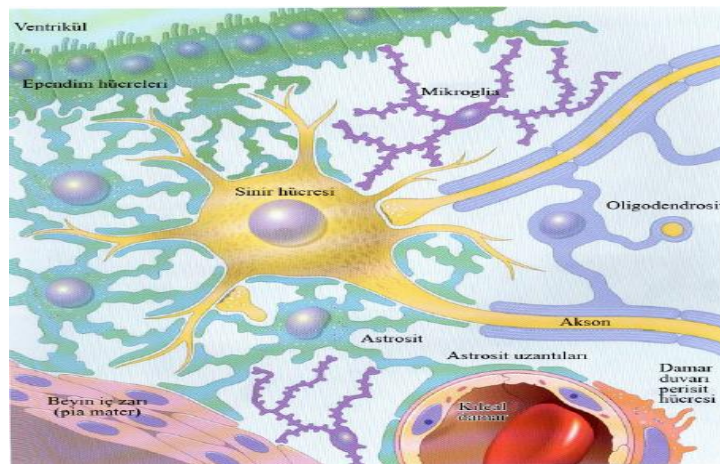
İnsan beyninin nasıl çalıştığı henüz tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Ancak bu konuda beyni oluşturan milyarlarca sinir hücresinin önemli rol oynadıkları bilinmektedir. Beynin çalışması genel olarak 3 aşamadan oluşur:

1. Bilgi girişi,
2. Sentezleme ve karşılaştırma,
3. Bilgi çıkışı ve eylem.

Beynin bu işlevlerini yerine getirebilmesini sağlayan ise temel yapı elemanı olan sinir hücreleri yani nöronlardır. Sinir hücreleri birbirleri ile ilişki halindedirler. Bu sıkı ilişki, sinirsel işlevin temelini oluşturan bilgi akışını sağlar.

Biyolojik sinir ağını oluşturan insan beynindeki nöronlar Şekil 2.1’de görüldüğü gibi 3 temel bölgeden oluşur.

1.Çekirdek ve Soma (Hücre gövdesi): Hücrenin gövde kısmında bulunan çekirdek, hücrenin temel işlevlerini belirleyen ve DNA molekülü üzerinde kodlanmış halde bulunan genetik bilgiyi içerir.



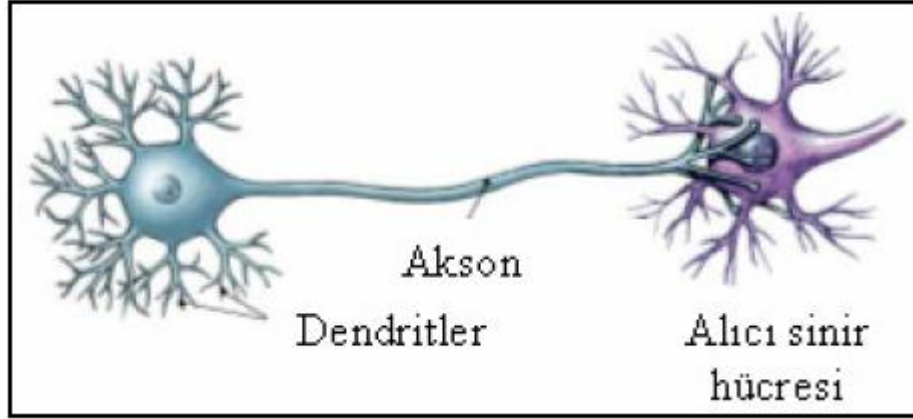
Şekil 2.1 Biyolojik sinir hücresinin yapısı.

DNA üzerindeki bilgi, hücrenin bulunduğu ortama, ortamdaki değişimlere ve hücrenin iç çevresine bağlı olarak deşifre edilerek, hücre içi olayların meydana gelmesini sağlar. Hücre etkinliklerine ilişkin yapım/yıkım (metabolizma) faaliyetlerinin büyük bir çoğunluğu ise hücre gövdesinde yürütülür. Hücre gövdesi, jel kıvamındaki hücre plazması (sitoplazma) içinde, mitokondri, golgi aygıtı, endoplazmik retikulum gibi birçok hücre organelini de içeren bölümdür.

2. Dendritler ve Akson: Hücre gövdesinden çıkan uzantılardır. Kısa, ağaç dalları biçiminde ve genellikle çok sayıda olan yapılar dendrit adını alır. Diğer hücrelerin aksonlarıyla gelen sinir sinyallerini alarak ait oldukları hücre gövdesine taşırlar. Akson ise uzun ve tek olup, uç kısımlarından genellikle dallanmalar gösterir. Hücre gövdesinde üretilen sinyalleri diğer nöronların dendritlerine taşımakla yükümlüdür.

3. Sinapslar: Akson ve dendritlerin veri iletişimi amacıyla bir araya geldikleri birleşim yerlerine sinaps adı verilir. Sinapslar, bir hücrede üretilen sinyalleri, yapısına ve biyofiziksel özelliklerine bağlı olarak sonraki hücreye iletirler. Genel olarak bir sinir hücresi, gövde ve dendritleri aracılığıyla sinyalleri alır. Bu sinyaller akson vasıtasıyla, hücre içindeki genel duruma ve gelen tüm sinyallerin toplam etkisine göre diğer bir hücreye aktarılır.

Kısacası, Şekil 2.2’de görüldüğü gibi nöronlar kendi aralarında bağlantılar kurarak, elektrik devrelerine benzer yollarla iletişim sağlayıp, beyin işlevlerinin ortaya çıkmasını sağlayan ana elemanlardır. Bu sistem bir bütün olarak, bir sinir bilimcinin bile hayal edebileceğinin çok ötesinde bir karmaşıklığa sahiptir.



**Şekil 2.2** Sinir hücrelerinin bağlantılarının basitleştirilmiş şematik yapısı.

Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik bağlantılar ile olur. İnsan beyni doğumdan itibaren sürekli bir öğrenme süreci içindedir. Beyin sürekli bir gelişme gösterir. Bu gelişim sadece yeni beyin hücrelerinin oluşumuyla değil, özellikle nöronlar arasındaki bağlantı ya da diğer bir ifadeyle sinaps sayısının artmasıyla meydana gelir.

Aksonların yeni dalları oluşur ve bu dallar yeni dendritlerle bağlantı kurar. Böylece öğrenme gerçekleşir. Nöronlar arasındaki bağlantılar arttıkça, beyin daha ayrıntılı işlemler yapabilir ve daha çok öğrenmiş olur (Yazıcı 2007).

### **2.2.2 Yapay Sinir Hücresi**

Yapay sinir hücresi, insan beyninin ve gerçek sinir hücrelerinin bilgi işleme teknolojilerinden esinlenerek, biyolojik sinir sisteminin çalışma şekli simüle edilmek suretiyle geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir.

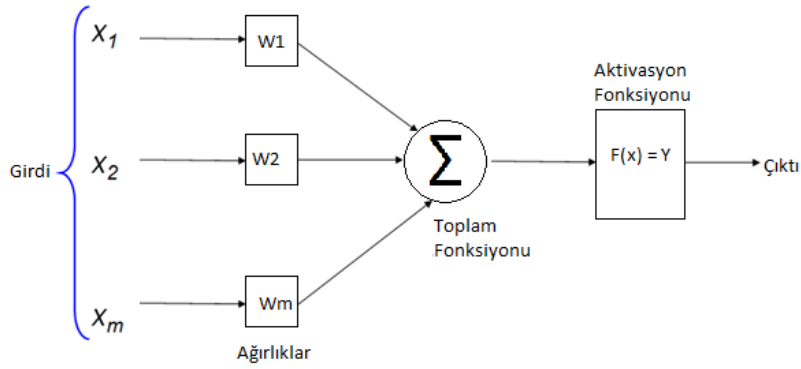
Yukarıda da tanımladığımız gibi yapay sinir hücreleri biyolojik sinir hücrelerine benzer yapıdadır. Yapay bir sinir hücresinin elemanları, gerçek bir sinir hücresi elemanlarıyla aşağıdaki gibi eşleştirilmektedir;

- Nöron - İşlemci eleman

- Dentrıt - Girdi
- Hücre Gövdesi - Transfer Fonksiyonu
- Akson - Yapay nöron çıkışı
- Sinapslar – Ağırlıklara karşılık gelir.

### 2.3 Yapay Sinir Ağının Ana Elemanları

Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi yapay sinir ağlarının da yapay sinir hücreleri vardır. Yapay sinir hücreleri mühendislik biliminde proses elemanları olarak da adlandırılmaktadır. Yapay sinir ağının temel elemanı vardır (Şekil 2.3). Bunlar:



Şekil 2.3 Yapay sinir ağının temel elemanları.

#### 2.3.1 Girdi

Yapay bir sinir hücresine (proses elemanına) dış dünyadan gelen bilgilerdir. Bunlar ağın öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Yapay sinir hücresine dış dünyadan olduğu gibi başka hücrelerden veya kendisinden de bilgiler gelebilir.

### 2.3.2 Ağırlıklar

Ağırlıklar bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Şekil 2.3'deki Ağırlık 1, Girdi 1'in hücre üzerindeki etkisini göstermektedir. Ağırlıkların büyük ya da küçük olması önemli veya önemsiz olduğu anlamına gelmez. Bir ağırlığın değerinin sıfır olması o ağ için en önemli olay olabilir. Eksi değerler önemsiz demek değildir. O nedenle artı veya eksi olması etkisinin pozitif veya negatif olduğunu gösterir. Ağırlıklar değişken veya sabit değerli olabilirler.

### 2.3.3 Toplama Fonksiyonu

Bu fonksiyon, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada her gelen girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Böylece ağa gelen net girdi bulunmuş olur.

$$NET = \sum_i^n \sum_t^n G_i A_i$$

Burada G girdileri, A Ağırlıkları, n ise bir hücreye gelen toplam girdi (proses elemanı) sayısını göstermektedir. Yalnız yapay sinir ağlarında daima bu formülün kullanılması şart değildir. Uygulanan yapay sinir ağı modellerinden bazıları kullanılacak toplama fonksiyonunu belirleyebilmektedir. Literatürde yapılan araştırmalarda toplama fonksiyonu olarak değişik formüllerin kullanıldığı görülmektedir. Tablo 2.1'de değişik toplama fonksiyonlarına örnekler verilmektedir.

**Tablo 2.1** Değişik toplama fonksiyonları.

Net Giriş	Açıklama
Çarpım $\text{Net Girdi} = \prod_i GiAi$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve daha sonra bulunan değerler birbirleri ile çarpılarak net girdi hesaplanır.
Maksimum $\text{Net Girdi} = \text{Max}(GiAi),$ $i = 1 \dots N$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra en büyüğü yapay sinir hücresinin net girdisi olarak kabul edilir.
Minimum $\text{Net Girdi} = \text{Min}(GiAi),$ $i = 1 \dots N$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra en küçüğü yapay sinir hücresinin net girdisi olarak kabul edilir.
Çoğunluk $\text{Net Girdi} = \sum_i \text{sgn}(GiAi)$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra pozitif ve negatif olanların sayısı bulunur. Büyük olan sayı hücrenin net girdisi olarak kabul edilir.
Kumilatif toplam $\text{Net Girdi} = \text{Net(eksi)} + \sum(GiAi)$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır ve daha önce gelen bilgilere eklenerek hücrenin net girdisi bulunur.

Görüldüğü gibi, bazı durumlarda gelen girdilerin değeri dikkate alınırken bazı durumlarda ise gelen girdilerin sayısı önemli olabilmektedir. Bir problem için en uygun toplama fonksiyonunu belirlemek için bulunmuş bir formül yoktur. Genellikle deneme yanılma yoluyla toplama fonksiyonu belirlenmektedir. Bir yapay sinir ağında bulunan proses elemanlarının tamamının aynı toplama fonksiyonuna sahip olmaları gerekmez. Her proses elemanı bağımsız olarak farklı bir toplama fonksiyonuna sahip olabilecekleri gibi hepsi aynı proses elemanına sahip olabilirler. Hatta ağın bazı proses elemanları grup halinde aynı toplama fonksiyonuna sahip olabilirler. Diğerleri ise farklı fonksiyon kullanabilirler. Bu tamamen tasarımcının kendi öngörüsüne dayanarak verdiği karara bağlıdır.

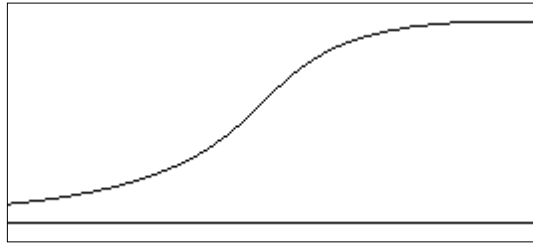
### 2.3.4 Aktivasyon Fonksiyonu

Bu fonksiyon, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu olarak ta çıktıyı hesaplamak içinde değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. Bazı modeller (mesela çok katmanlı algılayıcı) bu fonksiyonun türevinin alınabilir bir fonksiyon olması şart koşulmaktadır. toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonunda da ağın proses elemanlarının hepsinin aynı fonksiyonu kullanması gerekmez. Bazı elemanlar aynı fonksiyonu diğerleri farklı fonksiyonları kullanabilirler. Bir problem için en uygun fonksiyonda yine tasarımcının denemeleri sonucunda belirleyebileceği bir durumdur. Uygun fonksiyonu gösteren bir formül bulunmuş değildir.

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan çok katmanlı algılayıcı modelinde genel olarak aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon bu formülle gösterilmektedir.

$$F(\text{NET}) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \quad (2.1)$$

Burada net proses elemanına gelen net girdi değerini göstermektedir. Bu değer toplam fonksiyonu kullanılarak belirlenmektedir.



Şekil 2.4 Sigmoid fonksiyonun şekilsel gösterimi.

Sigmoid fonksiyonu şekilsel olarak Şekil 2.4 'de gösterilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılacak olan diğer fonksiyonlara örnekler ise Tablo 2.2'te verilmiştir.



**Tablo 2.2** Aktivasyon fonksiyonu örnekleri.

<b>Aktivasyon Fonksiyonu</b>	<b>Açıklama</b>
Lineer fonksiyon $F(\text{NET})=\text{NET}$	Gelen girdiler olduğu gibi hücrenin çıktısı olarak kabul edilir.
Step fonksiyonu $F(\text{NET})=\begin{cases} 1 & \text{if } \text{NET} > \text{eşik\_değer} \\ 0 & \text{if } \text{NET} \leq \text{eşik\_değer} \end{cases}$	Gelen net girdi değerinin belirlenen bir eşik değerinin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerlerini alır.
Sinüs fonksiyonu $F(\text{NET}) = \text{Sin}(\text{NET})$	Öğrenilmesi düşünülen olayların sinüs fonksiyonuna uygun dağılım gösterdiği durumlarda kullanılır.
Eşik değer fonksiyonu $F(\text{NET})=\begin{cases} 0 & \text{if } \text{NET} \leq 0 \\ \text{NET} & \text{if } 0 < \text{NET} < 1 \\ 1 & \text{if } \text{NET} \geq 1 \end{cases}$	Gelen bilgilerin 0 veya 1 den büyük veya küçük olmasına göre bir değer alır. 0 ve 1 arasında değerler alır bunların dışında değerler alamaz.
Hiperbolik tanjant fonksiyonu $F(\text{NET}) = (e^{\text{net}} + e^{-\text{net}})/(e^{\text{net}} - e^{-\text{net}})$	Gelen net girdi değerinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanır.

### 2.3.5 Çıktı

Aktivasyon Fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Hücre kendi çıktısını kendisine girdi olarak ta gönderebilir.

Bir proses elemanın birden fazla çıktısı olmasına rağmen sadece bir çıktısı olmaktadır. Ağ şeklinde gösterildiğinde bir proses elemanın birden fazla çıktısı varmış gibi görülmektedir.

Bu sadece gösterim amacıyladır. Aslında bir proses elemanında çıkan tek bir çıktı değeri vardır. Aynı değer birden fazla proses elemanına girdi olarak gitmektedir (Öztemel 2003).

## **2.4 Yapay Ağlarında Öğrenme Ve Sorgulama**

### **2.4.1 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme**

Bir önceki bölümde yapay sinir ağlarının yapısı anlatılmıştı. Şimdi bu temel üzerine, yapay sinir hücresinin öğrenme sürecini açıklanacak. Yani bir yapay sinir hücresinin nasıl öğrendiği ve bu öğrenme sürecinin neye göre belirlendiği anlatılacaktır.

Öğrenmede ilk adım aktivasyon olarak nitelendirilebilir. Sinir hücresine giren sinyallerin toplamı o hücreyi aktif hale getirebilecek bir değere sahip mi? Eğer toplam sinyal hücreye eşik değerini atlatabilecek kadar yüksek ise o hücre aktiftir ( $y=1$ ) aksi durumda o hücre pasiftir ( $y=0$ ). Alınan bu cevap yardımıyla yapay sinir hücresinin sınıflandırma yapabildiği sonucuna ulaşılabilecektir. Çok basit anlamda; girdi örüntülerine 1 ya da 0 cevabını vererek sınıflandırma yapabilen böyle bir hücre, hangi girdi örüntüsüne 1, hangi örüntüye 0 diyeceği hakkında karar vermiş sayılmaktadır. “Karar vermek” ve “sınıflandırmak”, öğrenme sürecinin temellerini oluşturmaktadır.

Yapay bir sinir hücresi hangi kurala göre girdi değerlerini 0 ya da 1 olarak adlandırmaktadır. Bu noktada sinir hücresinin ağırlıkları olarak adlandırılan  $w_n$  değerleri devreye girmektedir. Dışarıdan alınan her bir girdi ile her defasında ayarlanan bu ağırlıklar öğrenmenin gerçekleştiğinin temsilcisidirler. Matematiksel bir ifadeyle  $w_n$  ağırlıkları, tüm girdi örüntülerini en iyi temsil etmeye çalışan ve tüm girdi örüntülerinin uzaklıklar toplamının minimum olduğu regresyon eğrisinin temsil edildiği geometrik

şeklin en belirleyici noktalarını oluşturmaktadır. Bu sayede girilen örüntüye en doğru olan cevap verilebilmektedir.

Örneğin;  $X_1=10$ ,  $X_2=18$ ,  $X_3=24$ ,  $X_4=6$  olarak belirtilen 4 girdili bir hücrenin başlangıç ağırlıkları şöyle varsayalım;  $W_1=W_2=W_3=W_4=0,4$ . Bir başka girdi kombinasyonu da şöyle tanımlansın:  $X_1=11$ ,  $X_2=18$ ,  $X_3=20$ ,  $X_4=2$ . Eğer hücre iki örüntüye de 1 cevabi vermiş ise ağırlıkları örneğin şu şekilde değişime uğratacaktır,  $X_1$  yükseldiği için  $W_1=0,45$ ;  $X_2$  değişmediği için  $W_2=0,4$ ;  $X_3$  düştüğü için  $W_3=0,35$ ;  $X_4$  düştüğü için  $W_4=0,35$ . Böylece hücre her iki girdi ile karşılaştığında 1 cevabi verecek şekilde ağırlıkları ayarlar. Diğer bir ifadeyle iki girdi örüntüsünü öğrenir.

Teoride bu şekilde belirtilen açıklamanın formüle dökülmüş hali aşağıdaki gibidir;

$$y_{in} = \sum_{i=1}^p x_i \cdot w_i \quad (2.2)$$

Yukarıdaki formülde  $X_i$  sinyali kendine ait olan katsayı ile çarpılarak toplam sinyale eklenmektedir. Aynı şekilde toplanan değer çekirdek tarafından akson kullanılarak sinapsise gönderilir. Sinapsis gelen toplam sinyal değerini eşikleyerek çıktı değerini vermektedir.

$$y = f(y_{in})$$

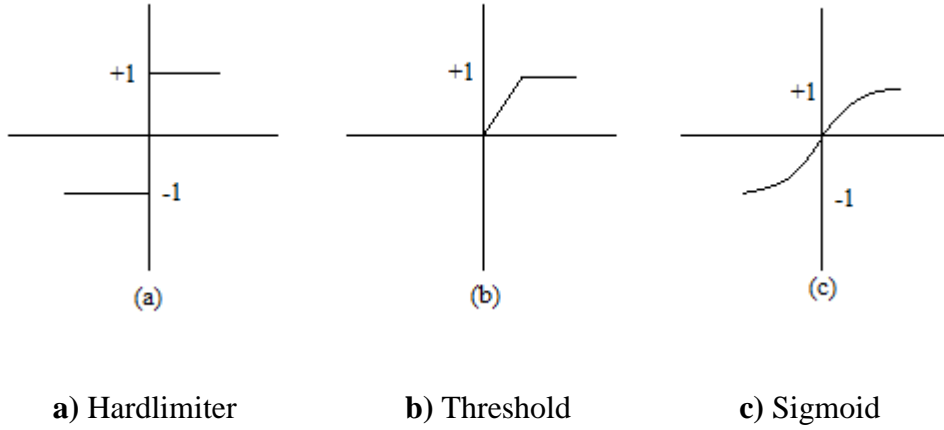
Yukarıda “f” olarak tanımlanan fonksiyon matematiksel herhangi bir fonksiyona denk olabilir. Fakat yapay sinir ağı modellerinde esas alınan 3 tip fonksiyon vardır (Şekil 2.5).

1. Hard Limiter Fonksiyonu: Bu fonksiyon girdi değerlerine göre ayrık (discrete) sonuç elde etmek için kullanılır. Bir başka ifadeyle girdi ya +1 sonucu verir ya da -1’dir ve başka bir ihtimal söz konusu değildir. Böylece kesin bir limit alınması sağlanmış olur.

2. Threshold Fonksiyonu: Bu fonksiyonda Hard Limiter fonksiyonuna benzemenin yanı sıra girdi örüntüsünün toplam değerine belli bir eşik değerine kadar doğrusal (lineer)

artan değerlerle cevap vermektedir. Üst limite ulaşıldığında ise eşik değeri (threshold) yine kesinlik göstermektedir. Artan bir eğilim göstermez.

3. Sigmoid Fonksiyonu: Bu fonksiyonda girdi örüntüsüne devam eden, süreklilik gösteren cevaplar verilmektedir. Cevaplar kesinlikle ayrıktır değildir. Bu yüzden sigmoid fonksiyonu yaygın bir kullanıma sahiptir. Çünkü hassas değerlendirmelerin kullanılacağı problemler için uygulanması en uygun olan fonksiyonu temsil etmektedir. Sigmoid fonksiyonu yerine yine süreklilik arz eden tanjant fonksiyonu ya da benzeri fonksiyonlarda kullanılabilir. Önemli olan fonksiyonun türevinin alınabilecek bir fonksiyon olmasıdır.



**Şekil 2.5** Yapay sinir ağı modellerinde esas alınan 3 tip fonksiyon.

Öğrenme süreci 2 temel prensip ile gerçekleştirilmektedir; “öğretmenli öğrenme (supervised learning)” ve “kendi kendine öğrenme (unsupervised learning)”.

Öğretmenli öğrenmede (Supervised learning), yapay sinir ağının dışarıdan eğitilmesi söz konusudur. Bu tip bir öğrenmede, girilen  $x_i(t)$  değerlerinin ne tür bir çıktı vermesi gerektiği önceden bilinmekte ( $d(t)$ ) ve yapay sinir ağı ağırlıkları bu korelasyona göre güncellenmektedir. Bu öğretimde temel bilinen “ $d(t)$ ” ile yapay sinir ağının verdiği “ $y$ ” sonucu arasındaki hatanın “ $w_i$ ” ağırlıklarına öğretilmesidir. Bunu bir örnekle

açıklayacak olursak; herhangi bir insanı tarif ederken şu özellikler dikkate alalım: boy, kilo, saç rengi, ayakkabı numarası. Bu kriterlere göre bir öğrencinin voleybol oynayabilir ya da oynayamaz şeklinde ayrımı yapılmak istensin. Bir öğretmenin verdiği bilgiler ışığında her öğrenciye “oynayabilir”, “oynayamaz” bilgisi atansın. Eğer yapay sinir ağıımız 40 kişilik bu şekilde bir grubu öğrenseydi ve ardından 40 kişinin içinden herhangi biri yapay sinir ağına boyu, kilosu, saç rengi, ayakkabı numarası verilerek sorulsaydı, yapay sinir ağı o öğrencinin oynayıp oynayamayacağını cevabini verecekti. Çünkü yapay sinir ağı her bir özellik için (boy kilo vs...) ağırlık güncellemesini yapacak ve öğretmenin gösterdiği her öğrenci ve ona iliştilen kararı arasındaki korelasyonu “w” ağırlıkları üzerinde güncelleyerek öğretecektir. Ağ burada öğrenmesini bir öğretmenle yapmıştır.

Kendi kendine öğrenme (Self, Unsupervised Learning) ise yapay sinir ağının dışarıdan herhangi bir etki olmaksızın aldığı bilgileri kendi içerisinde kıyaslama yaparak sınıflandırması ile oluşan öğrenme sürecini belirtmektedir. Bunu yapabilmek için yapay sinir ağı ilk aldığı örneği veya örnekleri bir sınıf olarak tanımlar ve ardından gelecek tüm girdi örüntülerini o sınıfa benzetmeye çalışır. Bu şekilde, tüm girdi örüntülerini kendi aralarında benzeyip benzemediklerine göre ayırt edecektir. Elbette burada sınıflandırma yaparken hatalı bazı cevaplar üretecektir. Fakat girdi örüntüleri sisteme çok defalar öğrenim için beslenecek olunursa, elde edilen sonuç %3,5 - 4 gibi bir yanılma oranına kadar düşecektir. Yine tüm bunları örneklendirmek gerekirse, 50 kişilik bir sınıfın boy, kilo, saç rengi ve ayakkabı numarası yine girdi örüntülerinin değerlerini oluştursun. Yapay sinir ağı ilk gelen kişiyi bir sınıf olarak ilan edecek ve ardından sisteme beslenen tüm girdileri bu buna benziyor ya da benzemiyor diye ayırt edecektir. Bu ayrımı yapabilmesi için 50 kişilik grubun değerleri 1000 kere sisteme tekrar tekrar beslendiği takdirde, yapay sinir ağı en sonunda öğrenmesini tamamlayacak ve 2 sınıf öğrenmiş olacaktır. 1.girdiye benzeyenler ve benzemeyenler. Adını koyamadığı bu sınıflar yardımıyla “hanımlar” ve “beyler” gibi olarak rahatlıkla sınıf ayrılmış daha doğrusu bu iki sınıf başarıyla öğrenilmiş olunacaktır. Böyle bir ağ modeline yabancı bir kişi değerleri verilirse, sinir ağı bu kişiye doğru cinsiyetini söyleyecektir.

Yapay sinir ağıları temelde bu iki öğrenme yönteminden ya birini ya da hibrid denilen karma modeli kullanır. Ancak öğrenmede “W” ile gösterilen ağırlıkların güncellenmesinin bu metotlara göre yapılması, öğrenme ile ilgili başka etkin rol oynayan etmenlerin var olmadığı anlamına gelmemektedir. Güncellemede kullanılan “m” ile sembolize edilmiş bir öğrenme katsayısı da öğrenmenin sürecini etkileyen bir faktördür.

“m” katsayısı öğrenmenin süresinin ve doğruluğunun ilişkisini düzenleyen önemli bir değişkendir. Uzayda bir merkez düşünülse ve bir başlangıç noktasından interpolasyon yöntemiyle merkeze yaklaşılmak istense, merkeze doğru atılacak her adımın büyüklük değeri önem taşır. Örneğin çıkış noktasından merkeze doğru 5cm atlayarak gidilmeye çalışılsa merkez belki de 3 adım sonrasında ulaşılanın ötesinde üstünden atlanıp geçilmiş bile olacaktır. Eğer adım uzaklığı 1cm şeklinde belirlenecek olunursa, merkeze 14 adım sonra tam olarak ulaşılmış olunacaktır. Örnekten görüldüğü gibi, “m” değişkeninin değeri büyük alınırsa öğrenme kaba ve kısa süreli, küçük alınırsa hassas ve uzun süreli olacaktır. Bu noktada “m” değeri mümkün olduğunca optimum tutulmalıdır yani ne çok büyük ne de çok küçük alınmalıdır. Çünkü büyük alınan değer yüzünden istenilen sonuca ulaşılamayacak, çok küçük alındığı takdirde ise istenen hedefe çok düşük bir performans ile ulaşacaktır. Bunun için yapay sinir ağlarının öğrenme algoritmalarında genelde belli bir iterasyon (döngü sayısı) geçtikten sonra, “m” değeri azaltılır. Böylelikle, başlangıçta algoritma büyük adımlar atarak hedefe doğru yönelir, belli bir süre sonra adımlarını küçültmeye başlar. Bu sayede algoritma hızlı bir biçimde sonuca, hassas bir yaklaşımla ulaşır. Bunun gerçekleştirilmesi için “m” değeri belirli sabit bir katsayı ile çarpılmaktadır ( $m = m \times \text{Sabit Katsayı}$ ).

Öğrenmenin başka bir kritik ögesi verilerin büyüklüğü ve iterasyon sayısıdır. Yapay sinir ağının çözüme ulaşabilmesi için problemin karakteristiğini yakalayabilecek kadar girdi örüntüsüne yani veriye sahip olması gerekir. Örneğin bir ülkenin yağmur yağış miktarını tahmin edebilmek için 30 günlük verilerin kullanılması, o problemin çözüme ulaşabilmesini engelleyen bir faktör olacaktır. Bu yüzden problemin çözümünden önce kullanılacak veriler üzerinde istatistiksel bir yorumlamanın yapılmış olması, yapay sinir ağlarının o verileri kullanarak istenilen hedefe ulaşması için faydalı olacaktır.

Kullanılacak veri grubunun büyüklüğü her probleme göre değişik olabilir, bu nedenle yapay sinir ağlarının başarıya ulaşması için gereken iterasyon (döngü) sayısı problemlerden probleme değişebilir. Bunun yanı sıra yapay sinir ağının problemi daha iyi öğrenebilmesi, cevap üretirken daha hassas derecelerde doğru cevap üretebilmesi için problemin kendi içinde de iterasyon sayısı değiştirilebilir. Örneğin, bir ülkenin yağışının modellenmesi için 10 senelik veri, yapay sinir ağına bir kere beslenirse vereceği cevap çok kaba ve yuvarlamalı olacak iken, 1000 kere aynı veriyi beslemek ile daha hassas derecelere kadar öğrenmesi sağlanmış olacaktır. Bu noktada iterasyon sayısı problemlerden probleme ve problemin kendi içindeki hassasiyete göre değişebilecektir. Çok fazla döngü performansı azaltıp sonuca ulaşmayı uzun bir zamana yayarken, az sayıda döngü de sonuca ulaşmayı engelleyecek kadar kaba sonuçlar üretme ye neden olacaktır. Bu yüzden yapay sinir ağları, her bir problem için uygulanırken iterasyon sayısı deneme yanılma yöntemiyle tespit edilmeye çalışılır.

Öğrenmenin üzerinde etkin rol oynayan bir başka faktör, o yapay sinir ağı üzerinde kullanılan katman sayısıdır. Burada kısaca şu söylenebilir. Modelden modele katman sayısı değişiklik gösterse de, şu an yaygın olan görüşe göre; 3 katmandan oluşan bir yapay sinir ağı modelinin en karmaşık problemlere dahi yeterli olduğudur. Ancak bu bir kısıtlama değildir, 3 katmandan az katmanlı ya da daha çok katmanlı yapay sinir ağı modelleriyle problemler çözülemez anlamına gelmez. Bu 3 katman sırasıyla; girdi, saklı, çıktı katmanları olarak adlandırılırlar. 4 katmanlı bir yapıda 1.katman girdi, 4.katman çıktı ve arada kalan katmanlar gizli katmanlar olarak adlandırılırlar.

Öğrenmede etkili olan bir diğer faktör, her katman üzerinde kullanılan sinir hücresinin sayısidir. Örneğin şekil 2.6' da girdi katmanında 30, saklı katmanda 6 ve çıktı katmanında 8 tane sinir hücresi yer almaktadır. Ve buradaki sayılar probleme giriş için kullanılan tamamen kullanıcının kurgusuyla belirlenmiş sayıları ifade etmektedir. Bu yüzden her katmanda olması gereken hücre sayısı gibi sabit bir belirleme söz konusu olmaz yani iterasyon sayısı gibi bu da deneme yanılma yöntemiyle tespit edilmektedir. Yani çok sayıda yapay sinir hücresi kompleks fonksiyonlarla çalışıp düşük performans sergilemesine, az sayıda hücre ise problemin öğrenilmemesine neden olacaktır.

## 2.4.2 Yapay Sinir Ağlarında Sorgulama

Yapay sinir ağlarının iki temel işlevi vardır. Öğrenmek ve öğrendiğinin sorgulaması yapıldığında buna cevap vermek. Ancak dikkat edilmesi gereken nokta, yapay sinir ağı modellerine daha önce hiç öğrenmediği bir örüntünün sorulmasıyla, yapay sinir ağının bu örüntüyü daha önce öğrendiği örüntülerden birine benzeterек cevap vermeye çalışmasıdır. Bu çalışma prensibi sayesinde, yapay sinir ağı modelleri hata-toleranslı “fault tolerant” olarak bilinirler.

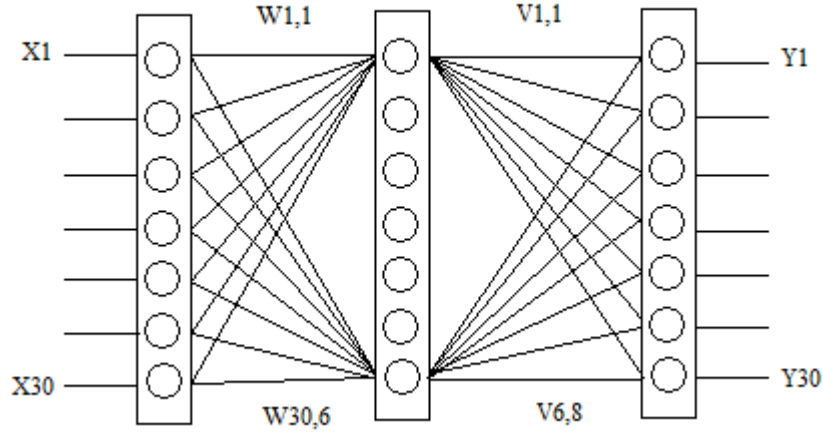
Hata-toleranslı yapısına örnek verecek olursak, yüz tanıma ile uğraşan sinir ağı modelleri vardır. Bu sistem yüz tiplerini öğrenmeye yönelik çalışmaktadır ve çok iterasyon yaparak bir kişinin yüzündeki bazı karakteristikleri öğrenmek suretiyle, insan yüzünü tanımaya çalışmaktadır. Eğer bu sistem bir kişinin yüzünü öğrendiyse, yüzün bir parçasının kapatılarak sorgulanması, sistemin yine doğru cevap vermesini etkilemeyebilir. İşte girdi örüntüsünün belli bir miktarı yok olsa dahi, yapay sinir ağının o girdi örüntüsüne doğru cevap veriyor olması, yapay sinir ağlarının hataya olan toleranslı yaklaşımını göstermektedir.

Sorgulama esnasında kullanılan çok basit teknikler vardır. Bu tekniklerden bazıları; Hamming Distance (HD), Euclidean Distance (ED), Partitioned Generalized Euclidean Distance (PGED) olarak isimlendirilen uzaklık ölçüm teknikleridir. Girilen örüntünün saklanan (öğrenilmiş) olan örüntülerle matematiksel olarak uzaklıklarını bulmak için kullanılan bu teknikler sayesinde, girdi örüntüsüne en yakın olan öğrenilmiş örüntü cevap olarak yapay sinir ağı tarafından dışarı verilmektedir.

Yapay sinir ağlarının hepsi ayrı ayrı sorgulama tekniği kullanıyor olabilirler. Bazıları ise bahsi geçen sorgulama tekniklerinin hibrid şeklinde birlikte kullanımını da uyguluyor olabilirler. Bu bağlamda sorgulama tekniğinin belirlenmesi, modeli geliştiren kişinin tercihi ve problemin karakteristiğine bırakılmıştır. Ancak basit bir genelleme ile şu vurgulanabilir; HD, ED, PGED gibi matematiksel uzaklık hesaplama fonksiyonları görüntü işleme problemlerinde, örüntü tanıma problemlerinde sık sık



kullanılmaktadır. Optimizasyon (en iyisini elde etme) problemlerinde hücre aktivasyonuna göre sorgulamanın sağlandığı görülmektedir (Laurene 1994).



**Şekil 2.6** Girdi katmanı 30 hücreli, saklı katmanı 6 hücreli, çıktı katmanı 8 hücreli yapay bir sinir ağı.

## 2.5 Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

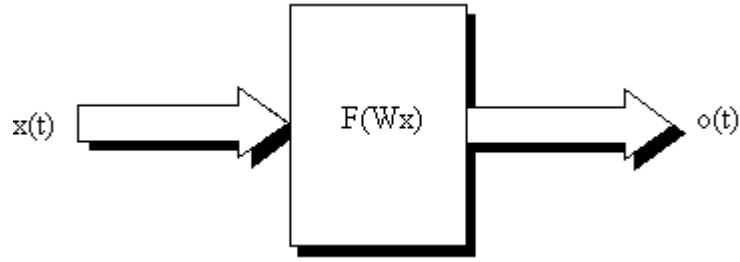
Genel olarak, yapay sinir ağları birbirleri ile bağlantılı işlemci birimlerden veya işlemci elemanlardan (neurons) oluşurlar. Her sinir hücresi arasındaki bağlantının yapısı ağın yapısını belirler. İstenilen hedefe ulaşmak için bağlantıların nasıl değiştirileceği öğrenme algoritması tarafından belirlenir. Kullanılan bir öğrenme kuralına göre, hatayı sıfıra indirecek şekilde, ağın ağırlıkları değiştirilir. Yapay Sinir Ağları yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılırlar.

### 2.5.1 Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, yapılarına göre, ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback) ağlar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılırlar.

### 2.5.1.1 İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

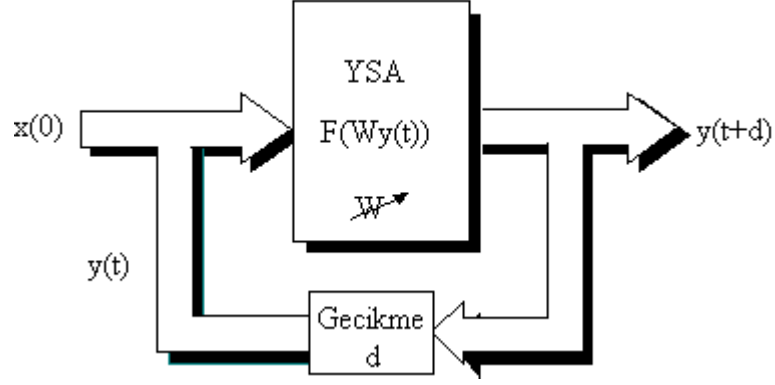
İleri beslemeli bir ağda işlemci elemanlar (İE) genellikle katmanlara ayrılmışlardır. İşaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. İşlemci elemanlarında bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarlarken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz. Şekil 2.7’de ileri beslemeli ağ için blok diyagram gösterilmiştir. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı perseptron MLP (Multi Layer Perseptron) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları verilebilir.



Şekil 2.7 İleri beslemeli ağ için blok diyagram.

### 2.5.1.2 Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Bir geri beslemeli sinir ağı, çıkış ve ara katlardaki çıkışların, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Böylece, girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur. Şekil 2.8’ de bir geri beslemeli ağ görülmektedir. Bu çeşit sinir ağlarının dinamik hafızaları vardır ve bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır. Bundan dolayı, özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygundur. Bu ağlar çeşitli tipteki zaman-serilerinin tahmininde oldukça başarı sağlamışlardır. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, SOM (Self Organizing Map), Elman ve Jordan ağları verilebilir.



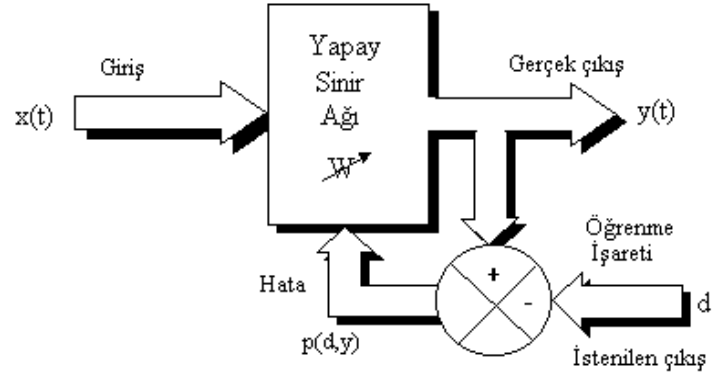
Şekil 2.8 Geri beslemeli ağ için blok diyagram.

## 2.5.2 Öğrenme Algoritmalarına Göre Yapay Sinir Ağları

Öğrenme; gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği olarak tanımlanmaktadır. O halde, birtakım metot ve kurallar, gözlem ve eğitime göre ağdaki ağırlıkların değiştirilmesi sağlanmalıdır. Bunun için genel olarak üç öğrenme metodundan ve bunların uygulandığı değişik öğrenme kurallarından söz edilebilir. Bu öğrenme kuralları aşağıda açıklanmaktadır.

### 2.5.2.1 Danışmanlı Öğrenme (Supervised Learning)

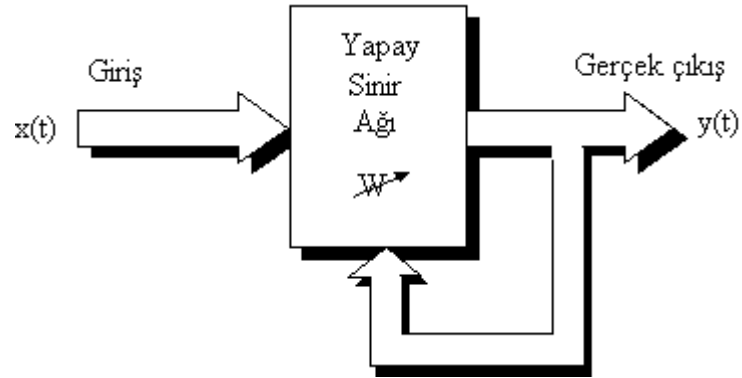
Bu tip öğrenmede, YSA'ya örnek olarak bir doğru çıkış verilir. İstenilen ve gerçek çıktı arasındaki farka (hataya) göre işlemci elemanları arası bağlantıların ağırlığını en uygun çıkışı elde etmek için sonradan düzenlenebilir. Bu sebeple danışmanlı öğrenme algoritmasının bir “öğretmene” veya “danışmana” ihtiyacı vardır. Şekil 2.9’ da danışmanlı öğrenme yapısı gösterilmiştir. Widrow-Hoff tarafından geliştirilen delta kuralı ve Rumelhart ve McClelland tarafından geliştirilen genelleştirilmiş delta kuralı veya geri besleme (back propagation) algoritması danışmanlı öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir.



Şekil 2.9 Danışmanlı öğrenme yapısı.

### 2.5.2.2 Danışmasız Öğrenme (Unsupervised Learning)

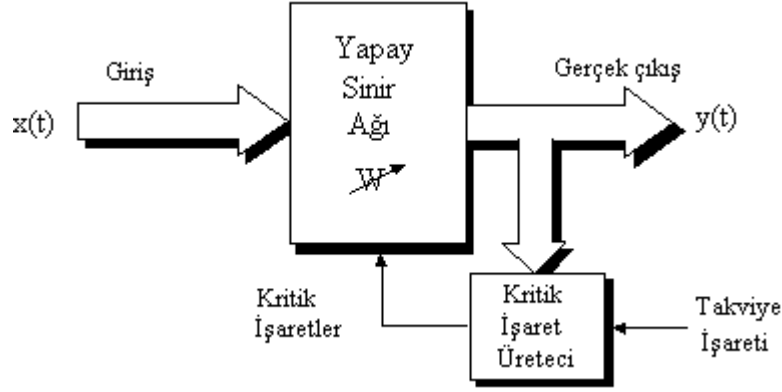
Girişe verilen örnekten elde edilen çıkış bilgisine göre ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirmektedir. Bu öğrenme algoritmalarında, istenilen çıkış değerinin bilinmesine gerek yoktur. Öğrenme süresince sadece giriş bilgileri verilir. Ağ daha sonra bağlantı ağırlıklarını aynı özellikleri gösteren desenler (patterns) oluşturmak üzere ayarlar. Şekil 2.10'de danışmansız öğrenme yapısı gösterilmiştir. Grossberg tarafından geliştirilen ART (Adaptive Resonance Theory) veya Kohonen tarafından geliştirilen SOM (Self Organizing Map) öğrenme kuralı danışmansız öğrenmeye örnek olarak verilebilir.



Şekil 2.10 Danışmansız öğrenme yapısı.

### 2.5.2.3 Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning)

Bu öğrenme kuralı danışmanlı öğrenmeye yakın bir öğrenme kuralıdır. Denetimsiz öğrenme algoritması, istenilen çıkışın bilinmesine gerek duymaz. Hedef çıktıyı vermek için bir “öğretmen” yerine, burada YSA’ya bir çıkış verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık iyiliğini değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır. Şekil 2.11’ de takviyeli öğrenme yapısı gösterilmiştir. Optimizasyon problemlerini çözmek için Hinton ve Sejnowski’nin geliştirdiği Boltzmann kuralı veya GA takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilirler.



Şekil 2.11 Takviyeli öğrenme yapısı.

### 2.5.3 Öğrenme Zamanına Göre Yapay Sinir Ağları

#### 2.5.3.1 Statik Öğrenme

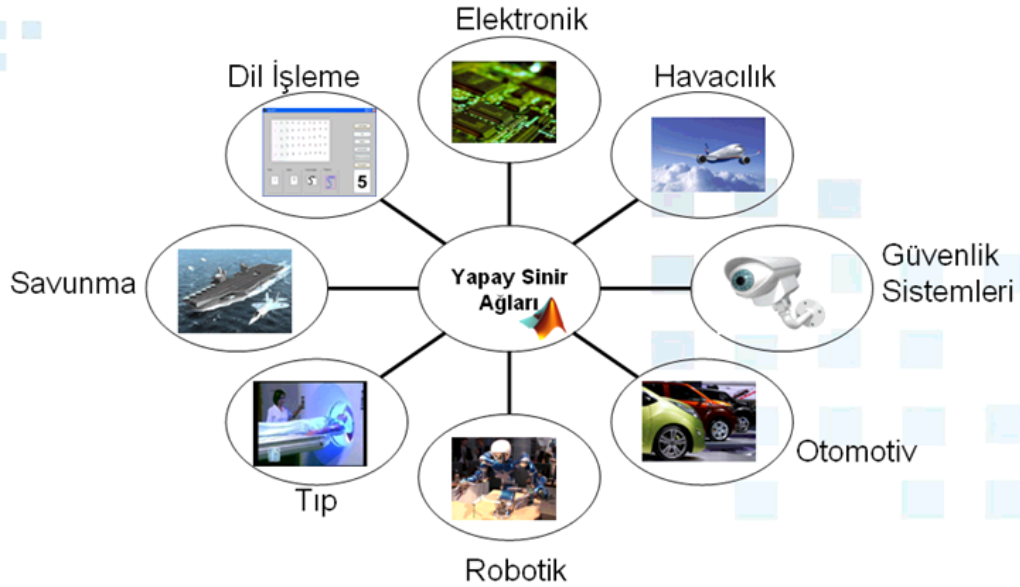
Statik öğrenme kuralıyla çalışan yapay sinir ağları kullanmadan önce eğitilmektedir. Eğitim tamamlandıktan sonra ağı istenilen şekilde kullanılabilir. Ancak bu kullanım sırasında ağın üzerindeki ağırlıklarda herhangi bir değişiklik olmaz.

### 2.5.3.2 Dinamik Öğrenme

Dinamik öğrenme kuralı ise yapay sinir ağlarının çalıştığı süre boyunca öğrenmesini öngörerek tasarlanmıştır. Yapay sinir eğitim aşaması bittikten sonra da daha sonraki kullanımlarında çıkışların onaylanmasına göre ağırlıklarını değiştirerek çalışmaya devam eder (İnt. Kyn. 2, 3, 4).

### 2.6 Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları

Yapay sinir ağlarının uygulamaları gözden geçirildiğinde binlerce uygulamanın yapıldığı ve başarılı sonuçların elde edildiği gözlenebilir. Uygulamalar o kadar yaygındır ki, bunların tamamının listesini çıkarmak hemen hemen mümkün değildir. Evimizdeki aletlerden elimizdeki cep telefonlarına kadar birçok alanda Y.S.A uygulamalarını görmek mümkündür. Burada her türlü uygulamadan örnek vermemiz mümkün değildir. O nedenle burada, yapay sinir ağları uygulamalarının bir sınıflandırılması yapılacaktır. Bu, kapsamda, yapay sinir ağları uygulamaları Şekil 2.12 görülmektedir:



Şekil 2.12 Yapay sinir ağlarının uygulama alanları.

- Endüstriyel uygulamalar
- Finansal uygulamalar
- Askeri ve savunma uygulamaları
- Sağlık uygulamaları
- Diğer alanlardaki uygulamalar

Şeklinde sınıflandırılarak incelenebilir. Bu alanlardaki uygulamalar incelendiğinde yapay sinir ağlarının genel olarak şu fonksiyonları geliştirmek için uygulandıkları görülmektedir:

**Tahmin:** Girişler kullanılarak çıkışlar tahmin edilir. Hava tahmini, kanser riski olan hastaları tahmin örnek olarak verilebilir.

**Sınıflandırma:** Girişler kullanılarak çıkışlar sınıflandırılır. Hastalıklı hücrelerin sınıflandırılması, kuşların sınıflandırılması örnek olarak verilebilir.

**Veri yorumlama:** Veri tabanında ilgi alanları ile ürünleri ilişkilendirebilme.

**Veri ilişkilendirme:** Bu amaçla eğitilen ağlar ağa sunulan verilerin hatalı ve eksik olup olmadıklarını belirlerler. Öğrendikleri bilgilerle eksik olan bilgileri tamamlarlar. Örnek olarak eksik bir resmin tamamlanması verilebilir.

**Teşhis:** Bu amaçla geliştirilen ağlar sistemlerin olumsuzluklarının ortaya konulması ve problemlerin teşhis edilmesi işlemini yerine getirirler. Makinelerin hatalarının teşhis edilmesi örnek olarak verilebilir.

Yapay sinir ağlarının yukarıdaki açıklamalar ışığında değişik uygulama alanlarına örnekler verilebilir. Bunlardan bazıları şu şekilde listelenebilir.

### **2.6.1 Endüstriyel Uygulamalar**

Yapay sinir ağlarının sayısız endüstriyel uygulamaları vardır. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Y.S.A. ile bir endüstriyel proseste fırınların ürettiği gaz miktarlarının tahmini
- İmalatta ürün tasarımı, proses ve makinelerin bakımı ve hataların teşhisi görsel kalite kontrol
- Kimyasal proseslerin dinamik modellenmesi
- Otomobillerde otomatik rehber sistemlerini geliştirilmesi
- Robotlarda görme sistemleri
- Cep telefonlarında ses ile çalışabilme
- İşlerin makinelere atanması ve çizelgelenmesi

### **2.6.2 Finansal Uygulamalar**

Y.S.A lar finans dünyasında da oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Kullanım alanlarına örnekler şu şekilde listelenebilir.

- Makroekonomik tahminler
- Borsa benzetim çalışmaları endekslerinin tahmini
- Kredi kartı hilelerinin tespiti
- Kredi kartı numaralarında iflas tahmini
- Banka kredilerinin değerlendirilmesi
- Döviz kuru tahminleri
- Risk analizleri

### **2.6.3 Askeri Uygulamalar**

Yapay sinir ağlarının askeri alandaki uygulamaları da dikkatleri çekmektedir. Bunlar arasında şunlar örnek sayılabilir:



- Hedef tanıma ve takip sistemleri
- Yeni sensörlerin performans analizleri
- Radar ve görüntü sinyalleri işleme
- Sensör fizyonu
- Askeri uçakların uçuş yörüngelerinin belirlenmesi
- Mayın dedektörleri

#### **2.6.4 Sağlık Uygulamaları**

Yapay sinir ağlarının insan beyni çalışmaları ile yakın ilişki içinde olması tıp ve sağlık alanında da uygulamaların gelişmesine neden olmuştur. Bunlardan bazı örnekler ise şöyle sıralanabilir:

- Solunum hastalıklarının teşhisi
- EEG ve ECG analizleri
- Tıbbi resim işleme
- Hastalık teşhisleri
- Anne karnındaki bebeklerin kalp atışlarının izlenmesi
- CTG izleme
- Yumurtalık kanserlerinin izlenmesi
- Prostat analizleri
- Sperm analizleri

#### **2.6.5 Diğer Alanlardaki Uygulamalar**

Yukarıdaki uygulama alanlarına ek olarak daha birçok alanda yapay sinir ağları uygulamalarını görmek mümkündür. Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir:

- Petrol ve gaz aranmasının yapılması

- Şekil sıkıştırma
- Uçak parçalarının hata teşhislerinin yapılması
- Sigorta poliçelerinin değerlendirilmesi
- Karakter, el yazısı, imza tanıma
- Veri madenciliği
- Rotalama sistemleri
- Hava alanlarında bomba detektörleri ve uyuşturucu koklayıcıları vb (Öztemel 2003, Sağıroğlu 2006).

## **2.7 Balatalar**

Balatalar, TS 555'e göre sürtünmeli frenler için uygulanan fren kuvvetinin, araçların tekerlekleri ile bağlantılı disk veya kampanalara sürtünme yolu ile aktarılmasını sağlayan elemanlar olarak tanımlanır (T.S.E. 1. baskı 1992).

Frenlerde sürtünmenin önemi bilinmektedir. Bu nedenle sürtünme gereçlerinin istenilen özelliklerde bulunmaları gerekir. Sürtünme gereci düşükten, çok yüksek sıcaklıklara kadar sürekli değişebilen çalışma sıcaklıklarında ve yüksek hızlarda çalışmaktadır. Fren balatalarında gereç ne olursa olsun yüksek bir sürtünme katsayısı, üzerine uygulanan frenleme kuvvetlerine karşı dayanıklılık, iyi aşınma direnci ve sürtünme yüzeyine iyi oturma ilk bakışta istenilen özellik olarak karşımıza çıkmaktadır (Anlaş 1988).

Çalışma şartları göz önüne alındığında balataların ağır şartlarda çalıştığı söylenebilir. Özellikle ağır tonajlı yüksek hızlı taşıtlarda çalışma şartları daha da zorlaşmaktadır. Yüksek hızlarda taşıtın ani olarak durdurulmasında veya uzun süreli frenleme durumunda balata yüzeylerinde 700 °C ye kadar sıcaklık yükselmeleri mümkün olabilmektedir. Çalışma şartlarının ağır olması, balatalardan istenen özellikleri artırmaktadır. Çalışma şartları dikkate alınarak değişik balata malzemeleri geliştirilmiştir (Ayar 1991).

Metal esaslı balataların aşınma dayanımı ve yüksek ısı dayanımı, organik esaslı balatalara göre daha yüksektir. Hatta daha yüksek enerji absorbe edebilme kapasitesine

sahiptir. Mesela; bazı boyutlardaki kavrama ve frenler için daha çok enerji absorbe edebilirler (Klar 1983).

Sinterlenmiş sürtünme malzemeleri uygulama alanlarına göre kuru ve ıslak olmak üzere ikiye ayrılabilirler (Topbaş 1993). Islak şartlarda, güç değişimleri ve otomatik iletimleri sağlayan kavramalar şeklindeki sürtünme elemanları yağ içine daldırılır. Kuru şartlar altındaki sürtünme elemanları ise, (uçak frenleri ve standart kavramalar şeklindeki sürtünme elemanları) yağsız olarak direk kontak halindedir (Klar 1983). Islak balatalarda Tablo 2.3' de görüldüğü gibi ana madde bakır, kuru balatalarda ise, daha az bakır ve daha fazla demir kullanılır (Uygur 1996).

**Tablo 2.3** Tipik ıslak ve kuru balata bileşimleri (%w)

	Cu	Fe	Pb	Sn	Zn	SiO <sub>2</sub>	Grafit
Islak	65– 75	-	2–5	2–5	5–8	2–5	10– 20
Kuru	10– 15	50– 60	2–4	2–4	-	8–10	10– 15

TS 555'e göre, disk veya kampana ile disk veya kampana fren balatası arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranı sürtünme katsayısı olarak tanımlanır. TS 555'e göre sürtünme katsayısı, sıcak ve soğuk sürtünme katsayısı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sıcak sürtünme katsayısı ise, 300°C, 350°C ve 400 °C sıcaklıklarda ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Soğuk sürtünme katsayısı, aşınma deneyi esnasında 100°C, 150°C ve 200°C'de ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır.

**Tablo 2.4** TS 555'e göre balataların sınıflandırılması

Sınıf	Sürtünme katsayısı ( $\mu$ )
C	0,15'e kadar
D	0,15-0,25
E	0,25-0,35
F	0,35-0,45
G	0,45-0,55
H	0,55'ten yukarı

Balata kalitesini belirlemede sürtünme katsayısı aralıkları verilmiştir. Tablo 2.4' de TS 555'te verilen sürtünme katsayısına göre balataların sınıflandırılması görülmektedir.

### 2.7.1 Balatalardan İstenilen Özellikler

Balata malzemelerinde istenilen özellikleri belirtmek için çalışma şartlarının çok iyi bilinmesi gerekir. Özellikle balata yüzeyine etki eden basınç, aracın hızı ve sürtünmeden dolayı balata yüzeylerinde oluşan sıcaklık yükselmelerinin önemli olduğu görülür. Çalışma şartlarının hafif-orta-ağır olmasına göre balatadan istenen özellikler değişmektedir. Balataların denenmesinde basınç-hız-sıcaklık değerlerinin birbiriyle olan kombinasyonları göz önüne alınır ve basınç-hız değerleri birbiri ile paralel olarak artırılır (Gemalmayan 1986).

Fren elemanlarının, sürtünme ve aşınma karakteristiklerini fren tasarımı, malzemeye ve balataya etkileyen şartlar belirler. Balata ömrünü belirleyen şartlar; sıcaklık, sürtünme hızı ve basınçtır. Fren sistemindeki sürtünme elemanları sürekli olmayan farklı büyüklükteki basınç ve sıcaklık etkisi altında çalışması nedeniyle aşınma ve sürtünme davranışları, şaşırtıcı derecede karmaşıktır. Temas halindeki yüzeyler 1 m/sn'de 1000°C' den 1100°C' ye ulaşır ve diğer yüzeyler gibi aktif olarak soğur. Heterojen ve sürekli davranış özelliği olmayan termoelastik özelliğinden kurtulmak için yüksek kabiliyetli, anizotropik sürtünme malzemeleri geliştirilmiştir (Mutlu 2002).

Sürtünme esnasında yüzeylerin pürüzlülüğü ve absorpsiyonu sonucu meydana gelen sıcaklık, sürtünme katsayısının önemli ölçüde etkiler, sıcaklığın artması malzemede sürtünme katsayısının düşmesine neden olur ve sistem görev yapmaz hale gelir (Uygur 1996).

Tüm bu kabullerin ışığında balatalar bütün frenleme durumlarında sabit kalan bir sürtünme katsayısına ( $\mu$ ) sahip olmalıdır. Ancak uygulamada hız ve basıncın artmasıyla sıcaklığın yükselmesi sonucu sürtünme katsayısında düşme görülür. Araçların farklı hızlarında yapılan frenleme sırasında taşıtın kullanılma yeri, kullanım ve iklim şartları hiçbir zaman ve hiçbir şekilde fren kuvvetine negatif yönde tesir etmemelidir (Demirsoy 1973). Balata özellikleri olumsuz şartlardan etkilenmemelidir.

Literatürde balatalardan istenen özellikler aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1. Her çalışma şartlarında sabit sürtünme performansı,
2. Sürtünme katsayısının sıcaklık, fren basıncı ve hızdan bağımsız olması veya sürtünme davranışındaki değişimin az olması,
3. Yüksek sıcaklık direnci,
4. Yüksek ısı iletkenliği,
5. İyi korozyon direnci,
6. Yüksek mekanik mukavemet,
7. Düşük gürültü seviyesi,
8. Hava koşullarından etkilenmeme,
9. Balata malzemesinin sağlığa zararsız olması,
10. Yüksek aşınma mukavemeti ve karşı malzemede düşük aşınma istenmektedir.

### **2.7.2 Balata Çeşitleri**

Sürtünme malzemeleri yaygın olarak metalik, karbon, organik (reçine bağlı) olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır.

### **2.7.2.1 Metalik Esaslı Fren Balataları**

Metalik balatalar genellikle bakır veya demir esaslıdır ve aşırı derecede ısı kararlılık isteyen uygulamalarda kullanılır. Çoğunlukla performansı arttırmak için inorganik katkı maddeleri veya seramiklerle birlikte ve katı faz sinterlemesi uygulanarak üretilirler. İmalatları kolay ve bir dereceye kadar ucuzdurlar. Yüksek yoğunlukta olmaları fren sistemini diğerlerine göre biraz daha verimli yapar (Bijwe 1997).

### **2.7.2.2 Karbon Esaslı Fren Balataları**

Karbon esaslı fren balataları askeri ve ticari uçak disk frenleri için geliştirilmiştir. Bu balatalar ağırlığın kritik olduğu, yüksek performansın istendiği ve maliyetin ikinci derece önem taşıdığı yarış arabalarında da kullanılmaktadır. Karbon-karbon sürtünme malzemeleri amorf karbonla bağlanan karbon elyaflardan imal edilmektedir. Amorf karbon bağlayıcıyı oluşturmak için organik reçinelere yüksek sıcaklıklarda pişirme veya kimyasal buhar çöktürme işlemi uygulanmaktadır. Daha sonraki işlemler sonunda oluşan balata düşük gözenekli saf karbon olmaktadır (Baker 1992, Dönmez 2000).

### **2.7.2.3 Organik Polimer Esaslı Fren Balataları**

Frenlerde ve kavramalarda kullanılan en yaygın sürtünme malzemeleridir. Birçok değişik bileşimleri vardır ve genellikle bileşimleri patentlidir. Bağlayıcılar, dolgu maddeleri, sürtünme düzenleyiciler ve takviye ediciler olarak kategorize edilirler. Asbest esaslı ve asbestsiz olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar (Bijwe 1997).

### **2.7.3 Balata Oluşumunda Kullanılan Malzemeler ve Fonksiyonları**

Endüstri ve otomotiv uygulamalarındaki sürtünme malzemeleri üç ana gruba ayrılır. Bunlar organik, yarı metalik ve asbestsiz balatalardır. Tüm bu çeşitlerde performans karakteristikleri dikkate alınırken onların içindeki maddelerin benzerlikleri ile gruplanırlar. Otomotiv endüstrisinde kullanılan sürtünme malzemelerini oluşturan maddeler benzer özellik ve kullanım amacına göre dört sınıfta kategorize edilebilir (Washabaugh 1987).

Bunlar;

1. Fiberler (takviye malzemeleri),
2. Dolgu maddeleri,
3. Bağlayıcı Maddeler,
4. Sürtünme ayarlayıcı maddelerdir.

İstenen özelliklerde bir balata üretilebilmesi için ana grup olarak bağlayıcılar, takviye malzemeleri, dolgu maddeleri ve sürtünme ayarlayıcılar kullanılır (Bijwe 1997). Renklendiriciler, temizleyiciler gibi diğer katkı maddelerini dolgu malzemeleri arasında düşünebilir. Balata katkı maddeleri istenen fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamak, sürtünme-aşınma ve diğer özellikleri iyileştirmek amacıyla kullanılır (Dönmez 2000).

### **2.7.3.1 Fiberler (takviye malzemeleri)**

Elyaf lar ana yapı oluşturabilmek için bir yandan diğer yana uzanan örülmüş veya üst üste bindirilmişlerdir. Bu işlemde fren balataları için gerekli güç, sağ lamlık ve rijitlik sağlamak amaçlanır. Ek olarak eğilme gerilmelerini artırır. Elyaf sürtünme malzemelerini kuru karışım durumunda, ön şekillendirmede ve yüksek sıcaklıklarda termal dengede tutar (Washabaugh 1987).

### **2.7.3.2 Asbest**

Asbestin teknolojik değeri başlıca üç özelliğinden kaynaklanmaktadır. Ateş e dayanıklıdır, elektrik ve ısı yalıtımı yüksektir, lifli yapısından dolayı fenolik kompozitlerde çelik kafeslere benzer şekilde özel bağlayıcılık özelliğ i gösterir. Bu yüzden, başka malzemelere karıştırılan asbest ileri derecede dayanıklılık sağlayabilmektedir (Türk Sağlık Ajansı Yayınları 1 1991). Özgöl ağırlığı 2,1-2,8 gr/cm<sup>3</sup> ve ergime noktası 1150-1550° C'dir (Sophie and Mason 2002).

- Sıcaklık dayanımı 650°C'ye kadar kararlı, 650°C üzerinde katı silikonlara ayrışır.

- Ayrışma ürünleri asbestten daha yüksek sürtünme katsayısına sahiptir.
- Düşük ısı iletkenliği
- Yeterli mukavemet
- Esneklik
- Kesmeye dayanıklı
- Yüksek yüzey alanı
- Ergimiş veya çökelti şeklinde reçine ve kauçuğu emer
- Yüzey reçine ve lastik tarafından kolayca ısıtılır ve yapışır.

### **2.7.3.3 Cam Elyafı**

Cam elyafı, eritilmiş cam karışımının basınçlı hava ile sıkıştırılması sonucu özel olarak yapılmış bölmelerden aşağı akıtılarak elde edilir (Welch and A.F. 1953). Bu işlem sırasında erimiş cama, dolomit ve alümina katılarak istenilen fiziksel özelliklerde üretilen liflerin yoğunluğu 2,5-2,54 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişir. Asbestsiz sürtünme malzemelerinde ana yapının mukavemetini arttırmak amacı ile %10–15 oranında cam elyafına yer verilmiştir. Ayrıca cam elyafın ısı iletiminin az olması asbest liflerine iyi bir alternatif olması ve fleksibl özelliğinden dolayı sürtünme malzemelerinde kullanılabilir yapıya sahiptir (Gemalmayan 1984).

### **2.7.3.4 Kevlar (Aramid)**

Kevlar, ticari olarak mevcut olan en mukavim ve rijit organik elyaftır. Kevlar, tescilli marka olup para aramid elyaflara Du-Pont firmasının verdiği ticari addır. Sıcaklığın artması ile bu özellikler tedricen azalır fakat 425°C sıcaklığa kadar, hatta kısa süre içinde 530°C dereceye kadar faydalı takviye sağlar. Kevların doğal tokluğu, önemli sayılabilecek kopma uzaması ve kolaylıkla eğilebilmesi (mineral ve suni inorganik elyafların gevreklik karakteristiğini önler) diğer önemli özellikleridir (Stocks et al. 1985). Ayrıca pullaşma ve karıştırma gibi yüksek kayma gerektiren işlemler sırasında uzunluğunu muhafaza etmektedir. Bu özellikler ürünün sürtünme aşamasında özelliğidir.



### **2.7.3.5 Çelik Elyaf (Çelik Yünü)**

Çelik elyaf uygun takviye etme özelliği, iyi ısı ve sürtünme kararlılığı, ekonomik oluşu ve karıştırma esnasında parçalanmaya karşı direnci sayesinde en çok kabul gören alternatif malzemelerden biridir. Uzun elyaflar daha iyi takviye sağlarken kısa elyaflarda kalıplamada daha kolaylık sağlar. Uzun elyaflar ticari araçlarda disk balata uygulamalarında başarı ile kullanılmaktadır Korozyon dezavantajına rağmen yumuşak çelik elyaf daha kolay işlenebilir ve ucuz olması sayesinde tercih edilmektedir (Baker 1992). Yoğunluğu  $7,86 \text{ gr/cm}^3$ , elyaf uzunluğu 1-5 mm, elyaf kalınlığı 16  $\mu\text{m}$ , genişliği 50  $\mu\text{m}$ , çekme dayanımı 2600 MPa, elastiklik modülü 200 GPa, Mohs sertliği 5'tir.

### **2.7.3.6 Taş Yünü**

Hammaddesi doğal volkanik kayadır. Yüksek sıcaklığa dayanıklı mineral elyafıdır. Daha çok ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılır. Taş yünü İzocam Ticaret ve Sanayi A.Ş. firması tarafından üretilmektedir. Taşyünü; bazal taşının öğütülüp toz haline getirilerek, çeşitli kimyasal maddeler ve geri dönüşümlü çöp maddelerinin bileşiminden oluşur. Taş yünü değişik boy elyaflardan oluşmakta, diğer malzemelerle birlikte karıştırıldığında parçalanarak içyapıya dağılmaktadır.

### **2.7.3.7 Basarit**

Basarit (tescilli ticari marka) Deutsche Basaltsteinwolle GmbH firması tarafından balata imali için üretildiği bildirilmektedir. Ergitilerek 1 m uzunluğa kadar elyaf yapılabilen bazalt, sıcaklığa dayanıklı, ısı ve ses izolasyonuna uygun, korozyona dayanıklı, sert ve elastiktir. Asit çözeltileriyle kimyasal reaksiyona dayanımı orta, alkali çözeltilerle kimyasal reaksiyona dayanımı iyi, çözücülerle kimyasal reaksiyona dayanımı çok iyi, sıcaklığa dayanıklı, ısı ve ses izolasyonuna uygun, korozyona dayanıklı, sert ve elastiktir (Katalog 1 1998, Dönmez 2000).

### **2.7.3.8 Fiberfrax**

Çok yüksek sıcaklıklarda kararlı, çok düşük ısıl genleşme katsayısı, düşük elektrik iletkenliği, mükemmel ısıl şok dayanımı, iyi çekme dayanımı ve çok iyi korozyon dayanımına sahiptir. Takviye olarak fren balata karışımlarında oldukça yüksek sıcaklık (ısıl feyd) dayanımı sağlar (Dönmez 2000).

### **2.7.3.9 Cashew Sürtünme Tozu**

Cardenol CNSL (Cashew Nut Shell Liquit) den imal edilen fenol olarak bilinir. Cardenolün kendine özgü moleküler içeriği, özellikle doymamış uzun hidrokarbon zincirleri çapraz bağların kolayca polimerleşmesiyle esnekliğe katkıda bulunmasını, yüksek elektirik yalıtımı uygulamalarını ve termal stabilite sağlar. Ayrıca zincirler polimerin hidrofobik özelliğini açığa çıkarır. Cardenol bulunan reçineler mineral yağlarını yumuşatmada, antimikrobik proseslerde, böcek ilacı olarak, boyama ve verniklemede, epoxy reçinesi ve yağ çözücü reçine olarak, elektriksel yalıtım malzemesi olarak da kullanılır. Cardenol asitlere ve alkalilere karşı yüksek direnç gösterir.

Cashew sürtünme parçacıkları stabilite sağlamak için fren balatası bileşiminde kullanılmaktadır. Doğal esnekliğe sahip olmasıyla yoğun etkileri absorblama ve tamponlama özeliği bileşime katılan Cashew sürtünme parçacıklarının etkileyici özelliklerindedir. Ayrıca fren yüzeyinde kolayca ayrışır çeşitli sıcaklıklarda geliştirilerek aşınma kontrol edilir. Aşırı sıcaklık artışını engelleyerek koruyucu organ olarak davranır. Aynı zamanda ısıyı kolayca absorbe eder ve ısıyı balatanın içerisinde her alana eşit olarak dağıtır. Bu özelliklerinden dolayı Cashew sürtünme tozu önceleri ham malzeme olarak ağır taşıtlar için asbestli ve asbestsiz fren balatalarında kullanılmıştır (Peter 2001).

### **2.7.3.10 Karbon Elyaf**

Karbon takviyeli malzemeler ise çok yüksek dayanım, yüksek rijitlik ve hafiflik istenen yerlerde kullanılır. Yorulma dayanımı açısından bu malzeme, metal malzemelerden daha üstündür (Aran 1990).

Kompozit malzemelerde kullanılan elyafların fiziksel biçimleri, oluşturulan yeni malzemenin özellikleri üzerinde çok önemli bir faktördür. Takviyeler temel olarak 2 farklı biçimde bulunmaktadır; parçacık ve süreksiz elyaflar. Parçacık genelde küresel bir biçimde olmamasına rağmen her yönde yaklaşık olarak eşit boyutlardadır. Elde edilen ürünler mükemmel korozyon ve yorgunluk direncinin yanı sıra yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler (İnt. Kyn. 5).

Aşağıda karbon / karbon kompozitin sıradışı temel fiziksel özellikleri sıralanmıştır.

- 2000°C sıcaklıklarda dahi eşsiz dayanımı
- Isıl genleşme katsayısının düşüklüğü
- Isıl şok dayanımının yüksekliği
- Artırılmış aşınma dayanımı
- Yüksek dayanımına rağmen hafifliği
- Yüksek şekil alma kabiliyeti
- Yüksek ısı iletkenliği
- Mükemmel elektrik iletkenliği
- Ani ısınma, ani soğuma özelliği
- Gelişmiş kırılma tokluğu

#### **2.7.4 Bağlayıcı Malzemeler**

Bağlayıcılar balata bileşenlerini kullanım öncesinde ve kullanım sırasında bir arada tutan yapıştırıcılardır. Bağlayıcı olarak birçok termoset reçineyi kullanmak mümkündür. Doğal veya sentetik kauçuk da bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Bağlayıcılar tek tek kullanılabilir olmakla beraber birden fazla bağlayıcı birlikte de kullanılmaktadır (Vishwanath et al. 1993). Fakat bunlar arasında fenol formaldehit reçine adı verilen termoset reçineler otomotiv sektöründe kullanılan en yaygın bağlayıcıdır. Bu reçinelerin en büyük özelliği sıcaklıkta sertleşmeleridir. Termoset malzemelerin özelliği erime derecesi yanma derecesinin üzerindedir. Fenol (Phenol) ( $C_6H_6O$ ) ve formaldehit (Formaldehyde) ( $CH_2O$ ) kalıp pudrası halinde kullanılır, polimerleştirme reaksiyonu, polimerin normal sıcaklıklarda katı olduğu fakat ısı ve basınç etkisi altında akabileceği

bir basınç etkisi altında durdurulur. Karışım basınç altında kalıplanır, sürtünmenin azaltılabilmesi için bir miktar grafitte yer verilir. Fenol formaldehitler yüksek sıcaklıklarda kullanışlıdır çünkü sürekli bir yapı kafesine sahip oldukları için moleküller arasında kayma olmaz. Böylece şekil değiştirme sıcaklığın yükselmesine bağlı değildir. Fenol formaldehit reçinenin içerisinde %40 fenol, %22 formaldehit, %4 kresol, %34 su, çözücü ve diğer dolgu maddeleri bulunmaktadır (Gemalmayan 1984).

### **2.7.5 Dolgu Malzemeleri**

Dolgu malzemeleri, sürtünme özelliklerini bozmadan balatayı geliştirmek, hacim doldurmak ve maliyeti düşürmek amacıyla kullanılır. Sürtünmeyle oluşan ısının homojen bir şekilde dağılması ve sürtünme katsayısının ayarlanması, mukavemetin ve korozyon direncinin artırılması ve balatanın renklendirilmesi dolgu maddelerinin yardımıyla sağlanmaktadır.

Genelde ideal bir dolgu maddesinden istenen bazı özellikler aşağıda verilmiştir.

- Takviye edici özelliği olmalıdır.
- Kalıcı olmalıdır. Yani, su ve diğer sıvılardan etkilenmemelidir.
- Kararlı olmalıdır. Yani, polimer stabilitesini bozmamalıdır, polimerlerle temas eden kimyasal maddelerin ışığın ve ısının etkisiyle çözünmemeli, düşük yağ ve su absorpsiyonuna sahip olmamalıdır.
- Mekanik özellikleri iyileştirmelidir. Abrasif aşınma direncini artırma, boyutsal
- stabilizeyi artırma, alevlenmeye karşı direnci artırmalıdır.
- Maliyeti düşürmelidir (Ayar 1991).

#### **2.7.5.1 Barit**

Barit minerali ( $BaSO_4$ ) baryum (Ba) elementinin ve bileşiklerinin ana kaynağını teşkil eder.  $BaSO_4$  (barit) miktarı azaltıldığında yüksek sıcaklıklarda dahi sürtünme katsayısı kararlılığını koruduğu, ancak aşınma oranının önemli derecede arttığı gözlenmiştir.

Alternatifi olarak  $\text{CaCO}_3$  kullanılır. Daha ucuzdur, ancak yüksek sıcaklıklarda dayanıksızdır (Nicholson 1995). Özgül ağırlığı  $4,5 \text{ gr/cm}^3$ , erime noktası  $1580^\circ\text{C}$  ve sertliği 2,5-3,5, renksiz, beyaz, bazen sarı ve gri olup, sürtünme malzemelerinde baritin daha dengeli olmasından dolayı %50-55 arasında yer verilmektedir (Gemalmayan 1986).

### **2.7.5.2 Alçı**

Alçı taşı tabiatta mineraller halinde bulunur. Bu mineral genellikle şist, kireç taşı ve dolomit ile birlikte bulunur. Çoğunlukla beyaz, gri, sarı ve pembe renklerde karışım halinde bulunan masif alçı taşı yumuşak bir yapıya sahiptir (Alçı Teknolojisi 1978). Kimyasal olarak %93,8  $\text{CaSO}_4$ , %6,2  $\text{H}_2\text{O}$ 'dan oluşmaktadır.  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$  formülü ile gösterilmekte ve yarım sulu alçı olarak da bilinmektedir. Su katıldığında  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  olarak sertleşmektedir. Yoğunluğu  $1,23 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Alçının ortalama tane büyüklüğü  $167 \mu\text{m}$ 'dur (Lavrence 1975, Çavuşoğlu 1989).

### **2.7.5.3 Talk**

Talk formülü  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  olan bir magnezyum silikat mineralidir. Talkın ortalama tane büyüklüğü  $102 \mu\text{m}$ , yoğunluğu  $2,7 \text{ gr/cm}^3$ , yanma kaybı % 7,05–7,3 özgül ısı  $0,870 \text{ KJ/kg}$ , sertlik 1-2 Mohs, tipik kimyasal analizi; %42-54  $\text{SiO}_2$ , %7-25  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , %0,94-1,25  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , %0,2-15  $\text{CaO}$ , %23-32  $\text{MgO}$ , olarak verilmektedir. Kâğıtta, lastiklerde, kozmetiklerde vb. dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Kaya 1983).

### **2.7.5.4 Kil**

Kil, püskürük kayalar içerisinde veya saf halde bulunan feldspatların zamanla karbonik asit'in etkisiyle çözülüp değişmesinden oluşur. Esas maddesi, içerisinde su bulunan silikattır. Doğadaki killerin çoğunun içinde kalker, mika ve daha birçok maden oksitleri bulunur Genellikle  $0,002 \text{ mm}$  den daha küçük tanelidir. Kili meydana getiren sulu  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  olarak isimlendirilen bu maddeler, tabakalar meydana getirerek birleşirler ve

kil minerallerini meydana getirirler. Böylece kil minerallerinin esas bileşimini oluştururlar (Ekmekyapar ve Örüng 1997, Süme ve Güner 1999).

#### **2.7.5.5 Kizelgur (Diatomit)**

Diatomit, saf, kumlu, milli, killi, kireçle, marnlı, tüflü tiplerde gelişebilir. Masif olabilir veya lâminalı tabakalanma da gösterebilir. Tane boyu dağılımı diatomelerin cinsine ve iriliğine, kavkuların tam veya kırık oluşuna, kil ve kum gibi katkıların varlığına ve oranına bağlı olarak değişir. Yüksek absorpsiyon özelliği vardır (Akkurt 1991).

#### **2.7.5.6 Mermer Tozu**

Kireç taşlarının ( $\text{CaCO}_3$ ) zamanla doğada meydana gelen ısı ve basınç (metamorfizma) etkisi ile kristalize olmuş sert taşlara mermer adı verilir. Kimyasal bileşimlerinde büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranlarda silisyum dioksit, ayrıca pigment olarak da değişik metal oksitleri bulunmaktadır (Önenç 1998, Kun 2000).

#### **2.7.6 Sürtünme Ayarlayıcı Malzemeler**

Sürtünme ayarlayıcı katkı maddeleri sürtünme katsayısını değiştiren maddelerdir. Bunları abrasif olan ve olmayan şeklinde ayırmak mümkündür. Toz halde alümina gibi abrasif özellikli malzemeler sürtünme katsayısını artıran, grafit gibi katı yağlayıcılar ise sürtünme katsayısını istenen düzeye getirmek için katılan bileşenlerdir. Bunlara aşınma özelliklerini ve mekanik özellikleri iyileştirmek için ilave edilen elastomerler, fenolik sürtünme parçacıkları, fenolik reçineler için kürleştiriciler ve diğer sürtünme artırıcı ve azaltıcı katkılar da dahildir. Pirinç, çinko veya diğer metal tozları abrasif özellikleri kontrol etmek için katılmaktadır. Metalik tozlar ısı iletimini artırdığı gibi fren zayıflama dayanımının iyileşmesinde faydalı olduğu da ifade edilmiştir (Bijwe 1997, Dönmez 2000).

### **2.7.6.1 Grafit Tozu**

Sürtünme malzemelerinde önemli yer tutan grafitin, balatalarda yüzde miktarı uygun değerlerde tutularak, sürtünme katsayısı dağılımının istenilen düzeyde olması sağlanır. Grafitin sürtünme katsayısı 0,1-0,15 civarındadır. Bu düşük sürtünme katsayısı grafitin tabakalı yapısına bağlanmıştır. Grafit seklindeki karbon ince tabakalardan oluşur. Tabakaların basma dayanımı yüksek olmasına rağmen birbiri üzerinde kolayca kayabilirler. Basmaya karşı yüksek dayanım temas alanının küçük olmasını sağlarken kolay kayma düşük bir tabakalar arası kayma dayanımı sağlar. Bu özelliğiyle balatalarda sürtünme ayarlayıcı olarak kullanılır. Yoğunluğu  $2,1 \text{ gr/cm}^3$ , ısı iletkenliği  $5.000 \text{ W/mK}$ 'dir (Esin 1981).

### **2.7.6.2 Bronz Tozu**

Bileşimi ağırlıkça %80–83 Cu, %20–17 Sn olan bronzdan üretilmektedir. Bronz tozunun tane büyüklüğü kullanım amacına göre değişik ölçülerde olabilir. Yoğunluğu  $8 \text{ gr/cm}^3$ , ergime sıcaklığı  $900^\circ\text{C}$ , ısı iletim katsayısı  $86,0\text{--}116,0 \text{ W/mK}$  olarak verilmektedir (Kaya 1983).

### **2.7.6.3 Alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

Yoğunluğu  $3,97 \text{ g/cm}^3$  arasında, Mohs sertliği 9 ve ortalama toz boyutu  $120 \mu\text{m}$  civarındadır. Erime sıcaklığı  $2050^\circ\text{C}$  ve ergime ısısı  $5100\text{--}6000 \text{ cal/gr.mol}$  olarak belirtilmiştir (Kara 1998).

### **2.7.6.4 Silisyum oksit (SiO<sub>2</sub>)**

Yoğunluğu  $2,30 \text{ g/cm}^3$ , Mohs sertliği 7,5 ve ortalama toz boyutu  $100 \mu\text{m}$  civarındadır. Erime sıcaklığı  $1710^\circ\text{C}$ 'dir (Kara 1998).

### **2.7.7 Temizleyiciler**

Temizleyiciler; balata bileşimine karşı malzemeye yapışıp katılmış olan bağlayıcıların kazınıp sökülmesi amacıyla katılmaktadır. Bazı balata malzemeleri kendi kendine temizleyicidir. Temizleyiciye ihtiyaç duyulan bazı bileşim ve kullanım şartlarında pirinç tozu, bronz tozu, çinko tozu gibi metalik malzemeler kullanılmaktadır (Dong et al. 1996).

### **2.7.8 Renklendiriciler**

Sürtünme malzemelerinde, malzemenin dış görünüş rengini değiştirerek göze daha iyi görünebilmesi ve konstrüksiyonda uyum sağlaması açısından renk verici maddeler kullanılır (Yamashita et al. 1993). Siyah demir oksit ( $Fe_3O_4$ ), sarı demir oksit ( $Fe_2O_3.H_2O$ ), kırmızı demir oksit ( $Fe_2O_3$ ) ve karbon siyahı sıkça kullanılan renk vericilerdir (Dong et al. 1996).

### **2.7.9 Madeni Dolgu Malzemeleri**

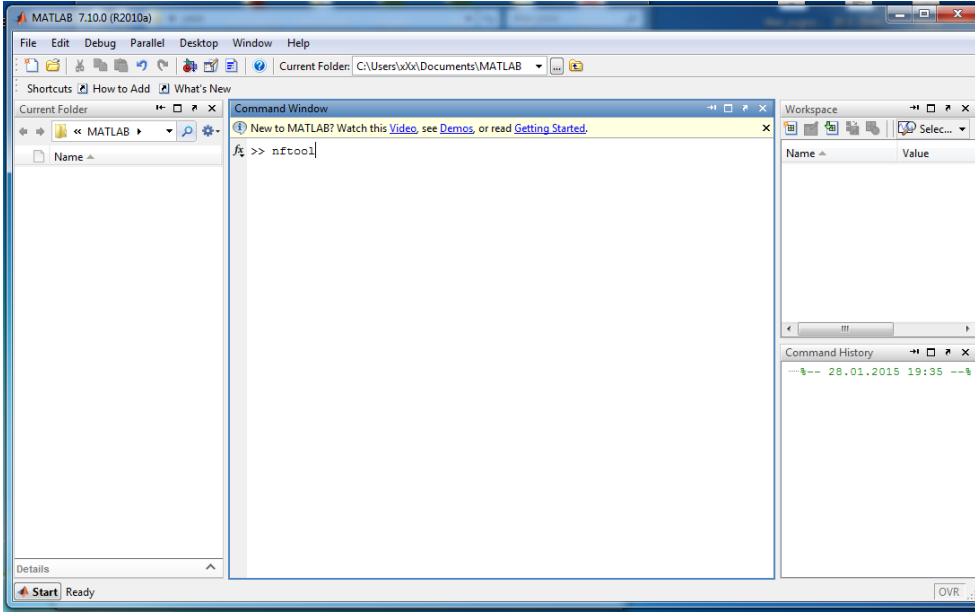
Sürtünme malzemelerinde (balatalarda) yapıyı homojenleştiren, ısı iletim katsayısını düzenleyen, aşınma ile sürtünme katsayısının dağılımına etkisi olan bu malzemeleri, metal yünleri ve metal talaşları oluşturur. Genellikle metal yünü olarak demir ve alüminyum yünleri, talaş için de pirinç, bakır ve alüminyum metallerinin talaşları kullanılır. Bu malzemelerin kompozit içerisindeki oranları ve sertlikleri iyi seçilerek karşı malzemeye zarar vermemesi gerekir (Anderson 1992).



### 3. MATERYAL VE METOT

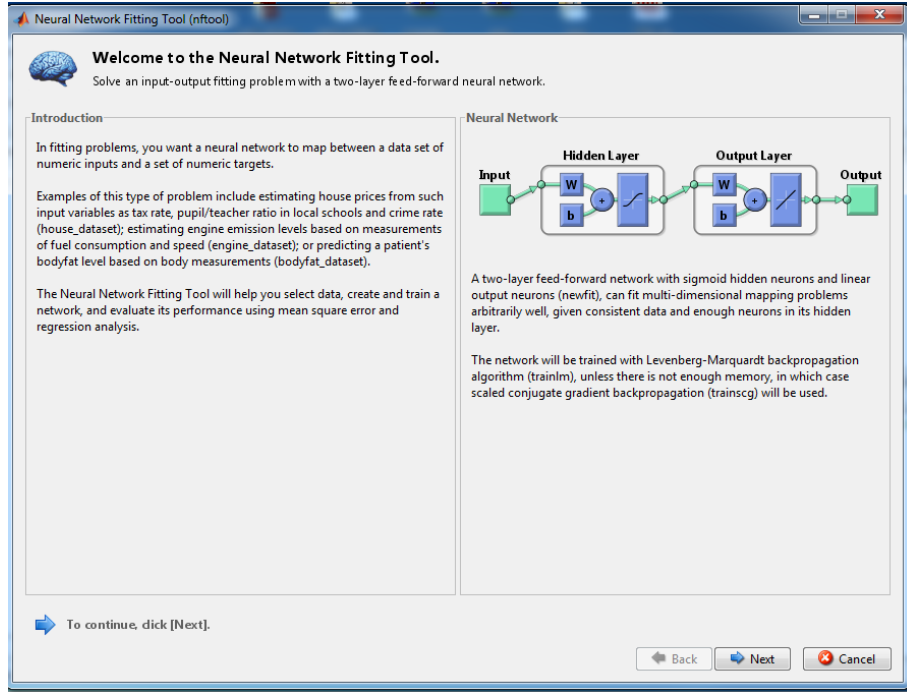
#### 3.1 Yapay Sinir Ağları Eğitimi ve Ağ Model Oluşturma

YSA tahmin yapabilmek için Matlab R2010a programı kullanıldı. Command Window komut satırına Neural Network Fitting Tool (nftool) komutu yazılmaktadır (Resim 3.1).

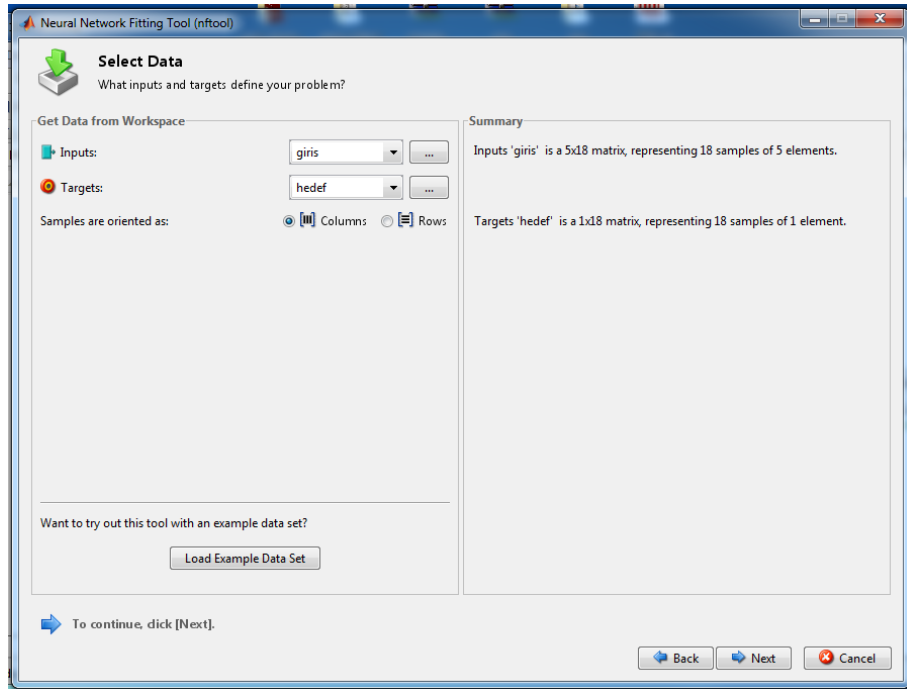


**Resim 3.1** Matlab R2010a Command Window komut penceresine “nftool” komut yazılışı.

Nftool komutu yazıldıktan sonra Resim 3.2’deki neural network fitting tool başlangıç penceresi penceresi görülür ve ileri denilerek devam edilmektedir.



Resim 3.2 Neural network fitting tool başlangıç penceresi.



Resim 3.3 Select data veri giriş penceresi.

Eğitimde kullanılacak verilerin seçimi için Select Data penceresinden Resim 3.3’de görülen Inputs ve Targets değerleri için her numunesi 3 adet üretilip deneyi geręekleřtirilen Tablo 3.1’deki 18 adet fren balata iğeriği giriş verisi (Inputs) olarak kullanıldı.

**Tablo 3.1** YSA eğitiminde kullanılan balataların kompozisyonundaki oranları (gr) (şeker 2012).

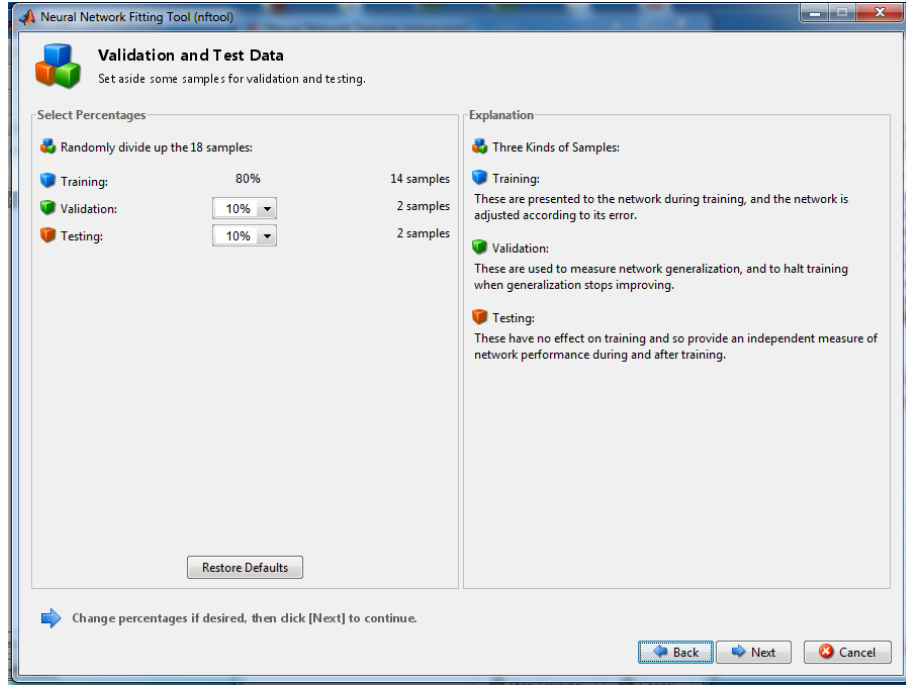
Numune	Reçine	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pirinę Talaşı	Cashew	Karbon Elyaf	Bakır Tozu	Grafit	Barit	Toplam
1	20	3	1	6	9	6	3	52	100
2	20	3	1	6	12	9	6	52	109
3	20	3	1	6	15	12	9	52	118
4	20	3	1	9	9	6	6	52	106
5	20	3	1	9	12	9	9	52	115
6	20	3	1	9	15	12	3	52	115
7	20	3	1	12	9	9	3	52	109
8	20	3	1	12	12	12	6	52	118
9	20	3	1	12	15	6	9	52	118
10	20	3	3	6	9	12	9	52	114
11	20	3	3	6	12	6	3	52	105
12	20	3	3	6	15	9	6	52	114
13	20	3	3	9	9	9	9	52	114
14	20	3	3	9	12	12	3	52	114
15	20	3	3	9	15	6	6	52	114
16	20	3	3	12	9	12	6	52	117
17	20	3	3	12	12	6	9	52	117
18	20	3	3	12	15	9	3	52	117

Sürtünme katsayıları hedef çıkış verisi (Targets) olarak YSA ya veri girişi yapıldı, Tablo 3.2’de görülmektedir.

**Tablo 3.2** YSA’da hedef (istenilen) olarak kullanılan sürtünme katsayıları (Şeker 2012).

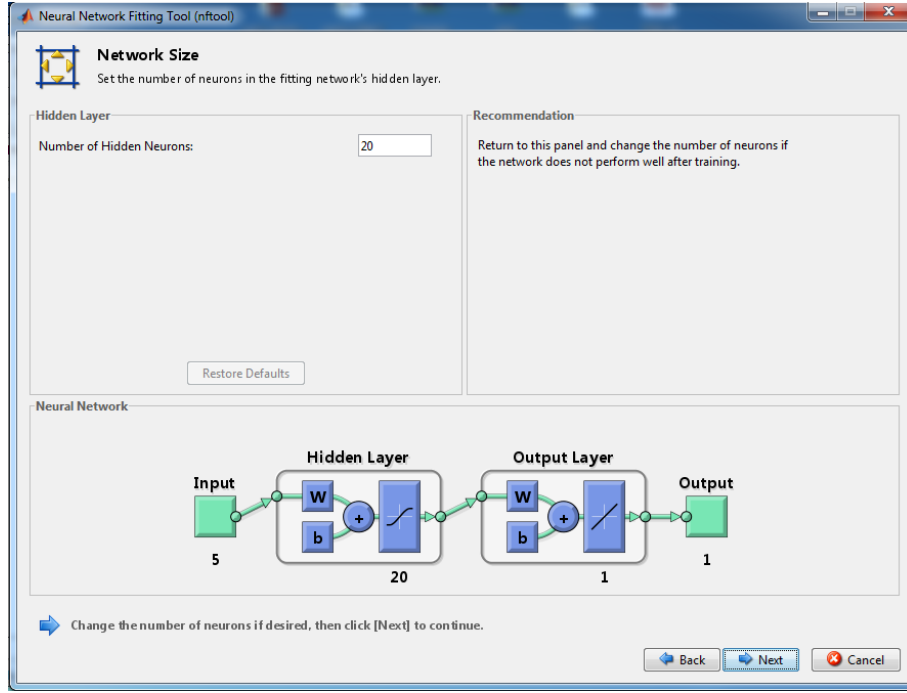
Numune No	Sürtünme Katsayısı	Numune No	Sürtünme Katsayısı
1	0,42	10	0,47
2	0,43	11	0,45
3	0,43	12	0,45
4	0,41	13	0,47
5	0,43	14	0,42
6	0,46	15	0,44
7	0,43	16	0,42
8	0,42	17	0,43
9	0,43	18	0,41

YSA eğitiminde kullanılacak giriş verileri ile hedef verilerini ağ modellemede kullanılacak “Training, Validaiton ve Testing” dilimlerinin % (yüzde) seçimi yapılır (Resim 3.4).

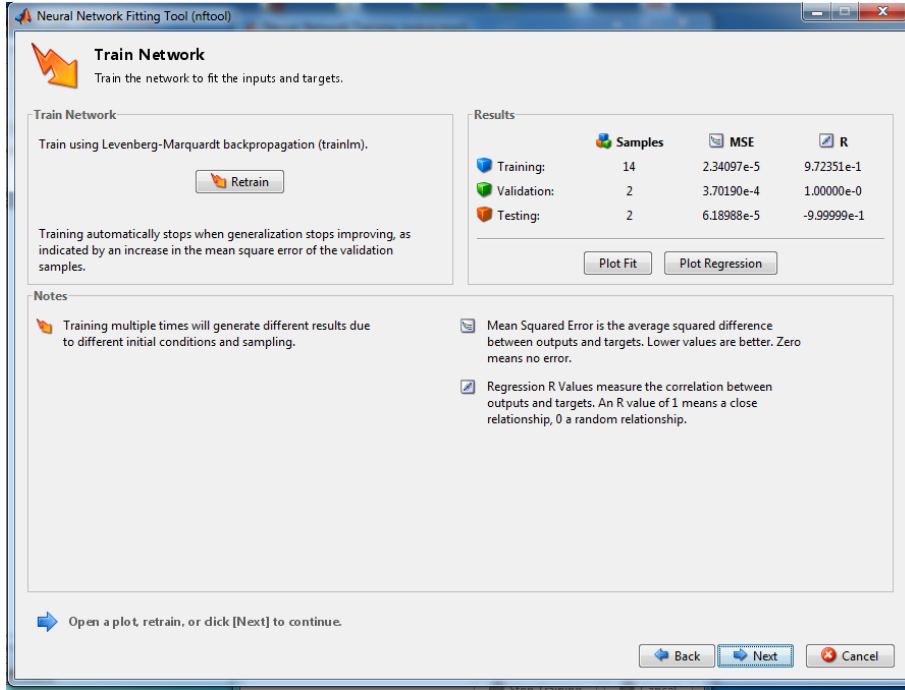


**Resim 3.4** YSA eğitiminde kullanılacak verilerin % değerlerinin belirlenmesi.

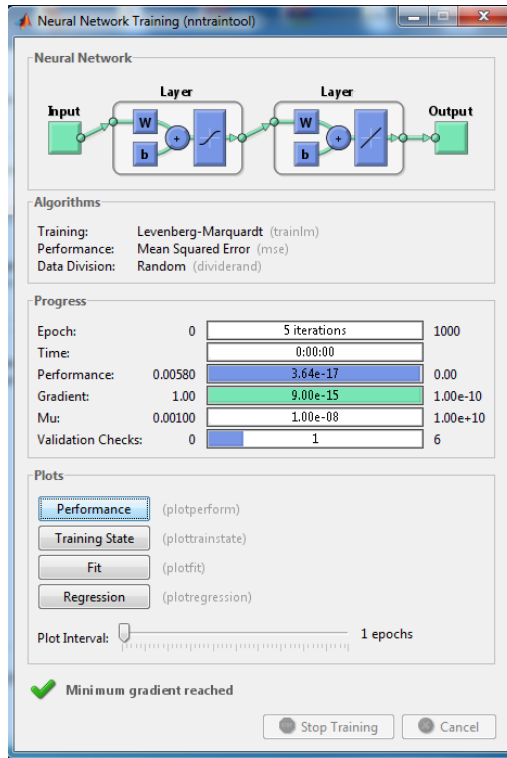
Sonra ileri komutu seçildiğinde arayüzdeki model ve gizli katman sayısı belirlemek için Resim 3.5’deki komut penceresinde görülen Number of Hidden Neuron değeri yazılır. İleri (Next) komutu seçilerek Resim 3.6 görülen pencereye ulaşılır. Train komutu ile ağın eğitimi yapılır. Resim 3.7’ de YSA ağ model yapı ve eğitimdeki tekrar sayısı belirlenir.



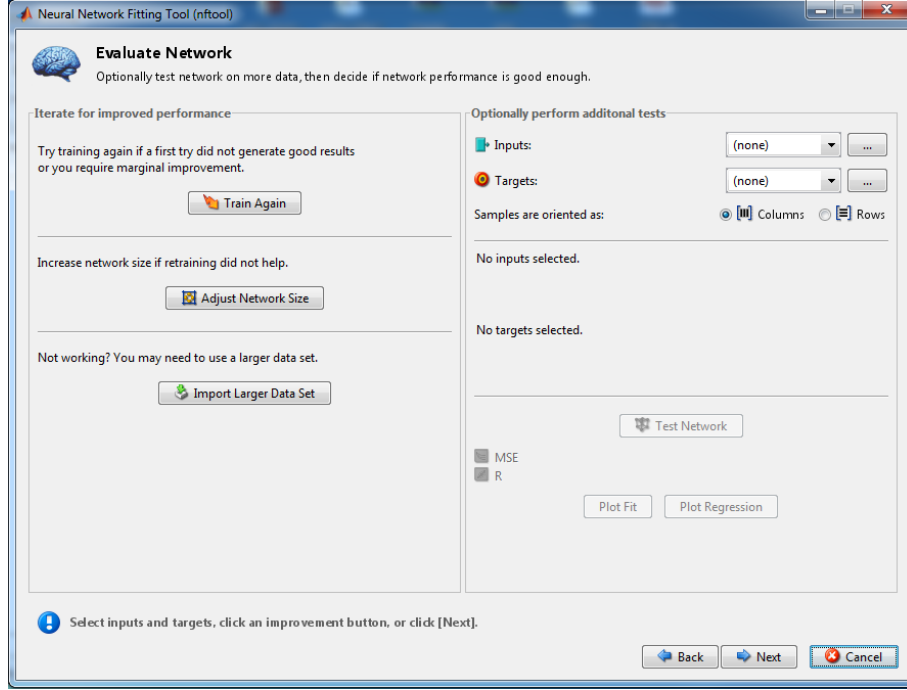
**Resim 3.5** YSA ağ modeli oluşumu ve arayüz sayısı.



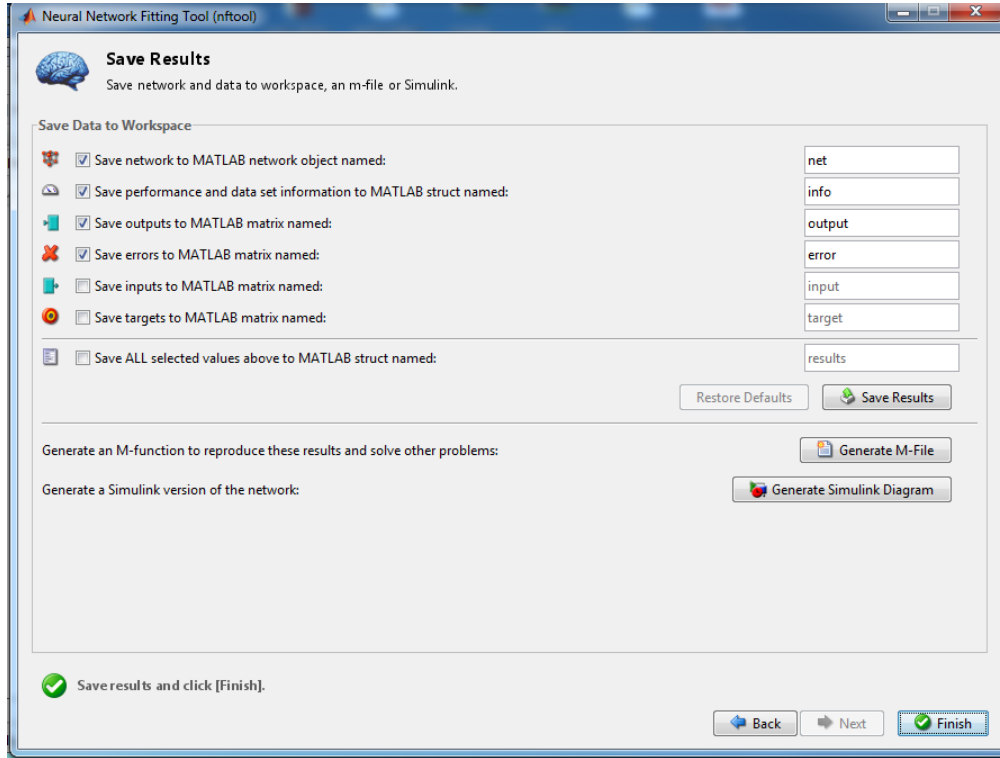
Resim 3.6 YSA ağ modeli eğitimi ile başlama.



Resim 3.7 YSA ağ model yapısı ve eğitimdeki tekrar sayısı.



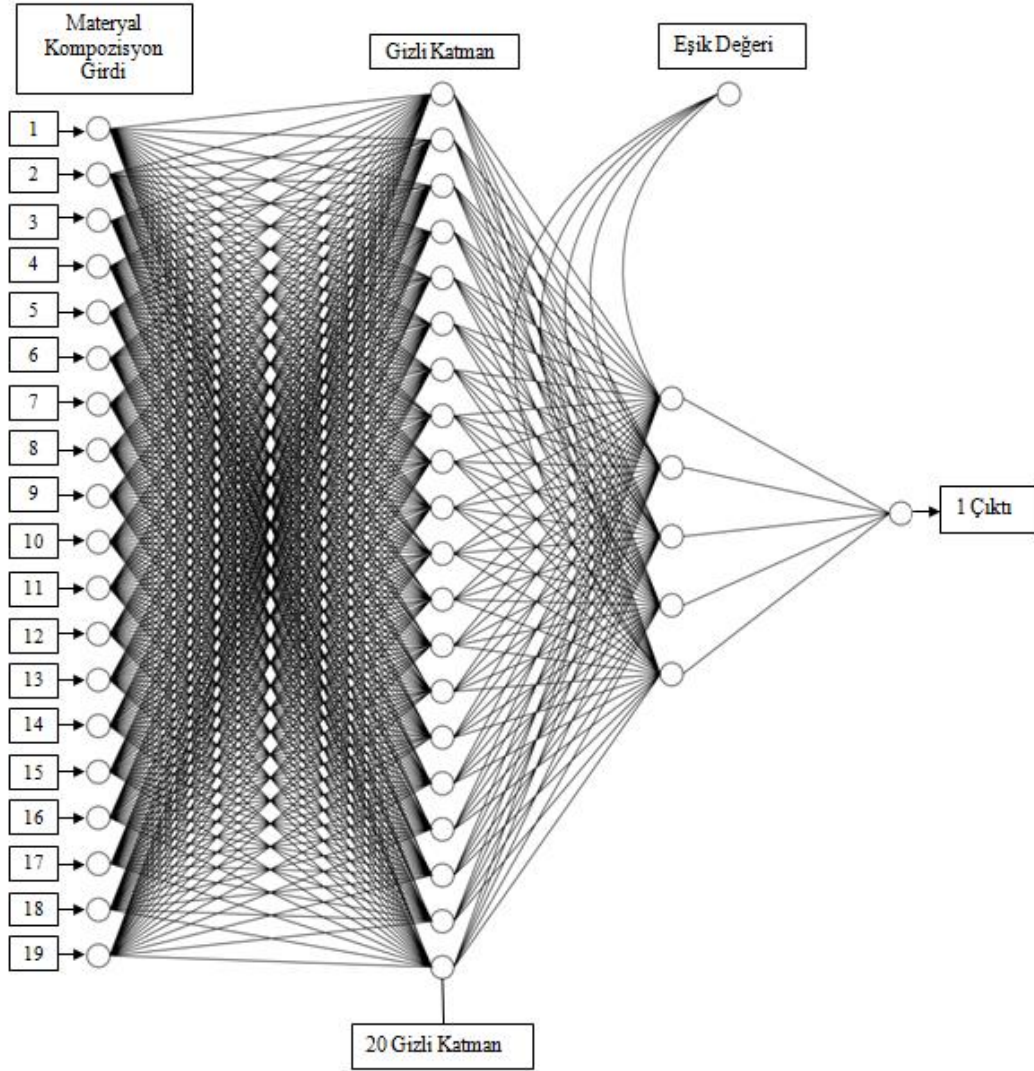
Resim 3.8 Ağı değerlendirme ve istenildiğinde veri girişi yapıp tekrar ağı eğitime



Resim 3.9 Eğitimi hazırlanmış ağı modelinin çıkış verileri kaydedilmesi

Eğitimi yapılan ağ mimarisine gerekli durumlarda, Resim 3.8’de görülen veri girişleri yapılarak ağ tekrar eğitilebilir. Herhangi veri giriş yapılarak ağ eğitilmemesi durumubda İleri komutu ile Resim 3.9’da görülen net, info, output, eror değerleri kayıt edilir. Ağ yapısı tahminde bulunabilmek için YSA hazırdır.

### 3.2 Eğitimi Yapılan Ağ Modeli ve Sürtünme Performansı Tahmini

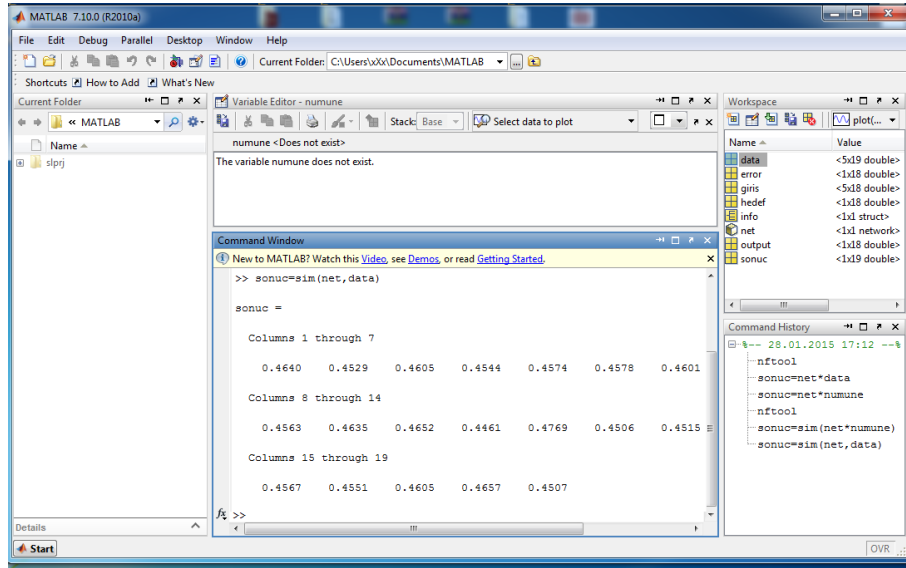


**Resim 3.10** Eğitimi yapılan ağ modeli.

YSA eğitimi gerçekleştirilen ve ağ yapısı oluşturulan Resim 3.10’deki modelde olduğu gibi daha önceki deneylerde elde edilen sürtünme performansları esas alınarak oluşturulan 19 adet fren balata içeriğin sayısal değerleri YSA’daki veri girişi



gerçekleştirildi (Tablo 3.3). Command Window komut penceresine “sonuc=sim(net, hazırlanan içerik)” yazılarak ağda tahmin yapılabilmektedir (Resim 3.11).



**Resim 3.11** Eğitimi yapılan ağ modeli ve simule edilerek tahmin gerçekleştirilmesi.

**Tablo 3.3** YSA’da ve deneysel çalışmalarda kullanılan balataların kompozisyon oranları (gr).

Numune	Reçine	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pirinç Talaşı	Cashew	Karbon Elyaf	Bakır Tozu	Grafit	Barit	Toplam
1	20	3	2,147	6,124	11,437	7,365	5,816	52	107,889
2	20	3	1,859	6,598	11,652	7,846	5,784	52	108,739
3	20	3	1,157	6,365	12,151	6,658	5,654	52	106,985
4	20	3	1,847	7,985	11,198	6,986	5,245	52	108,261
5	20	3	1,245	8,869	12,151	8,598	6,125	52	111,988
6	20	3	1,549	7,248	11,989	7,152	5,474	52	108,412
7	20	3	1,764	7,236	12,487	7,612	5,826	52	109,925
8	20	3	2,216	6,151	12,368	7,365	5,166	52	108,266
9	20	3	1,448	6,268	12,489	6,714	5,625	52	107,544
10	20	3	1,565	7,421	12,845	7,365	6,254	52	110,450
11	20	3	1,901	8,145	10,434	7,252	5,985	52	108,717
12	20	3	1,378	5,452	12,157	6,678	6,487	52	107,152
13	20	3	2,187	7,128	10,564	7,365	5,436	52	107,680
14	20	3	1,576	7,429	11,564	7,753	6,157	52	109,479
15	20	3	1,568	8,256	12,568	5,014	6,156	52	108,562
16	20	3	1,568	7,256	12,568	6,814	6,346	52	109,552
17	20	3	1,752	7,236	12,589	7,647	5,655	52	109,879
18	20	3	1,965	8,217	12,658	7,265	5,365	52	110,470
19	20	3	1,442	6,987	11,587	7,369	5,101	52	107,486

### 3.3 Deney Düzeneğinin Tanıtılması



**Resim 3.12** Fren balatası test cihazı.

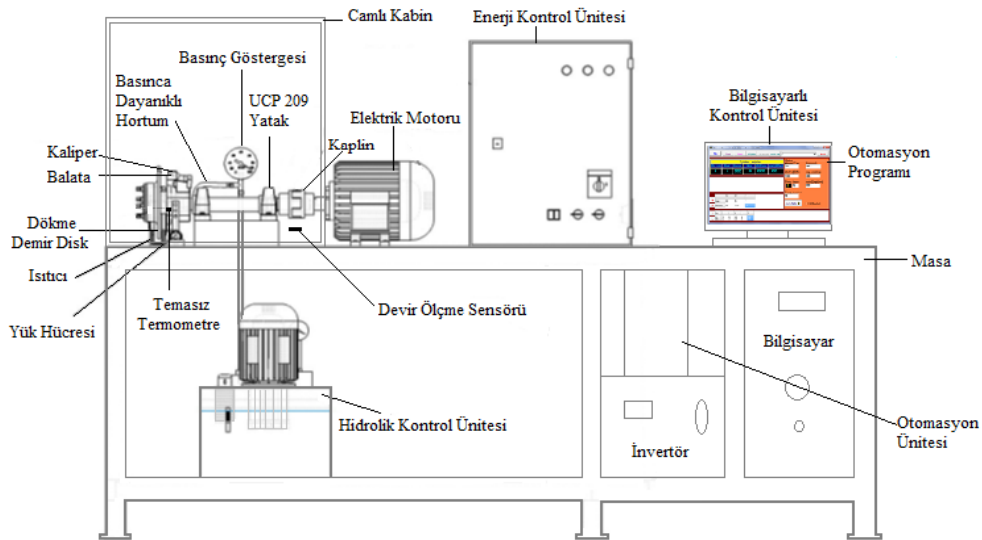
TS 555 ve TS 9076’da belirtilen şartlara uygun olarak deneylerin yapılabilmesi için bir deney düzeneği üretilmiştir. Daha önce bu konuda yapılmış olan çalışmalar dikkate alınarak deney düzeneğine bir takım aparatlar ve ölçü aletleri konulmuştur. Balataların, farklı devir, sıcaklık, basınç vb. gibi faktörlerin etkisinde sürtünme katsayısı incelenebilmektedir. Fren balatası test cihazı ile sürtünme katsayısı-sıcaklık, sürtünme katsayısı-zaman, sıcaklık-zaman grafiklerini oluşturmak mümkündür (Sugözü 2009).

Resim 3.12’de görülmekte olan sürtünme katsayısı test cihazında diski döndürmek için 5.5 Kw gücünde 1400 dev/dak trifaze elektrik motoru seçilmiştir. Elektrik motorundan elde edilen hareketin iletilmesi için Ø 30 mm’lik transmisyon miline ihtiyaç duyulmuştur. Bu mil üzerine iki adet UCP 209 yatak yerleştirilerek milin salınımının engellenmesi amaçlanmıştır.

Elektrik motorundan çıkan dairesel hareketin mil üzerinden diske istenilen devirlerde aktarılması invertör sayesinde gerçekleşmektedir. Bu devirler 0–1400 dev/dak arasındadır. Elektrik motorunun devir sayısı bilgisayar programından kolaylıkla kontrol edilebilmektedir.

Sistemde bulunan hidrolik ünite sayesinde fren diskine istenilen değerlerde basınç uygulanabilmektedir. Deneyler esnasında basınç düzensizliğini önlemek ve basıncı istenilen değerde sabit tutmak için piston ile hidrolik motor arasına basınç kontrol valfi yerleştirilmiştir. Kontrol paneli göstergesindeki kuvvet kısmına girilen değerler ile hidrolik ünite devreye girmekte üzerine üretilmiş balata takılı fren pabuçlarını diske doğru itmektir.

Disk dönmeye başladığında disk ile kaliper pistonunun uç kısmına takılan numune balata parçası diskin dönmesi sırasında fren balatasına uygulanan basınçtan doğan sürtünme kuvveti yüzünden balatanın da disk ile beraber dönme isteği dikkate alınarak bu döndürme kuvveti elektronik olarak yük hücresi vasıtasıyla ölçülmektedir. Disk ile balata yüzeyi arasındaki yüzey basıncına bağlı olarak sürtünme kuvveti dolayısıyla döndürme momenti de değişmektedir. Kaliper pistonunun ucuna takılı numune balatalar disk ile birlikte dairesel olarak dönmek isteyecektir. Numune balata ile diskin bu dairesel dönme hareketi, yük kolunun ucuna yerleştirilmiş olan bir mil ile yük hücresinin yük algılama ucundan algılanan değerler fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneline aktarılmaktadır. Böylece dönme sırasında balata ile fren diski arasındaki sürtünme kuvveti  $F_s$  değeri elde edilmiş olmaktadır. Fren balatası test cihazının şematik görünüşü Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Fren balatası test cihazının şematik görünüşü (Güney 2013)

Farklı yüzey basınçlarında yük hücresi ekranından okunan değer ve moment kolu dikkate alınarak program tarafından otomatik olarak belirlenen sürtünme katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Timur 2007).

$$F = P \times A \quad (3.1)$$

$P$  = Basınç ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

$A$  = Balata alanı ( $\text{mm}^2$ )

$$\mu = \frac{F_s \times L}{F} \quad (3.2)$$

$\mu$  = Sürtünme katsayısı

$F_s$  = Yük hücresinden okunan kol kuvveti (kg)

$L$  = Kuvvet kolu mesafesi

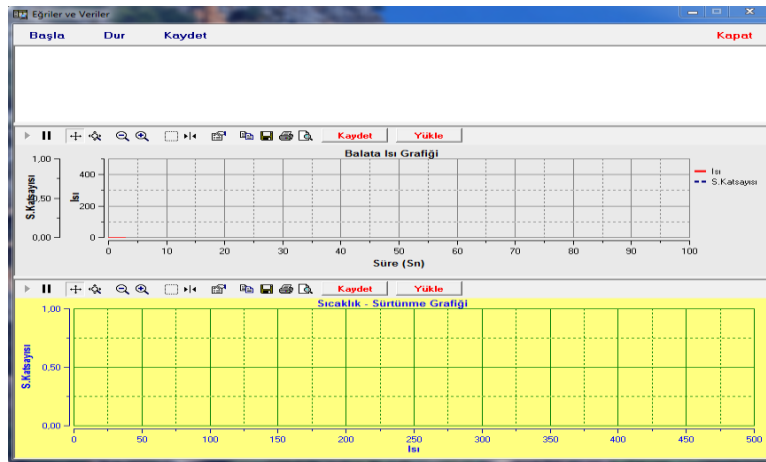
### 3.3.1 Bilgisayar Programı

Fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneli üzerinde bulunan süre, kuvvet, devir, moment farkı ve alan değerleri girildikten sonra kontrol paneli üzerinde bulunan başlat düğmesine basılarak sistem çalışmaktadır. Süre değeri dakika olarak işlemektedir. Deneğin süresi, süre kısmına girilerek istenilen zaman dilimi içerisinde cihazın otomatik olarak durması sağlanmaktadır. Devir göstergesi kısmına girilen devir değeri ile istenilen devirlerde deneyler yapılabilmektedir. Resim 3.13'de fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneli görülmektedir.



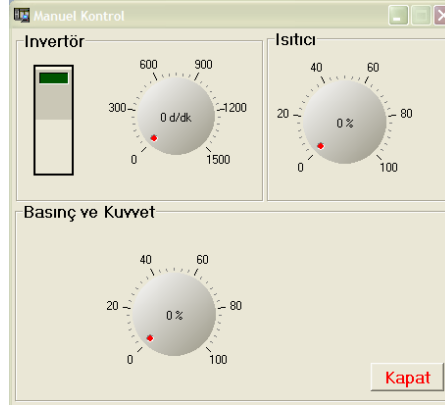
**Resim 3.13** Fren balatası test cihazı otomatik kontrol paneli.

Fren balata test cihazının bilgisayar kontrol panelindeki eğri başlat ikonu işaretlenmişse deney sırasında bilgisayar ortamına aktarılan verilerin grafikleri otomatik olarak çizilmektedir. Otomatik olarak çizilen grafiklere kontrol paneli üzerindeki eğriler kısmından ulaşılmaktadır. Programın, grafikleri otomatik olarak çizmesi istenmiyorsa deneyler esnasında elde edilen veriler metin dosyası olarak kaydedilmekte ve Excel programına aktarılmaktadır. İstenildiği zaman deneylerden elde edilen grafiklere, kontrol paneli eğriler kısmından yükle ikonu tıklanarak bir önceki grafikler tekrar çizdirilmekte ve grafik üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Resim 3.14’de program tarafından çizilen grafik göstergesi görülmektedir.



**Resim 3.14** Bilgisayar kontrol paneli grafik göstergesi.

Deney seti tüm deney işlemlerini otomatik olarak yapmaktadır. Ayrıca fren balata test cihazının bilgisayar kontrol paneli üzerinde bulunan manuel kısmına girilip devir ve basınç el ile ayarlanarak deneyler manüel olarak yapılabilmektedir. Resim 3.15’de fren balatası test cihazı manuel kontrol paneli görülmektedir.



**Resim 3.15** Fren balatası test cihazı manuel kontrol paneli.

Basınç, bilgisayar programı tarafından 0-40 MPa arasında değiştirilebilmektedir. Hız, devir sayısı kontrolü sağlandığından devir sayısı 0-1400 1/d arasında değiştirilebilmektedir. Bu değişken etkenlerin sürtünme performansına etkilerini belirleyebilmek için farklı deney şartlarının oluşturulması ve hassas sonuçlar alınması gerekmektedir. Bu nedenle verilerin kaydedilmesi, kullanılması ve istenildiğinde yeniden ulaşılabilmesi gerekmektedir. İstenilen deney şartlarının girilerek deneylerin güvenilir olarak yapılabilmesi amacıyla sürtünme katsayısı test cihazı için Delphi yazım dilinde program geliştirilmiştir.

### 3.3.2 Yük Hücresi

Sürtünme kuvveti  $F_s$ 'i belirlemek için kullanılan yük hücresi (loadcell) elektronikte strain gage olarak adlandırılan manyeto elastik cihazlardır. Transdüserlerin kuvvet ölçmek için kullanılanlarına yük hücresi adı verilir (Parr 1997). Bu cihazlar gelen yükü, milivolt cinsinden algılayarak ekrana yansıtmaktadırlar. Deney setinde kullanılan yük

hücresi Esit marka BB100 modeli olup 100 kg kapasitelidir. Yük hücresinin bir ucu belirli bir noktaya sabitlenir. Diğer ucuna bir noktadan kuvvet uygulandığında oluşan gerilim wheatstone köprüsü üzerinden 0-20 milivolt arasında algılanır ve değer ekrana yansıtılır (Resim 3.16 ).



**Resim 3.16** Yük hücresi.

### 3.3.3 İnvvertör

Telemecanique marka invertör 5.5 Kw 0-1400 dev/dak aralıklarında çalışmaktadır. Çalışma sistemi; elektrik panosundaki pako sartal 1 numaralı konuma getirilerek motora elektrik verilir. Bilgisayar programında invertör ayarları otomatik veya manuel olarak yapılarak istenilen devire kolaylıkla ulaşılması sağlanır (Resim 3.17).



**Resim 3.17** Devir ayarlayıcı invertör.

### 3.3.4 Devir Sensörü

SAE J 2430 test prosedürüne göre frenleme performansı değerlendirmesi belirli hız limitleri arasında yapılmaktadır. Test cihazı maksimum 1500 dev/dak hızla dönebilmektedir. Performans testleri esnasında hız limitleri test cihazımıza ilave edilen (0-1500 dev/dak arasında) Resim 3.18’de gösterilen devir ölçme sensörü ile kontrol edilerek uygulanmıştır.



**Resim 3.18** Devir ölçme sensörü.

### 3.3.5 Basınç Sensörü

Test cihazı hidrolik ünitesinden oransal valf kanalı ile kaliper pistonuna gönderilen hidrolik yağın basınç seviyesi Resim 3.19’da gösterilen basınç sensörü (0-25 bar) ile kontrol edilmektedir (Resim 3.19).



**Resim 3.19** Basınç ölçme sensörü.



### 3.3.6 Temassız İnfared Termometre

Deneyleer sırasında balatanın fren diskine sürtünmesi sonucunda sürtünme yüzeyi sıcaklığı artmaktadır. Sıcaklık artısının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla balatanın diske sürtünme yüzeyinden 2 cm ilerisinden sıcaklık ölümü yapılmıştır. Sıcaklık ölümünde her saniye veri alabilen, -40 °C - +700 °C aralıklarında, 2 °C hassasiyetle çalışabilen ve her saniyede disk üzerindeki sıcaklığı USB bağlantısı ile bilgisayar ortamına aktarabilen Resim 3.20'de görülen Optris marka İnfared temassız termometre kullanılmıştır.



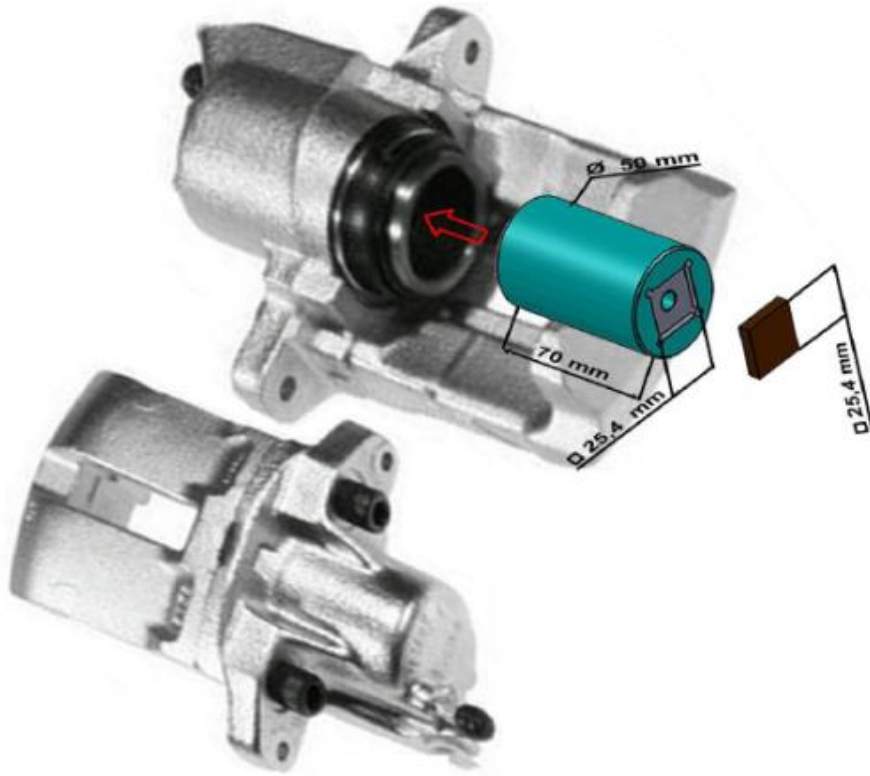
**Resim 3.20** Temassız İnfared termometre.

### 3.3.7 Hidrolik nite

Elektrik motoruna bağlı olan hidrolik pompa, elektrik motorundan aldığı hareketle döndürüldüğünde depo içerisindeki yağı emerek hidrolik on/off valfe gönderir. On/off valften sistemin basınc kontrolü için elektro hidrolik oransal valfe (basınc kontrol valfi) gönderiyor. On/off valf ve oransal valf kontrol panosundaki elektronik kartlarla kumanda edilmektedir. Elektronik kartlara verilen sinyal, test cihazı için geliştirilen program aracılığıyla bilgisayardan gönderilmektedir.

### 3.3.8 Kaliper ve Balata Tutucu Pabuç

Aşınma ve sürtünme testlerinde kullanılacak disk-balata ikilisine uygun kaliper ve balata tutucu pabuç resimleri Resim 3.21’de gösterilmiştir. Balata tutucu pabuç kaliper pistonu içindeki yuvaya monte edilerek cihaza bağlanmıştır. Önceden 1 inç kare ölçülerinde hazırlanan balatalar pabucun yuvasına takılarak kullanılmaktadır.



**Resim 3.21** Kaliper ve balata tutucu pabuç (Güney 2013).

### 3.3.9 Hassas Terazi

Aşınma deneyleri kütle kaybı esasına göre yapılmıştır. Kütle kaybını ölçmek için RADWAG WTB 200 marka Max 200gr ve 0,001gr hassasiyetinde terazi kullanılmıştır. Bu terazi ölçümler sırasında hava akımlarından etkilenmemesi için kefe kısmı sürgülü

bir camekân ile kapatılmıştır (Resim 3.22). Her ölçüm öncesinde terazinin kalibrasyonu yapılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Deney öncesi ve deney sonrası numuneler tartılarak kütle kaybı, fark değeri olarak belirlenmiştir.



**Resim 3.22** Hassas terazi.

### **3.3.10 Sertlik Ölçüm Cihazı**

Deneylerde kullanılan fren diskinin ve üretilen balataların sertliğini belirlemek için Zwick Roell marka universal sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır (Resim 3.23). Yukarıda verilen bilgiler dikkate alınarak batıcı uç olarak çapı 2,5mm olan çelik bilye uç kullanılmıştır. Uygulanan yük 62,5 kgf (612,9 N) olarak alınmıştır. Yükleme sırasında 8 s uygulama, 15 s sabit yükleme süresi olarak uygulanmıştır.



**Resim 3.23** Zwick Roell universal sertlik ölçme cihazı.

### **3.3.11 Toz Karıştırma Cihazı**

Komponenti oluşturan malzemeler özgül ağırlık bakımından çok fazla farklılıklar gösterdiklerinden mikser ile karışımda homojenlik sağlanmaktadır. Değiştirilebilir şekilde iki farklı devir aralığı mevcuttur. Ayrıca toz malzemenin iç cidara yapışmaması için karıştırma haznesinin içi vernik ile kaplanmıştır. Hazne paslanmaz malzemedendir (Resim 3.24).



**Resim 3.24** Toz karıştırma mikseri.

### 3.3.12 Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Üretilen numunelerin yoğunlukları, Arşimet terazisi ile belirlenmiştir. Normal terazilerden farklı olarak terazinin alt kefesini saf su içine daldırılarak alt kefesinden de ölçüm alınmaktadır (Resim 3.25). Saf suyun hacmindeki değişim numunenin hacmini verdiği dereceli silindirdeki fark miktar belirlenmiş ve cismin kütlesi cismin hacim farkına bölünmüş cismin yoğunluğu belirlenmiştir. Numune yoğunluk belirlemede aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$D_h = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \quad (3.3)$$

$D_h$  = Numune yoğunluğu ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$G_k$  = Numune kuru ağırlığı

$G_{dh}$  = 48 saat su içerisinde bekletildikten sonra numune ağırlığı

$G_{ds}$  = 48 saat su içerisinde bekleme sonrası numunenin saf su doldurulmuş kaptaki ağırlığı



**Resim 3.25** Arşimet terazisi.

### **3.4 Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi**

#### **3.4.1 Toz Karıştırma Süresinin Belirlenmesi**

Kompozit üretiminde karşılaşılan en büyük problem, komponenti oluşturan malzemelerin matris içerisindeki homojen dağılımını sağlamak ve takviye malzemesi ile matris ara yüzey bağına arttırmaktır (Şahin ve ark. 2002). Karıştırma şekli ve süresi, bu malzemelerin matris içerisindeki dağılımını, tozların boyutunu ve diğer bazı özelliklerini belirlemede etkili olmaktadır (Yetgin ve ark. 2005). Karıştırma işlemi segregasyonu önlemek açısından çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Segregasyonu önlemek için karışıma genellikle yağlayıcı (grafit gibi) eklenir (Kuhn and Lawley 1978). Düşük viskoziteye sahip olan toz veya sıvı (sıvı reçine gibi) komponentlerin homojen karışması için karıştırıcı kollar ile kesici bıçakların birlikte karıştırma işlemini gerçekleştirmesi gerekir (Oehl and Paul 1990). Karıştırma işleminin tipi çoğunlukla karışımı oluşturan malzemelerin türüne bağlıdır. Özellikle yoğunlukları, partikül boyutları ve bazen yüzey karakteristikleri ve sekilerli önemli farklılıklar gösteren toz bileşenlerde karıştırma işlemi zor olabilmektedir (Mutlu 2002).

#### **3.4.2 Üretim Basıncının Belirlenmesi**

Kompozitlerin tribolojik özelliklerindeki iyileşme kompozit formülasyonu, üretim ve çalışma parametrelerine bağlıdır (Washabaugh 1987). Yapılan çalışmalarda yüksek performanslı sürtünme malzemesini güçlendirme işlemleri olarak, teorik yoğunluğun artırılması ve poroziteyi yok etmek için çeşitli sıcak yoğunlaştırma (densifikasyon) işlemleri yapılmaktadır (Youssef and Comte 1989). Balatanın bileşimindeki malzemelerin homojen dağılımı yapıldıktan sonra balatanın yoğunluğunu presleme basıncı belirleyeceği için sürtünme performansında önemli rol oynamaktadır. Sonuç olarak 15 MPa sıcak presleme (pişirme) basıncı uygulamanın yapılacak çalışmalarda uygun bir değer olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda pişirme basıncı 15 MPa alınmıştır.

### **3.5 Deney Numunelerinin Üretilmesi**

Farklı içeriğe sahip deney numunelerinin üretimi esnasında malzeme oranlarını belirlemede kütle oran esas alınmıştır. Her bir formüldeki balata içeriğini oluşturan bağlayıcı, sürtünme malzemesi ve diğer katkı malzemeleri 0,001g hassasiyetinde tartılmış, sonra bu karışımın homojenliğini sağlamak için numune içeriği mikserde uygun sürede karıştırılmıştır. Tablo 3.4’de görülen ortak içerikler belirlenmiştir.

**Tablo 3.4** Ortak içerik olarak belirlenen katkı maddelerinin kütle oranları

<b>Malzeme Cinsi</b>	<b>% Oranları</b>
Reçine	20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3
Bakır Tozu	6
Karbon Elyaf	9
Cashew	6
Grafit	3
Pirinç Talaşı	1
Barit	24
TOPLAM	67

Ortak içerikler ifadesinden tüm balatalarda kütle oran esas alınarak bağlayıcı olarak fenolik reçine, metalik katkı olarak bakır, karbon elyaf ve pirinç talaşı, seramik katkı olarak alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), katı yağlayıcı olarak grafit kullanılmaktadır. Bu kısım kütle oran olarak % 67’lik kısmını oluşturmaktadır. Ortak içerik olarak belirlenen miktardan geriye kalan % 33’lük oran ise dolgu malzemesi Barit ve parametrelere bağlı olarak Pirinç Talaşı, Cashew, Karbon Elyaf, Bakır Tozu, Grafit kullanılmaktadır.

Farklı içeriğe sahip deney numunelerinin üretimi esnasında malzeme oranları belirlemede hesaplama kolaylığı olması için kütle oran esas alınmıştır. Her bir formüldeki balata içeriğini oluşturan bağlayıcı, sürtünme malzemesi ve diğer katkı malzemeleri 0,001g hassasiyetindeki terazi ile tartılmıştır. Daha sonra, hazırlanan bu karışımın homojenliğini sağlamak için numune içeriği Resim 3.23’de gösterilen özel

olarak yapılmış karıştırıcıda 10 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karışımlar, daha önce yapılmış olan komprime kalıplarına, balatanın üretimi tamamlanmış hacmi dikkate alınarak uygun miktarda doldurulmuştur.

### 3.5.1 Komprime (Soğuk Presleme)

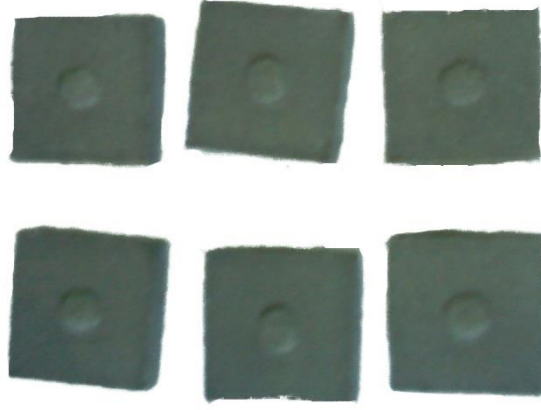
Belirlenen miktarlarda tartılarak soğuk presleme için Resim 3.26'da gösterilen komprime kalıbına doldurulmuştur ve 9810 KPa (90 kg/cm<sup>2</sup>) basınç altında soğuk olarak preslenmiştir.



**Resim 3.26** Deney numunelerinin üretildiği soğuk presleme kalıbının görünüşü.

Bu presleme sonrası kalıplardaki soğuk sıkıştırılmış malzemelerin çıkarılabilmesi için dişi kalıbın alt tablası çıkarılmış erkek kalıp ile dişi kalıbın üzerine düşük yük uygulanmış ve dişi kalıbın altından numune malzeme taşımak için hazırlanmış olan sac levhaların üzerine alınmıştır. Bu çıkarılan malzeme Resim 3.27'de görüldüğü gibi tablet haldedir. Tablet haldeki malzeme soğuk presten çıkarılırken, taşınırken ve pişirme için sıcak pres kalıplarına konulması sırasında oldukça çabuk dağılma gösterir. Soğuk presleme kalıplarının kalıp derinliği 8-10 cm civarındadır.





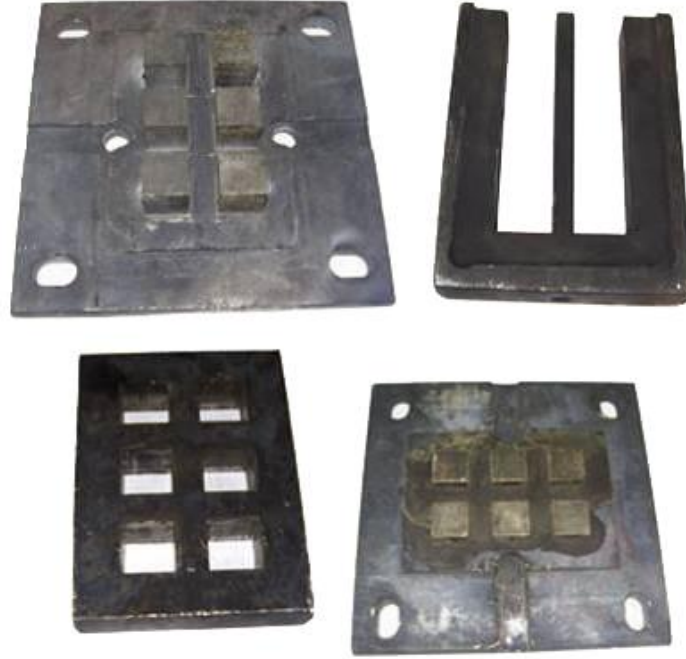
**Resim 3.27** Soğuk pres ile imal edilen balata resimleri.

Deney numunelerinin üretiminin soğuk presleme aşamasında, numuneler birer birer preslenmektedirler. Bu durumun sebebi soğuk pres kalıplarının derinliğinin yaklaşık 10 cm olmasından soğuk preslemesi yapılmış olan tablet balataların kalıplardan çıkarılma sırasında dağılma ve parçalanma gibi birçok problemlerle karşılaşılmasıdır. Üretimdeki bu tip hataları gidermek için soğuk pres kalıbı bir adet balata presleyecek şekilde hazırlanmıştır.

### **3.5.2 Pişirme (Sıcak Presleme)**

Soğuk presleme işleminden sonra tablet haldeki numuneler pişirme işlemi için sıcak presleme kalıplarına yerleştirilmişlerdir. Numunelere sıcak presleme sırasında 14715 KPa ( $150 \text{ kg/cm}^2$ ) basınç uygulanmıştır. Pişirme presindeki kalıplar alt ve üst tablolardan elektrik enerjisi kullanılarak ısıtılmıştır. Pişirme presi  $250^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtma kapasitesine sahip olup sıcaklık kontrolü  $\pm 5^\circ\text{C}$  toleransla termostat ile yapılmaktadır. Deney numuneleri  $\sim 180^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 10 dakika pişirilmiştir. Her bir mm kalınlık için  $\sim 1$  dakika pişirme süresi uygulanmıştır. Bu pişirme süresinin ilk % 60'lık kısmında her 30 saniyede bir, pres kalıplar açılarak havalandırma işlemi yapılmıştır. Bu sıcaklık neticesinde balata bileşenlerinin oluşturduğu reaksiyonlar sonucu meydana gelen buharların komponentten dışarı atılması sağlanmıştır. Böylece söz konusu buharların balatada oluşturabileceği kılcal çatlaklar ve bir takım olumsuz deformasyonlar

önlenmiştir. Yine burada pişirme ve presleme sonrası balataların kalıptan parçalanmadan kolay bir şekilde çıkarılmasını sağlamak amacıyla sıcak kalıplara granül sabunlu sıcak su pülverize olarak basınçlı hava ile püskürtülmüştür.



**Resim 3.28** Deney numunelerinin üretildiği sıcak presleme kalıbı.

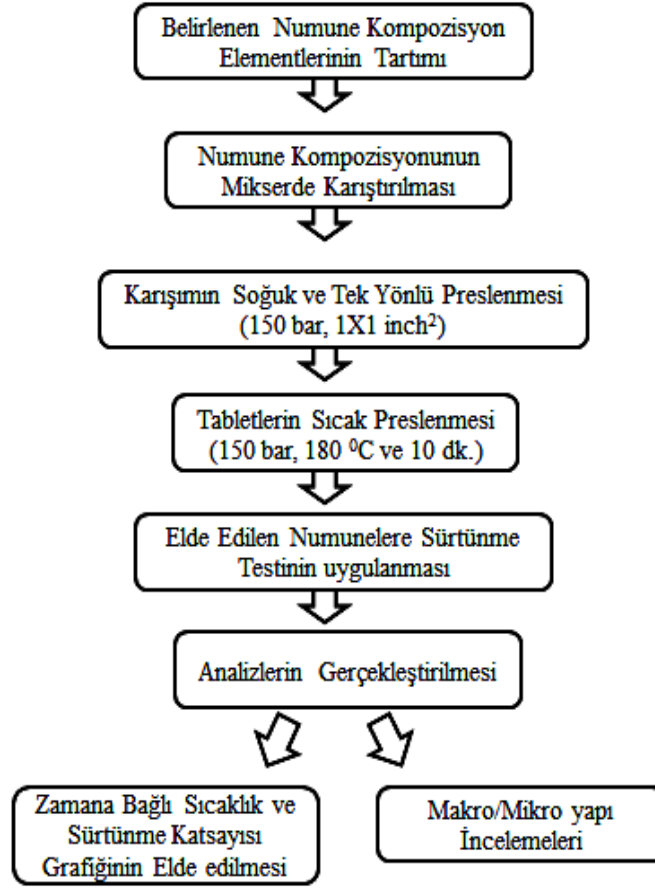
Sıcak presleme kalıpları soğuk presleme kalıplarından oldukça farklıdır. Numunelerin üretildiği pres tabla yüzey boyutu 50x50 cm olduğu için üretilmesi düşünülen balata boyutuna göre birden çok balata pişirilebilmektedir. Ayrıca sıcak presleme kalıplarının derinliği, üretilecek olan numune balatanın kalınlığı dikkate alınarak belirlenmektedir (Resim 3.28).



**Resim 3.29** Sıcak pres ile imal edilen balata resimleri.

Numune üretiminde; numuneler tartıldıktan ve mikserde homojen olarak karıştırıldıktan sonra preslenmek üzere kalıp içerisine doldurulur. Bu karışım, komprime (soğuk presleme-ön şekillendirme) kalıplarına balatanın üretimi tamamlandığındaki hacmi dikkate alınarak uygun miktarda doldurularak preslenir. Resim 3.29'da sıcak pres ile imal edilen balata resimleri görülmektedir. Tüm numuneler deney düzeneğindeki numune balata için açılmış olan balata yuvası ölçülerine getirilirken kesme ve taşlama yöntemleri kullanılmıştır. TS 9076'da deney numunelerinin boyutları en ve boy 25.4 mm x 25.4 mm, kalınlık 3 mm- 6 mm eşit kalınlıkta olacak şekilde hazırlanır ve sürtünen yüzeylerde hiçbir işaret bulunmamalıdır ifadesi bulunmaktadır. Numunelerin kalınlığı ise 3 mm'si numune yuvasına gireceği ve 6 mm'si dışarıda kalacağı dikkate alınarak toplam 9 mm olarak hazırlanmıştır. Daha sonra sıcaklık-sürtünme katsayısı değişimi ve aşınma değerlerini belirlemek deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bir balata numunesinin üretimi sırasındaki aşamalar Şekil 3.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Deney numunelerinin üretim şeması.

### 3.6 Deney Numunelerinin Test İçin Hazırlanması

Sıcak presleme işlemi neticesinde pişirilmiş olan numuneler sıcak pres kalıplarından çıkarıldıktan sonra numunelerin gözle kontrolü yapılmıştır. Bu numunelerin pişme sırasında kalıplara yapışma ve benzeri durumlardan dolayı yüzeyleri pürüzlü olduğundan numuneler verilen paso miktarı kadar ince taneli zımpara taşı aralığından geçirilerek düzgün yüzey oluşturulmuştur.

Tüm numuneler deney düzeneğindeki numune balata için açılmış olan balata yuvası ölçülerine getirilirken kesme ve taslama yöntemleri kullanılmıştır. TS 9076’da deney numunelerinin boyutları en ve boy 25.4x25.4 mm, kalınlık 5-8 mm eşit kalınlıkta olacak şekilde hazırlanır ve sürtünen yüzeylerde hiçbir işaret bulunmamalıdır ifadesi

bulunmaktadır (TS 9076 1991). Ancak üretimi yapılan test cihazının numune yuvası yukarıda belirtilen ölçülerde orantılı olarak boy ve en 25.4×25.4 mm olarak alınmıştır. Numunelerin kalınlığı ise 2 mm'si numune yuvasına gireceği ve 4 mm'si dışarıda kalacağı dikkate alınarak toplam 6 mm olarak hazırlanmıştır. Test cihazında balatanın takılabilmesi için Resim 3.30'da görüldüğü gibi 1" (25.4×25.4 mm), yüzey alanı 2mm derinlikte boşaltılmış olan balata tutucu piston kullanılmıştır.



**Resim 3.30** 1" lik balata tutucu piston.

### 3.7 Deney Numuneleri

Bu çalışmada, otomobil fren sistemi içerisinde kullanılan balata malzemesinin sürtünme performansına karbon elyaf takviyesi yapılmıştır (Resim 3.31). Karbon elyaf takviyeler numune içerisine farklı uzunlukta ve farklı oranlarda katılmıştır.



**Resim 3.31** Karbon elyaf iplik.

Üretilen numune balatalar asbestsiz organik balatalar (NAO-nonasbestos organic) grubunda olup polimerik bağlayıcılı ve üretim metoduna göre soğuk-sıcak presleme yoluyla üretilmiştir. Numune balatalar 19 farklı ürün olarak üretilmiştir. Her numunede ortak içerik olarak %20 reçine ve %3  $Al_2O_3$  nın oranı sabit tutulmuştur. Pirinç talaşı %1 ve %3 olarak 2 seviyeli, Cashew % 6-9-12, Karbon elyaf %9-12-15, Bakır tozu %6-9-12, Grafit %3-6-9 olarak 3 seviye olarak formülize edilmiştir. Dolgu maddesi olarak %52 Barit kullanılmıştır. Balatanın özellikleri; balata içeriği, konsantrasyonu ve üretim şartlarına göre farklılıklar göstermektedir. Yapılan çalışmada balata kompozisyonun YSA'da tahmini sürtünme performansları tespiti ile üretilen balataların aşınma davranışları incelenmiş ve sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Tablo 3.3' de numunelerde kullanılan malzemelerin yüzde oranları verilmiştir.

Üretilen balatalarda bağlayıcı olarak fenolik reçine, seramik katkı olarak alümina ( $Al_2O_3$ ), dolgu maddesi olarak Barit kullanılmıştır. Ortak içerik olarak belirlenen bu kütlece % 67 lik orandan artı kalan % 33'lük kısımda katı yağlayıcı olarak grafit, metalik katkı olarak bakır tozu ve pirinç talaşı, sürtünme düzenleyici olarak grafit ve alümina ( $Al_2O_3$ ), karbon elyaf ve karbon tozundan oluşan malzemeler kullanılmaktadır.

### **3.8 Fren Balataları İçin Belirlenen Deney Şartları**

Mart 1992 tarihli Türk Standartları TS 555'te sürtünme katsayısı, "Disk veya kampana ile disk fren veya kampana fren arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranıdır" şeklinde ifade edilmiştir (TS 555 1992). Nisan 1991 tarihli TS 9076'da, fren balataları için sürtünme katsayısının belirlenmesinde uygulanacak deney şartları açıklanmıştır. Bunlar;

Alıştırma aşamasında 700 KPa basınç altında, gerektiğinde soğutma yapılarak 200°C'de yüzey teması en az % 95 oluncaya kadar sürekli olarak yapılmalıdır. Aralıklı olarak 100°C'de 10 saniye yüklü, 20 saniye yüksüz olmak üzere 1050 KPa basınç altında yapılmalıdır veya 700 KPa basınç altında 100°C sıcaklıkta sürtünme katsayısı sabitleşinceye ve yüzey teması en az % 95 oluncaya kadar 310 dev/dak döndürülür (Pektaş 1995). Deney cihazında sürtünme yüzeyi gerekli taslama, zımparalama işlemleri

yapıldıktan sonra tane büyüklüğü 320 olan zımpara ile zımparalanır ve tozlar kuru hava veya lif bırakmayan eşdeğeri malzeme ile temizlenir.

Balatalarda sertlik deneylerinin TS 139’da belirtilen şartlarda yapılması gerektiği TS 555’te belirtilmiştir. TS 139’da Brinell sertlik; belirli çapta bir bilye ile malzemeye uygulanan yükün malzeme yüzeyinde meydana getirdiği iz alanına bölümüyle orantılı bir değerdir. Yükleme derecesi; deney yükü kuvveti ile bilye çapının karesi arasındaki oranın 0,102 sabiti ile çarpımıdır, şeklinde ifade edilmektedir (TS 139 1992).

$$BS = 0,102 \times \frac{2F}{\pi D x (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.4)$$

BS=Balatanın sertliği

F = Deney yükü (N)

D = Baticı bilye çapı (mm)

d = Bilye izi ortalama çapı (mm) olarak alınmıştır.

Ayrıca ölçümlerin sağlıklı olabilmesi için ‘‘d’’ iz çapı 0,2D ile 0,7D arasında bulunmalıdır. Genellikle çelik ve dökme demirler için  $x = 30$ , bakır ve alüminyum alaşımları için  $x = 10$  veya 5, çok yumuşak metaller için 2,5 veya 1,25 alınır daha büyük veya küçük izler ve yükleme derecesi kullanılması halinde yanlış ya da karşılaştırılabilir olmayan sertlik değerleri elde edilir (Güleç ve Aran 1993).

Brinell sertlik ölçme yönteminde sertleştirilmiş standart çelik bilye kullanılmaktadır. Bilye üzerine bir zaman dilimi içerisinde uygulanan ağırlık, malzemedeki bilyenin küresel bir iz bırakmasına neden olur. Malzemenin sert veya yumuşak olmasına göre iz büyük veya küçük olur (Baydur 1987).

TS 555’te aksi belirtilmedikçe özgül aşınma deneyi mecburi değildir ifadesi yer almaktadır. Söz konusu standardın ilgili maddelerinde bahsedilen test cihazının kampanalı olması, bu çalışmada numune balataların deneylerinin yapılabilmesi için üretimi yapılan deney düzeneğinde ise aşındırıcı yüzey olarak disk kullanılmış olmasından dolayı standartta istenilen tüm şartlar sağlanamadığından özgül aşınma

miktarını belirlemede bu çalışmada yapılan aşınma deneyinin değerleri dikkate alınmıştır. TS 555'te belirtilmiş olan kütle metodu seçilmiş ve aşağıdaki hesaplama yöntemi kullanılarak özgül aşınma değerleri belirlenmiştir.

$$V = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_d} \times \frac{(m_1 - m_2)}{n \cdot f_m \cdot \rho} \quad (3.5)$$

V = Özgül aşınma

$m_1$  = Deneyden önce ölçülen balata kütlesi (gr)

$m_2$  = Deneyden sonra ölçülen balata kütlesi (gr)

$\rho$  = Balata yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>)

$R_d$  = Disk yarıçapı (m)

$f_m$  = Deneydeki ortalama sürtünme kuvveti (N)

n = Toplam devir sayısı (devir)

### 3.9 Deney Şartları

Standartlarda belirlenen şartlara uygun şekilde alıştırma aşamasında 0,7 MPa basınç altında, gerektiğinde soğutma yapılarak 200°C 'de yüzey teması en az %95 oluncaya kadar sürekli olarak yapılmıştır. Sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimini belirleyebilmek için 0,55 KPa basınçta orta hız değeri olarak kabul edilen 7 m/s'de 5400 sn süre ile deneyler yapılmıştır. Deneyler 3 kez tekrar edilmiş olup sıcaklık ve sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Üretilen numunelerin frenleme karakteristiği, aşınma direnci ve sürtünme katsayısının belirlenmesi için aşağıdaki işlem sırasına göre deneyler gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin deney şartları aşağıda verilmiştir;

1. Tüm deneylerde deney başlangıç sıcaklığı 40°C olarak alınmıştır.
2. Bütün numuneler 700 KPa basınç altında sürekli sürtünmeye tabi tutularak balata yüzeyinin %95'i fren diskine temas edinceye kadar alıştırma işlemi



yapılmıştır. Bu işlemler esnasında TS 9076’da belirtildiği gibi zımparalama, temizleme ve soğutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

3. Sürtünme katsayısı-sıcaklık değişimi 0,55 KPa basınç altında ve 40°C’den 400°C sıcaklığa kadar 5400 saniye süresince her saniyedeki değerler bilgi kütüğüne kaydedilerek belirlenmiştir (FAST – Friction Assessment and Screening Test).
4. TS 555’te balataların aşınma dirençlerini belirlemek amacıyla özgül aşınma için aşınma deneyinde kütleli fark metodu seçilerek elde edilen değerler TS 555’te belirtilen hesaplama yolu ile hesaplanmıştır.
5. Balataların aşınma miktarının belirlenmesinde deneyler 0,55 KPa basınç altında 7 m/s hızda yapılmıştır. Bu deney sonunda her bir numune balata hassas terazide tartılarak kütle kaybı tespit edilmiştir.

Sertlik deneyleri; Balatalarda sertlik deneylerinin TS 139’da belirtilen şartlarda yapılmıştır. Yükleme derecesi; deney yükü kuvveti ile bilye çapının karesi arasındaki oranın 0,102 sabiti ile çarpımıdır, şeklinde ifade edilmektedir (TS 139 1992).

### **3.10 Aşınma Dayanımı, Sertlik ve Yoğunluk Testleri**

Numune balataların sertliklerinin belirlenmesinde TS 139’da belirtilen işlemler uygulanmıştır. Bu aşamada yapılan çalışmalarda statik sertlik ölçme yöntemlerinden olan Brinell sertlik ölçme yönteminin söz konusu balataların sertliğini belirlemede uygun yöntem olduğu belirlenmiştir. Sertlik ölçme işlemlerinde “Zwick Roell” marka universal sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Yukarıda verilen bilgiler dikkate alınarak baticı uç olarak çapı 2,5mm olan çelik bilye uç kullanılmıştır. Uygulanan yük 62,5 kgf (612,9 N) olarak alınmıştır. Yükleme sırasında 8 saniye uygulama, 15 saniye sabit yükleme süresi olarak uygulanmıştır. Optik mikroskop ile bilye iz çapı belirlenmiş ve alınan iz çapı değerleri sertlik cihazının değer kısmına yazılarak sertlik değeri elde

edilmiştir. Bu değerler çalışmış yüzeye sahip üçer numune üzerinden alınmıştır. Bu numunelerin yüzey boyutları 25.4×25.4 mm olduğu için yüzey köşegenlerinin çakıştığı orta noktalarından değerler alınmıştır.

Numunelerin yoğunluğu, aynı içerikli üç adet numune ‘’Accalab Sartorius Group’’ marka 0,001 hassasiyetli Arşimet terazide belirlenmiştir. Bu numuneler saf su ile doldurulmuş dereceli silindir (mezür)’e daldırılmıştır. Saf suyun hacmindeki değişim numunenin hacmini verdiği dereceli silindirdeki fark miktar belirlenmiş ve cismin kütlesi cismin hacim farkına bölünmüş, üç numuneden çıkan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak cismin yoğunluğu belirlenmiştir.

Aynı içeriğe sahip her numuneden üçer defa deney yapılarak bu üç değer sonucunun aritmetik ortalama değerleri alınmıştır. Numuneler deneye başlamadan önce ve deneyden sonra hassas terazide ölçülmüş ve deney sırasında ne kadar kütle kaybettiği hesaplanarak aşınma miktarları bulunmuştur.

## 4. BULGULAR

Bu çalışmada, her içerik için deneyi üç kez tekrarlanan 18 adet numuneden elde edilen sürtünme katsayısı verilerinin aritmetik ortalamaları alınarak yapay sinir ağları eğitimi yapılmıştır. Devamında daha önce testleri gerçekleştirilen sürtünme katsayısı verileri esas alınarak 19 adet numune içeriği hazırlanıp, eğitimi yapılan yapay sinir ağı ile sürtünme katsayısı tahmini yapılmıştır. Sürtünme katsayısı tahmini yapılan numunelerin üretimi yapıp, her numune için testler üç kez tekrarlanarak sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamaları alınıp, tahmindeki sürtünme katsayıları ile arasındaki tutarlılık incelenmiştir.

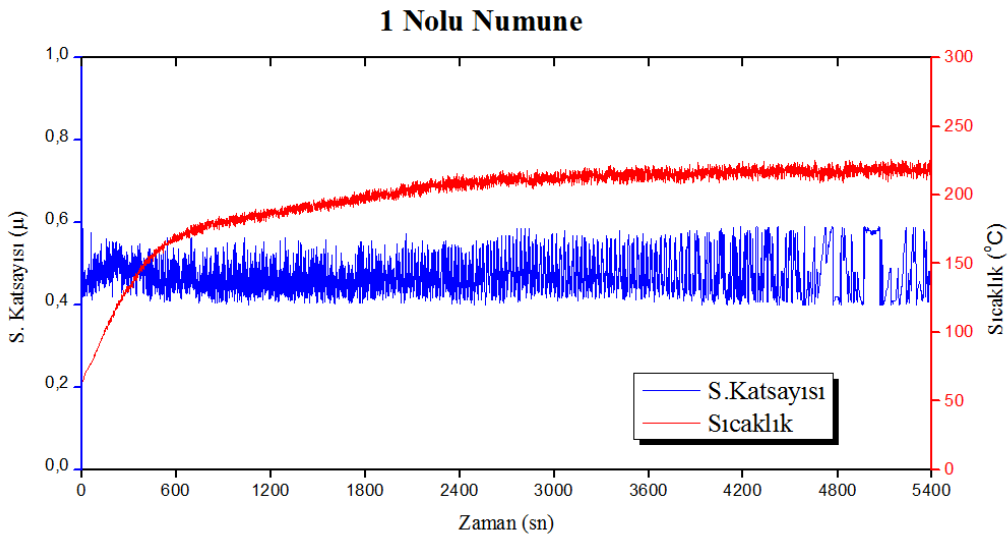
### 4.1 Zaman Bağlı Sürtünme Katsayısı-Sıcaklık Değişimi

Farklı oranlarda ve % 5 oranında 5 mm uzunluktaki karbon elyaf, toz karbon ve diğer balata malzemeleri katılmak suretiyle farklı karakteristiklerde 19 adet yeni numuneler elde edilmiştir. Bu numuneleri kesin hatları ile birbirinden ayırmak zor olduğu için benzer işletme şartlarından geçirilerek bu faktörlerin balatalar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada her içerik için deneyler üç kez tekrarlanarak elde edilen verilerin aritmetik ortalamaları alınmıştır ve zamana bağlı sürtünme katsayısı, sıcaklık değişimi grafikleri elde edilmiştir. Aşağıda verilmiş bu grafikler üzerinden birbirleri arasında kıyaslamalar yapılmıştır.

Sürtünme katsayısı ve sürtünme yüzey sıcaklığı, sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin özelliklerine ve bu malzemelerin birbirleriyle etkileşimlerine bağlı olarak çok farklı özellikler gösterir. Testin başlangıç safhası, sürtünme katsayısının değişiminde önemli rol oynar. Test başladığı andan itibaren temas alanındaki artışla birlikte hem sürtünme katsayısı artar hem de yüzeyde sürtünme tabakası gelişir. Bu yüzden testin başlangıç safhasında, başlama anına göre sürtünme katsayısında hızlı bir artış görülür (Filip et al. 2001). Bu durum, sürtünme katsayısı-zaman-sıcaklık grafiklerinde sürtünme tabakasını oluşturan malzemelerin özelliğine göre testin ilk 50 ile 200 üncü saniyelerinde görülmüştür.

## 1 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi

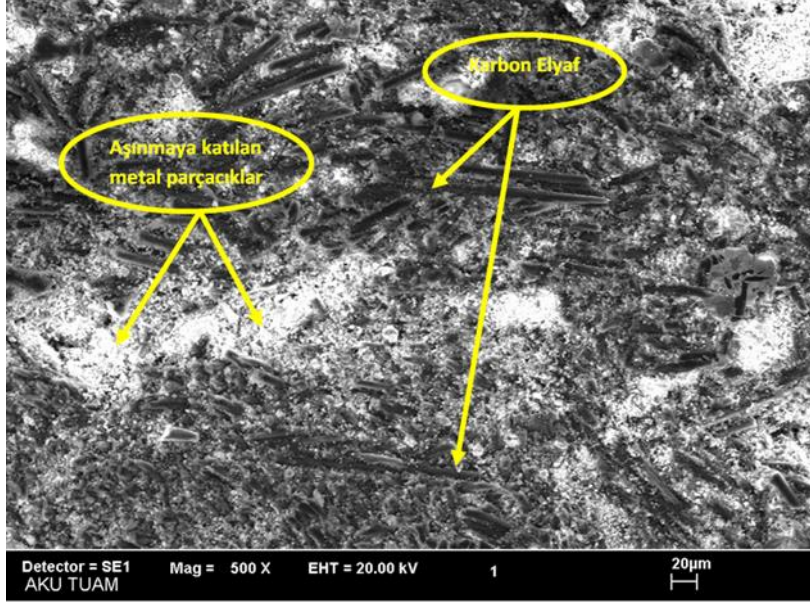
1 Nolu numunenin sürtünme deneyinin ortalama sürtünme katsayısı  $\mu=0,47$  olarak elde edildiği ve sürtünme deneyi boyunca maksimum sıcaklık  $229^{\circ}\text{C}$ , ortalaması  $197^{\circ}\text{C}$  olduğu belirlenmiştir. 1 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi Şekil 4.1’ de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 1 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi

## 1 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

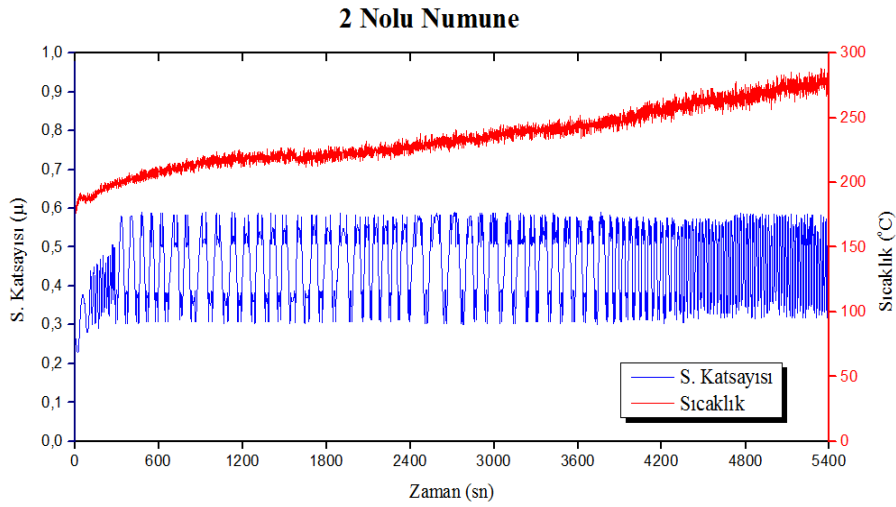
1 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin SEM resmi incelendiğinde (Resim 4.1) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler, komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır.



**Resim 4.1** 1 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı

## 2 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi

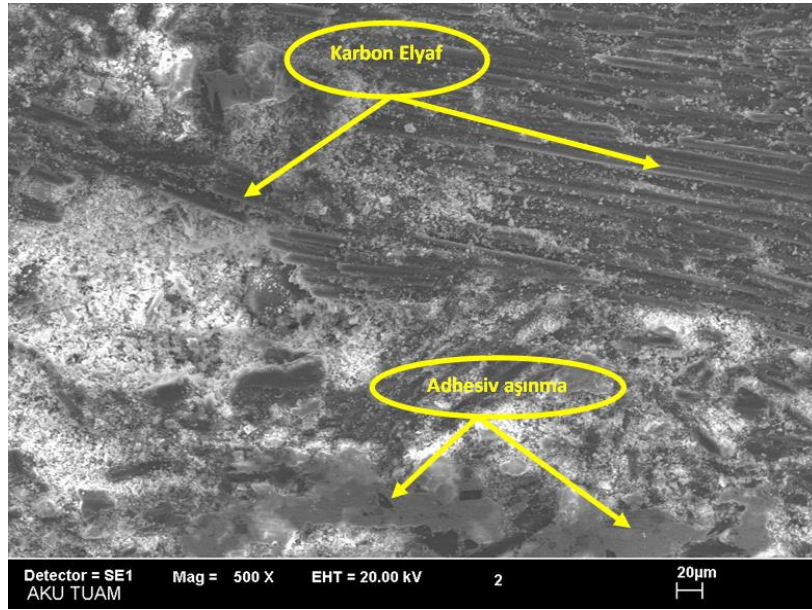
2 nolu numune sürtünme deneyi sonunda numunenin ortalama  $\mu=0,45$  sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu gözlemlendi. Sıcaklık ortalaması  $193^{\circ}\text{C}$ , maksimum sıcaklık  $238^{\circ}\text{C}$ 'de olduğu ve Şekil 4.2'de 2 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir.



**Şekil 4.2** 2 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi

## 2 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

2 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.2) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir.

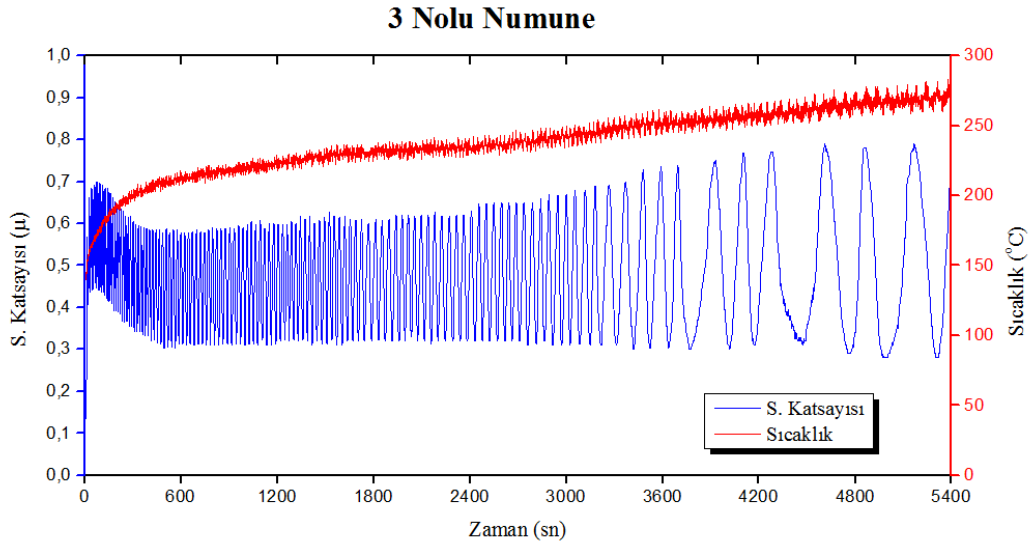


**Resim 4.2** 2 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı

## 3 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi

3 nolu numunenin sürtünme deneyi sonucu  $\mu=0,48$  sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu belirlenmiş, sıcaklık ortalaması  $238^{\circ}\text{C}$  ve maksimum sıcaklığın  $286^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmüştür. Sürtünme katsayısı eğrisinde dalgalanmaların nedeni olarak sürtünme yüzeyinde meydana gelen adheziv ve abrazif aşınmalardan kaynaklı sürtünme tabakasının değişiminden kaynaklanmaktadır. Adheziv aşınma sonucunda sürtünme katsayısı artarak devam etmektedir. Balata yüzeyindeki kopmalar aşınma miktarını

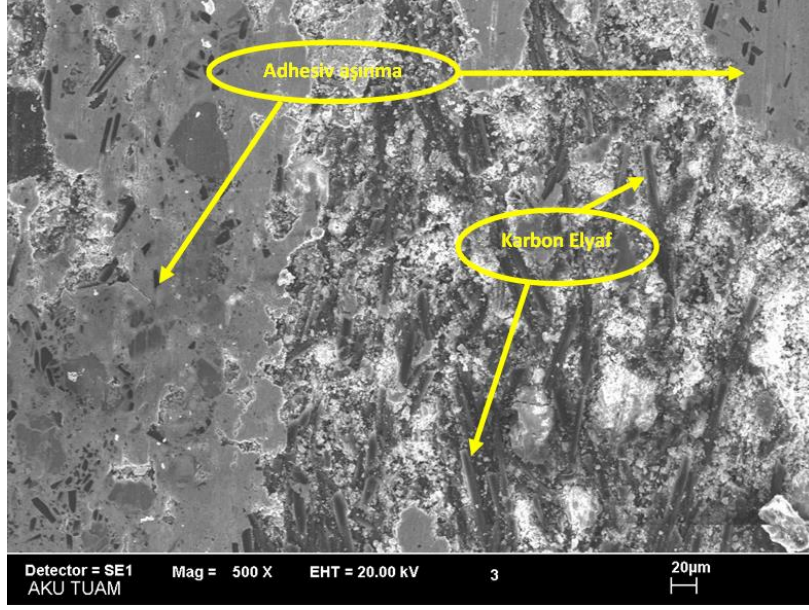
arttırmıştır. Şekil 4.3’de 3 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir.



Şekil 4.3 3 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi

### 3 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

3 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.3) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir. 4.3 nolu resimde görülen makro boşlukların yüzeyden kopan partiküller sonucunda oluştuğunu ve bu partiküllerin balata bünyesinden uzaklaşmaları sebebiyle aşınma miktarında artış gözlemlenmiştir.

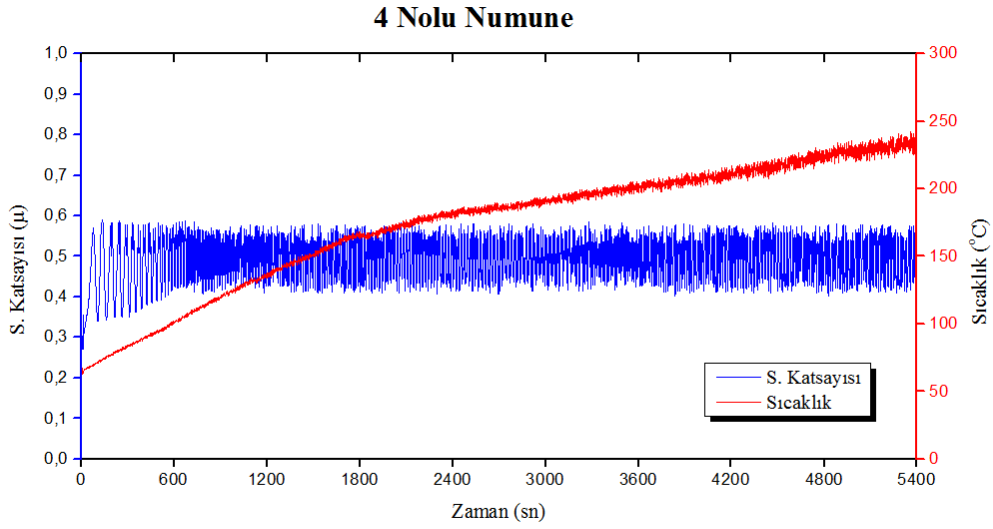


**Resim 4.3** 3 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

#### **4 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

4 nolu sürtünme deneyi sonucu  $\mu=0,47$  sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu ve sıcaklık ortalaması  $173^{\circ}\text{C}$ , maksimum sıcaklığın ise  $240^{\circ}\text{C}$  olduğu belirlenmiştir. Statik sürtünmeden dinamik sürtünme ye geçiş daha uzun sürmüştür. Sürtünme katsayısı sabit sayılabilecek kadar doğrusal bir çizgi gibi kararlı. Bu da oluşan sürtünme yüzeylerinin korunarak devam ettiğini gösterdi. Bu kararlılık, balatayı oluşturan kompleks yapının birbirine tam olarak uyum sağladığı yani karışımın tam olarak homojen yapıdan oluştuğunu ve oluşan yapının korunmasında etkili olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 4.4'te 4 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir.

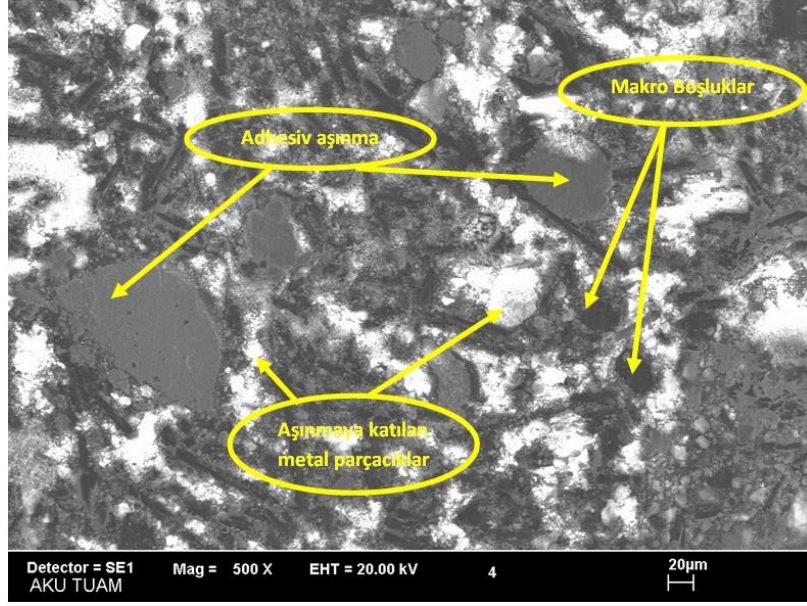




**Şekil 4.4** 4 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

#### **4 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği**

4 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin SEM mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.4) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmakta. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir. Oluşan makro boşluklarından abrazif aşınmanın etkisi olduğunu söyleyebiliriz. Metal parçacıkların oluşturduğu sert sürtünme yüzeyleri aşınma miktarı ve sürtünme katsayısında önemli rol oynamıştır.

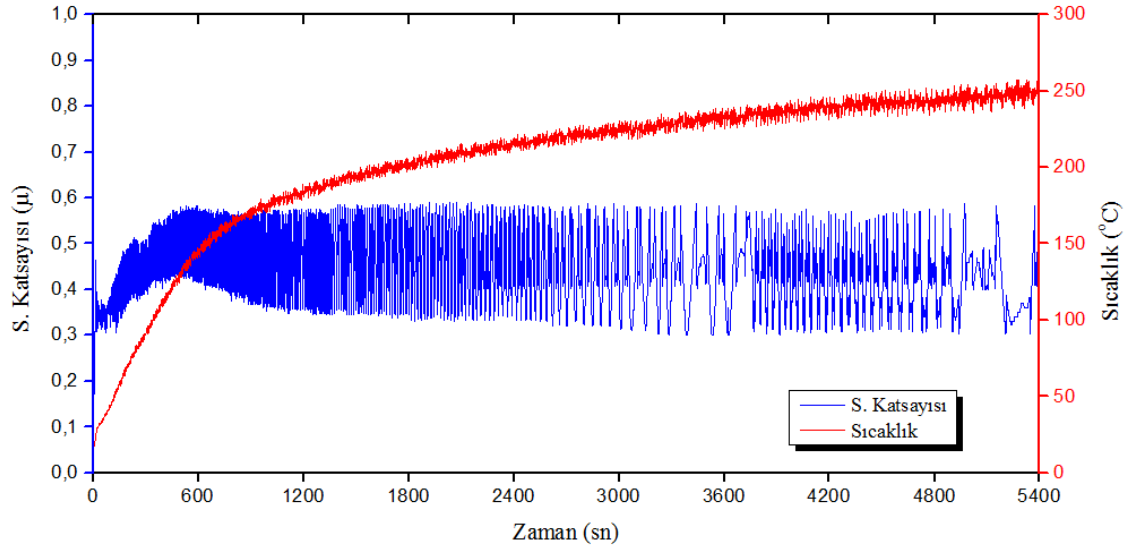


**Resim 4.4** 4 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı

### **5 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

5 nolu numunenin sürtünme deneyi sonucu sürtünme katsayısı  $\mu=0,44$  değerinde, sıcaklık ortalaması  $203^{\circ}\text{C}$  ve maksimum sıcaklığın  $249^{\circ}\text{C}$  olduğu elde edilmiştir. Şekil 4.5'te 5 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir.

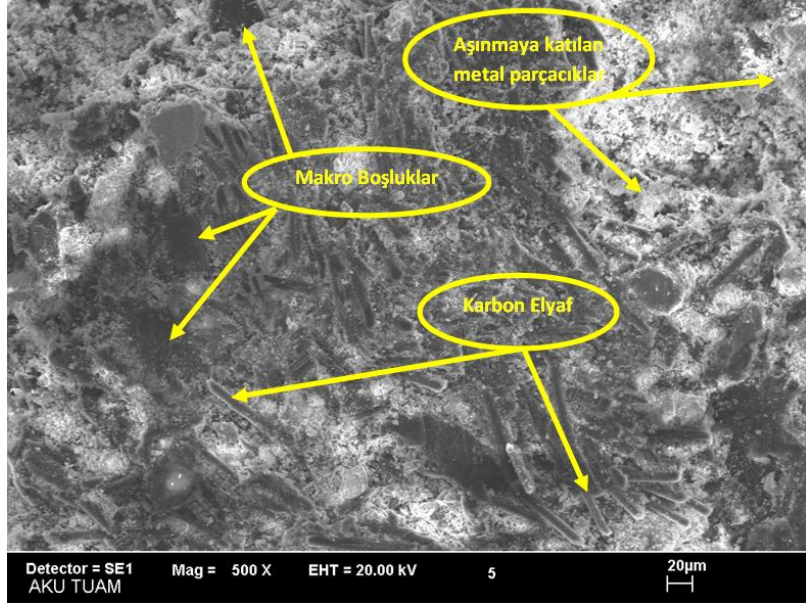
## 5 Nolu Numune



Şekil 4.5 5 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

### 5 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

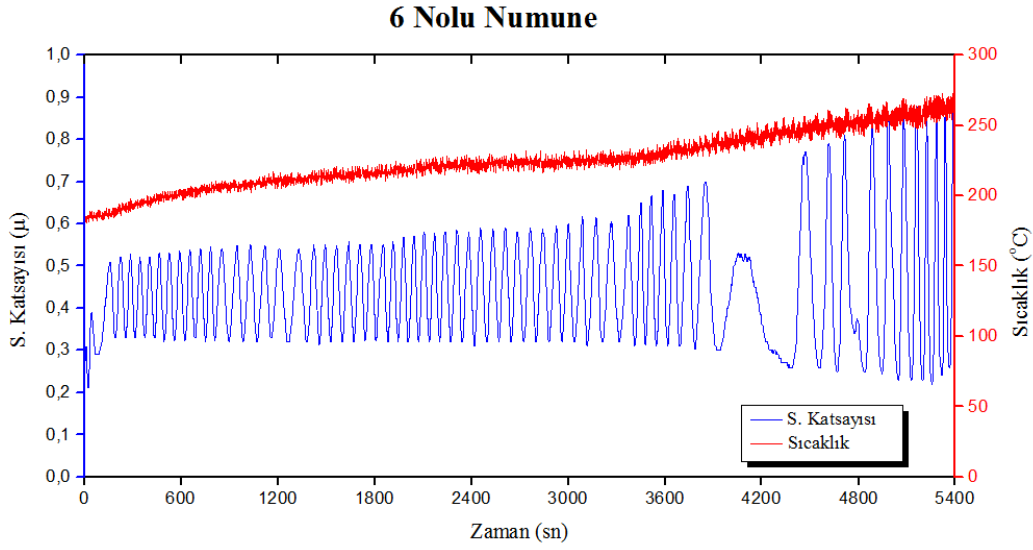
5 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin SEM mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.5) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmakta. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir. Aşınma yüzeylerinin geniş bir alana yayıldığı söylenebilir.



**Resim 4.5** 5 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapı.

### **6 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

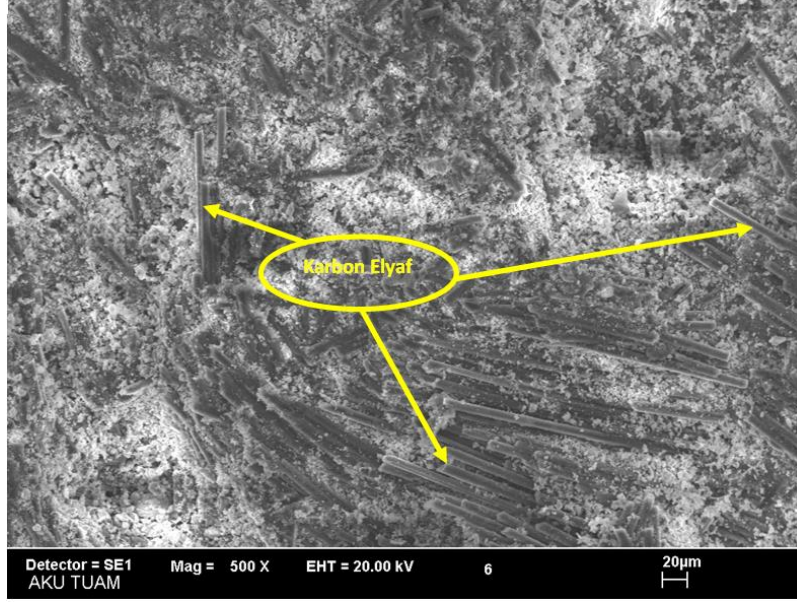
6 nolu numunenin sürtünme katsayısı  $\mu=0,44$  değerinde ve sıcaklık ortalamasının  $224^{\circ}\text{C}$ , maksimum sıcaklığında  $278^{\circ}\text{C}$  olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.6'da 6 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir.



**Şekil 4.6** 6 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

### **6 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği**

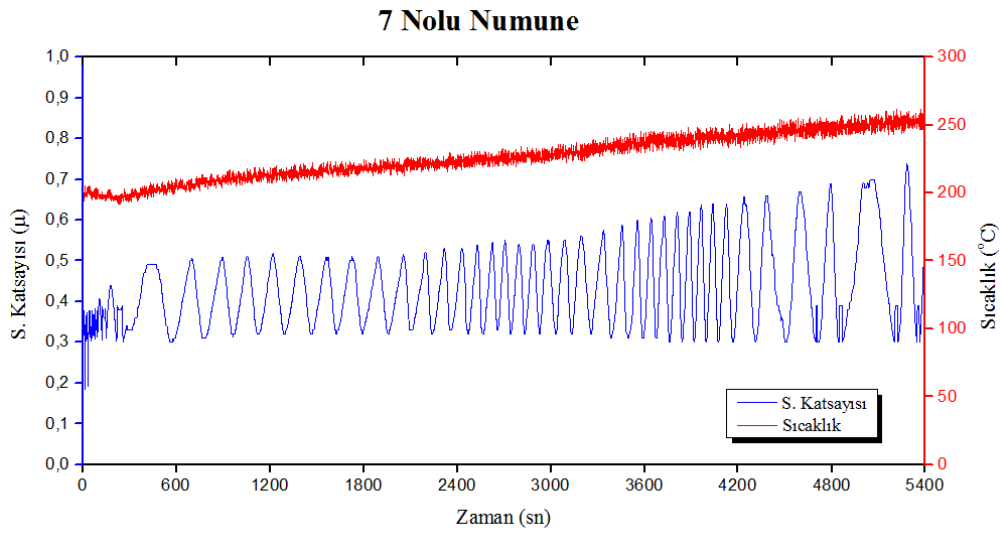
6 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin SEM mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.6) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve karbon elyafın sürtünme de aktif rol aldığını tam olarak homojen ve karbon elyaf yönlerinin aynı olmaması dolayısıyla yüzeyden koparak özellikle 3600sn den sonra aşınma miktarını biraz arttırdığını söyleyebiliriz. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir.



**Resim 4.6** 6 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

### 7 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi

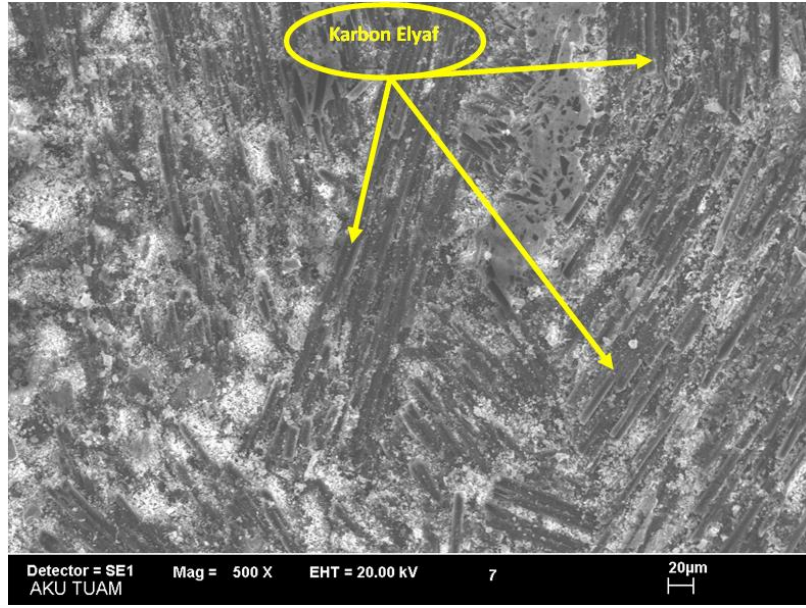
7 nolu numunede  $\mu=0,44$  sürtünme katsayısı değerine ulaşılmıştır. Sıcaklık ortalaması  $226^{\circ}\text{C}$  maksimum sıcaklığın  $276^{\circ}\text{C}$  olduğu ve Şekil 4.7'de 7 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir.



**Şekil 4.7** 7 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

## 7 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

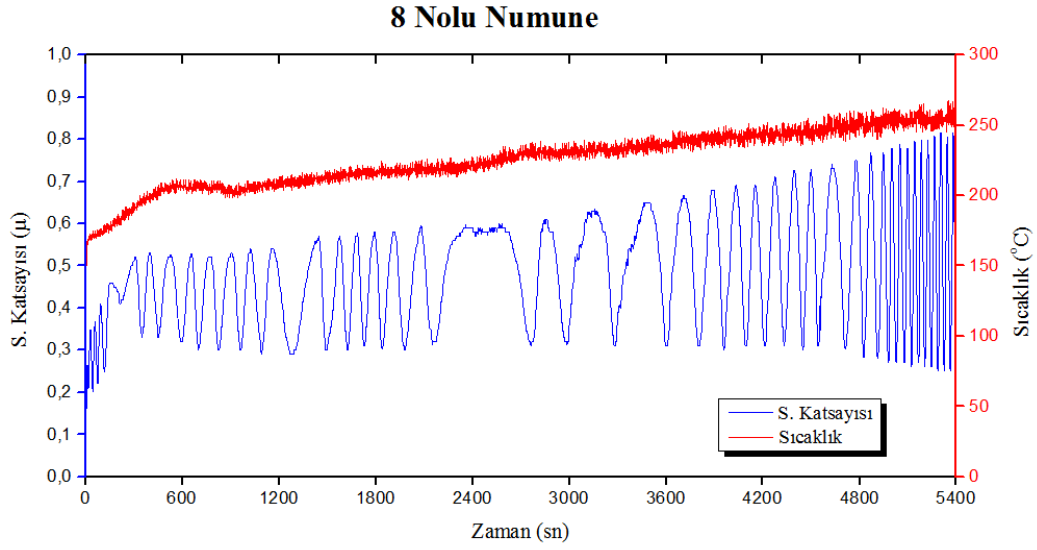
7 nolu numunenin, komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmakta (Resim 4.7). Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir.



**Resim 4.7** 7 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

## 8 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi

8 nolu numunenin sürtünme katsayısı  $\mu=0,48$ ' dir. Sıcaklık ortalaması  $225^{\circ}\text{C}$ , maksimum sıcaklığın  $273^{\circ}\text{C}$  olduğu gözlemlenmiştir. Grafikte ikinci yarıdan sonra sürtünme katsayısında biraz dalgalanmalar olduğu ve bunların sürtünme temas yüzeylerinin değişmesinden kaynaklandığını söyleyebilmektedir. Şekil 4.8'de 8 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir.

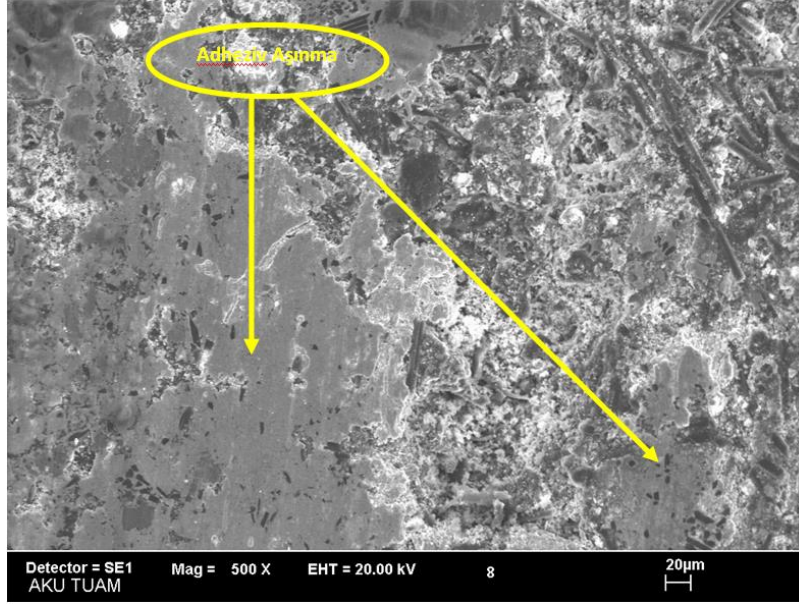


**Şekil 4.8** 8 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

### **8 Nolu Numunenin sürtünme Yüzey Karakteristiği**

8 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin SEM mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.8) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir. Karbon elyafların sürtünmeye kısmen katıldıkları görülmektedir. Aşınmanın daha çok abrazif aşınma yönünde olduğu görülmektedir. Adheziv aşınmanın da geniş yüzeyler oluşturduğu ve sayıca fazla bölgede yer aldığı görülmektedir.

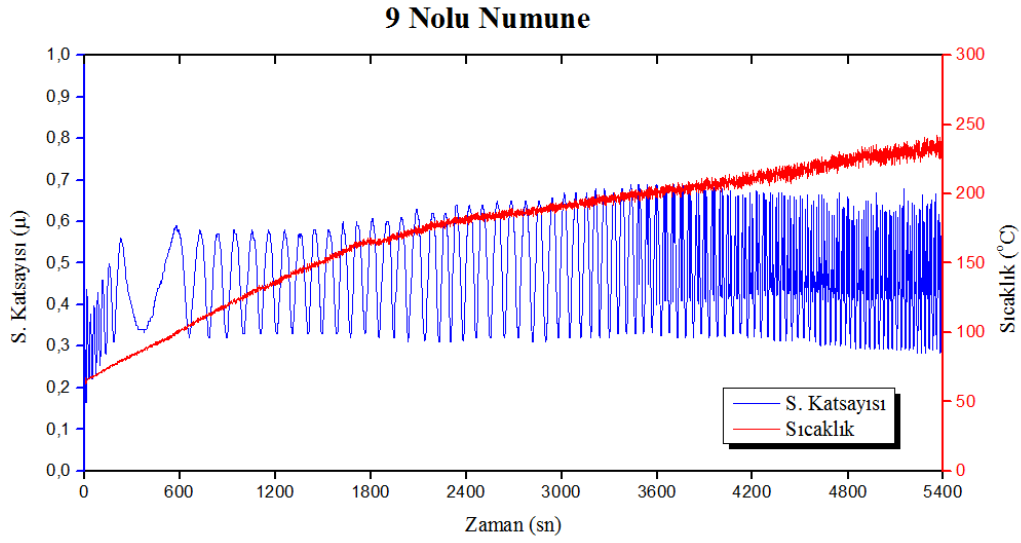




**Resim 4.8** 8 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

### 9 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi

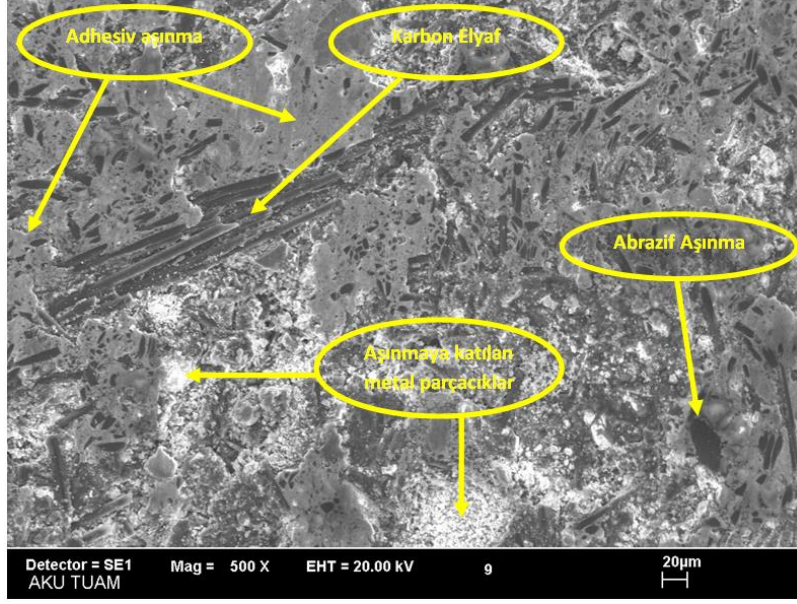
9 nolu numunenin  $\mu=0,47$  sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu, sıcaklık ortalamasının  $173^{\circ}\text{C}$  ve maksimum sıcaklığında  $246^{\circ}\text{C}$  çıktığı elde edilmiştir. Şekil 4.9'da 9 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir.



**Şekil 4.9** 9 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

### **9 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği**

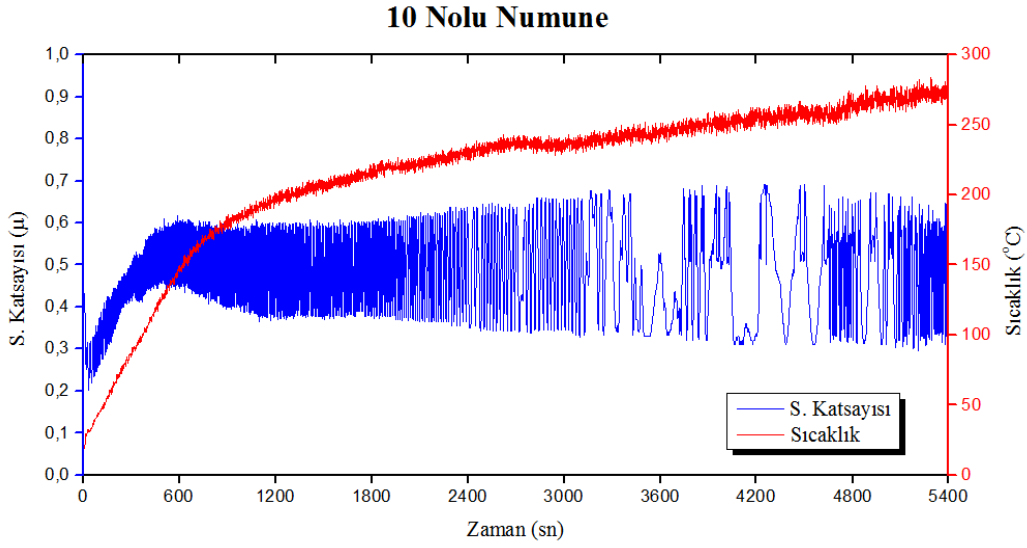
9 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin SEM mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.9) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir. Karbon elyafların geliş güzel farklı yönlere doğru dağıldığı görülmektedir.



**Resim 4.9** 9 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

### **10 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

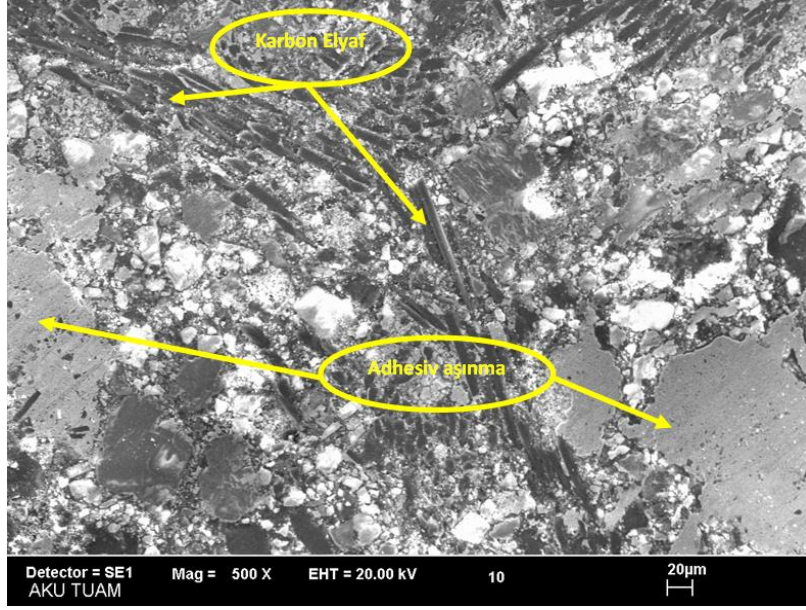
10 nolu numunenin sürtünme deneyi sonucu  $\mu=0,48$  sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu, sıcaklık ortalaması  $216^{\circ}\text{C}$  ve maksimum sıcaklığın  $260^{\circ}\text{C}$ ' ye çıktığı bulunmuştur. Sürtünme katsayısı grafiği incelendiğinde ise dinamik sürtünme sürecinden sonra sürtünme katsayısının giderek arttığı, sürtünme katsayısının artmasıyla sürtünmeye bağlı olarak sıcaklıkta artış olmuştur. Şekil 4.10' da 10 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi verilmektedir.



**Şekil 4.10** 10 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

### 10 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

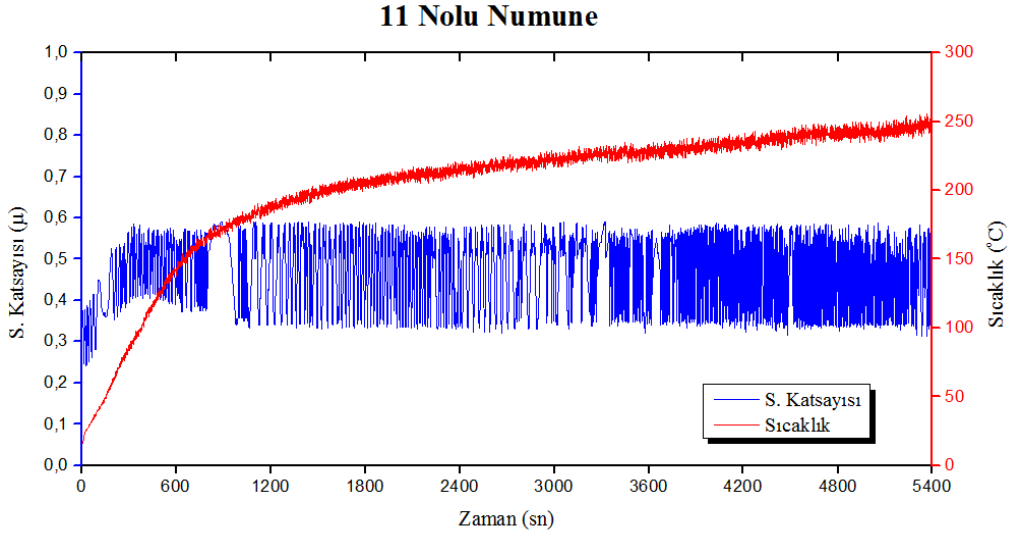
10 nolu numunenin deney sonrasında (Resim 4.10) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıklarının hem adheziv hem de abrazif aşınmanın olduğunu göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmakta. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir. Karbon elyafın sürtünme yüzeyine paralel uzanması özellikle 3000 sn den sonra sürtünme katsayısının dalgalanmasına yol açmıştır. Yüzeydeki boşluklarında aşınmaya bağlı metal parçacıkların aşınma yüzeyinden koparak uzaklaşmış olabileceği yorumu yapılabilir.



**Resim 4.10** 10 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

### **11 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

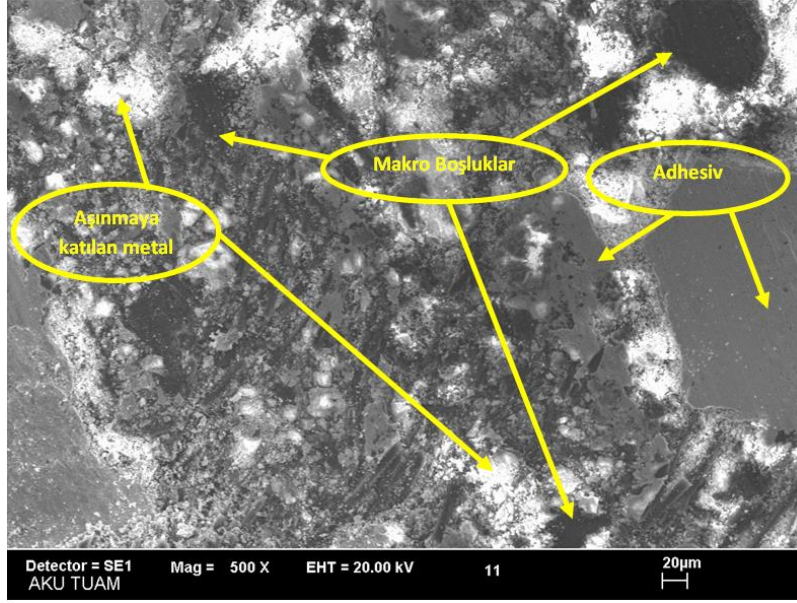
11 nolu numunenin sürtünme katsayısı  $\mu=0,46$  sıcaklık ortalamasının  $202^{\circ}\text{C}$  ve maksimum sıcaklığında  $260^{\circ}\text{C}$  olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.11'de 11 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir.



**Şekil 4.11** 11 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

### 11 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

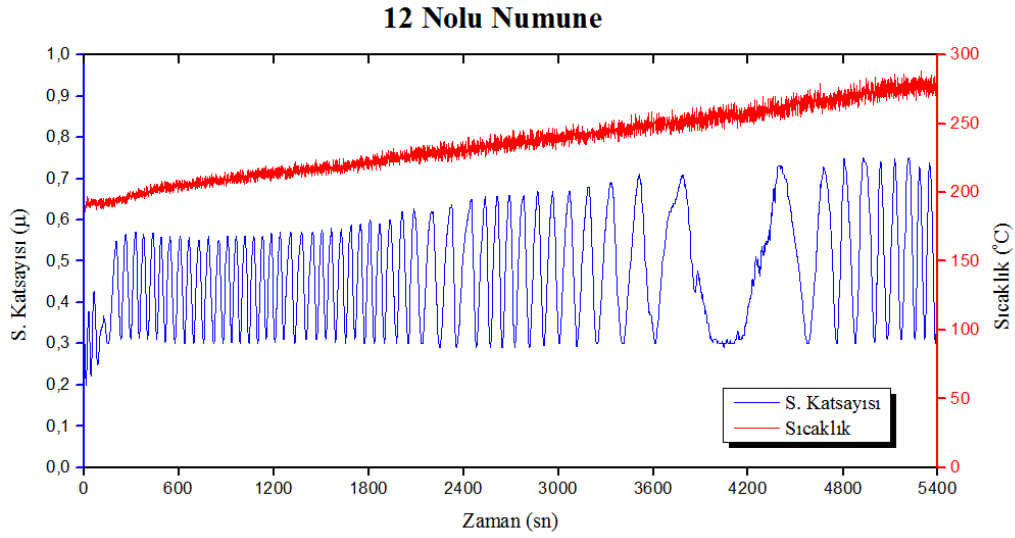
11 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.11) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir.



**Resim 4.11** 11 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

### **12 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

12 nolu numune  $\mu=0,48$  sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu ve sürtünme yüzeyinin oluşmasından sonra sürtünme katsayısının yükselerek maksimum düzeylere ulaştığı görülmektedir. Sıcaklık ortalaması  $235^{\circ}\text{C}$ , maksimum sıcaklık  $294^{\circ}\text{C}$ ' dir. Şekil 4.12'de 12 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi verilmiştir.

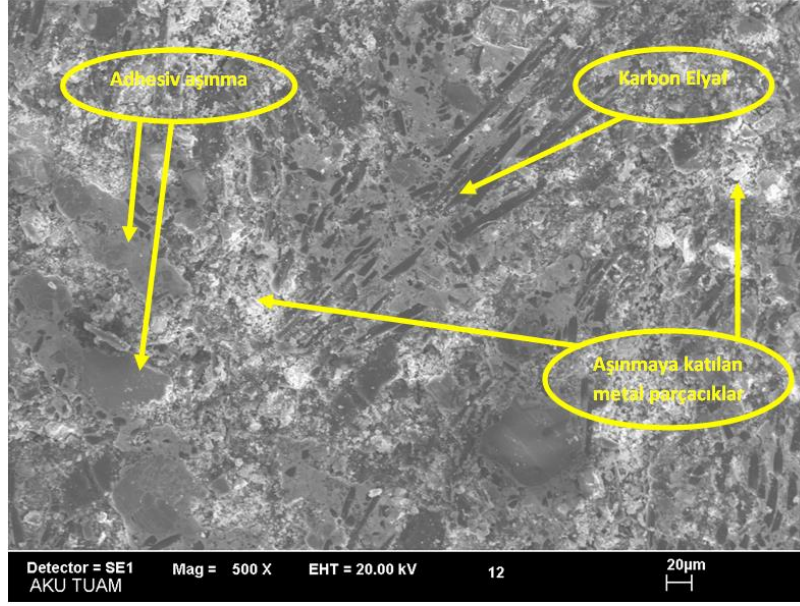


**Şekil 4.12** 12 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

### **12 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği**

12 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.12) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adhesiv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir. Sürtünme yüzeyleri olarak karbon elyafın sürtünme yüzeyine paralel doğrultuda dizilişini görmekteyiz. Bununla beraber adhesiv aşınma bölgesinin de abrazif bölgeden sonra oluştuğunu görmekteyiz. Adhesiv aşınmanın yüzeyden daha çok balata kütlelerini uzaklaştırdığını söylebiliriz.

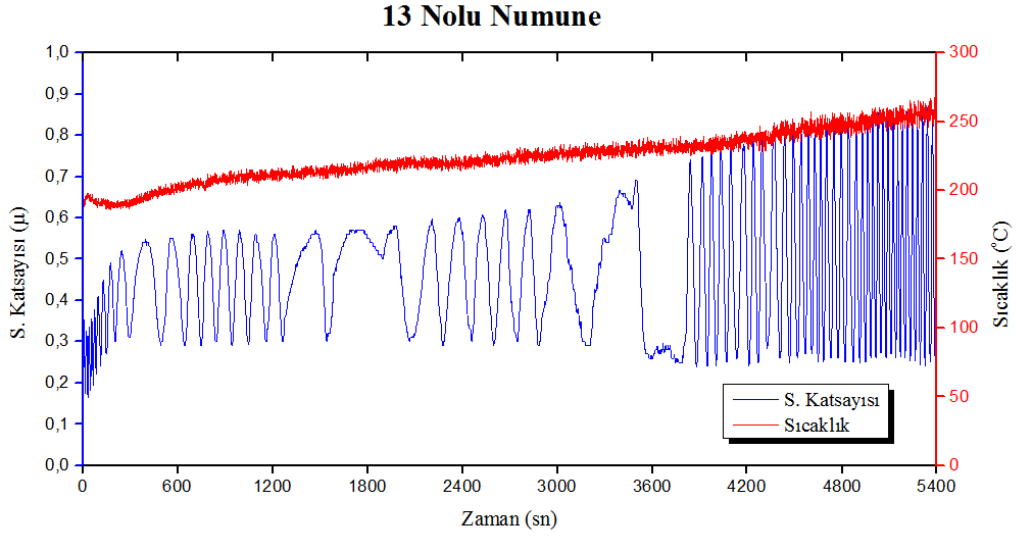




**Resim 4.12** 12 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

### **13 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

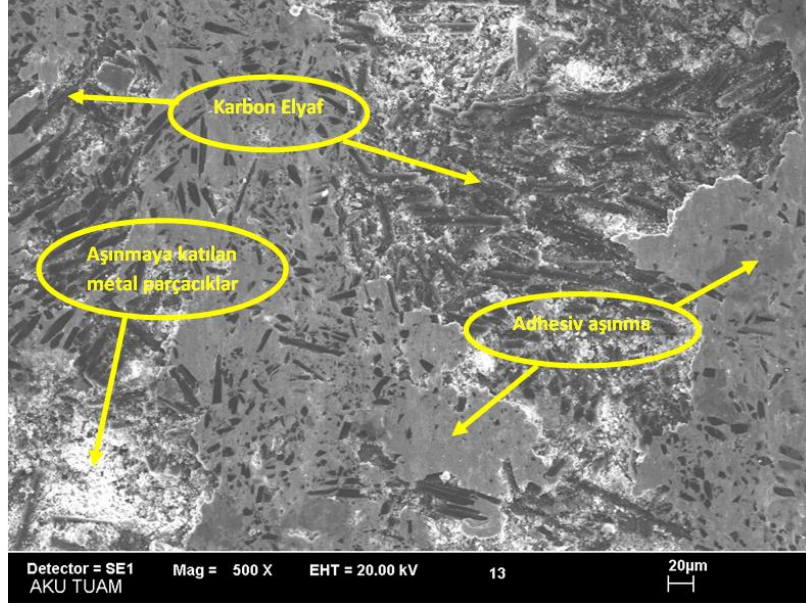
13 nolu numunenin sıcaklık ortalaması 223°C, maksimum sıcaklığın 274°C olduğu, sürtünme katsayısı  $\mu=0,46$  değerinde ve statik sürtünmeden dinamik sürtünmeye geçişin kısa süren bir zaman aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Sürtünme katsayısının bu yükselişi özellikle 3600sn den sonra artarak kararsız hale gelmiştir. 13 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi Şekil 4.13'de verilmiştir.



**Şekil 4.13** 13 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

### 13 Nolu Numunenin sürtünme yüzey karakteristiği

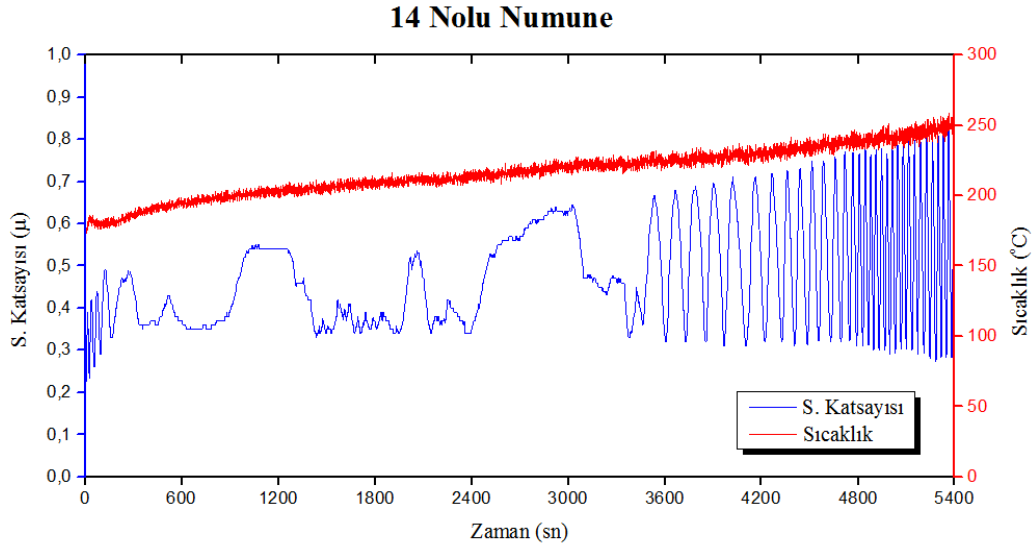
13 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.13) sürtünme yüzeyinde çoğunlukla adheziv aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir.



**Resim 4.13** 13 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

#### **14 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

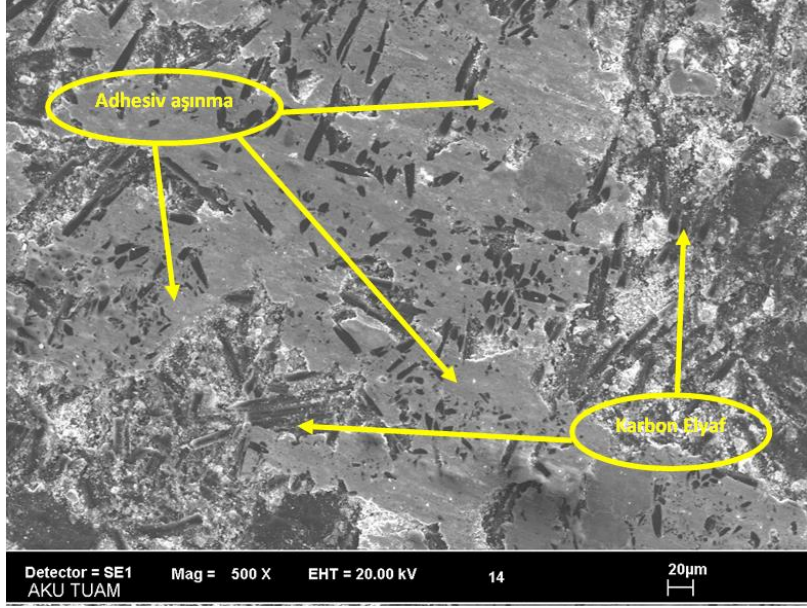
14 nolu numunenin,  $\mu=0,47$  sürtünme katsayısı değerinde ve Sıcaklık ortalaması  $216^{\circ}\text{C}$ , maksimum sıcaklığın ise  $264^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmüştür. Sürtünme katsayısı grafiği incelendiğinde doğal bir statikten dinamik sürtünme geçiş evresi ve ikinci yarıdan itibaren sürtünme katsayısında dalgalanmalar olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni abrazif ve adhesiv aşınmadan kaynaklanan sürtünme temas yüzeylerinin alanlarının değişmesi olduğu söylenebilir. Şekil 4.14'de 14 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi verilmektedir.



**Şekil 4.14** 14 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

#### **14 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği**

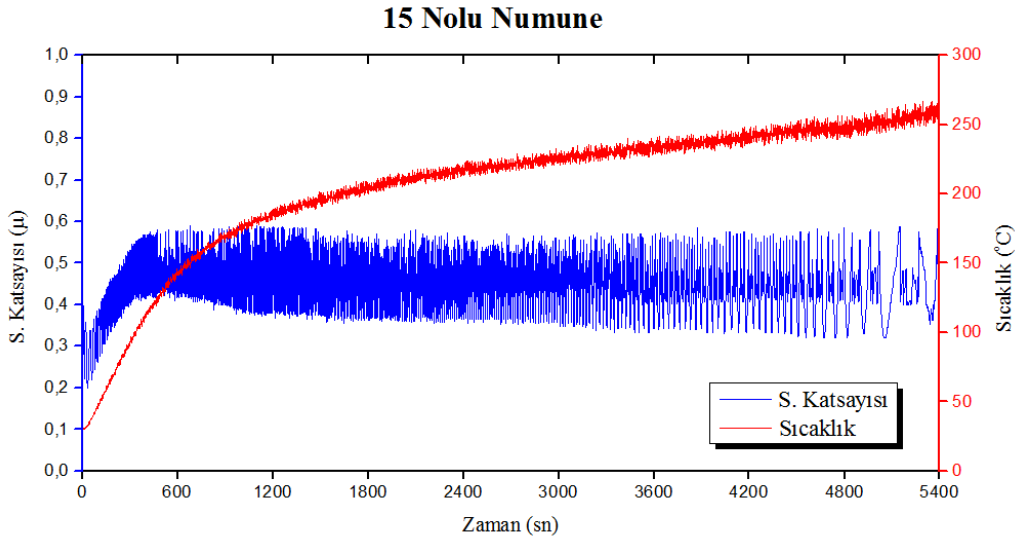
14 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin SEM mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.14) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir.



**Resim 4.14** 14 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

### **15 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

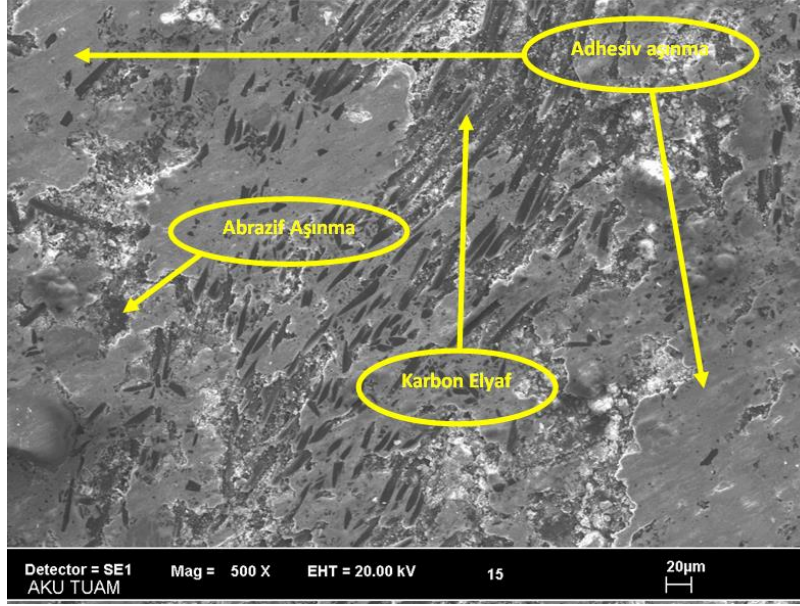
15 nolu numunenin sürtünme deneyi sonucu  $\mu=0,44$  sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu, sıcaklık ortalaması  $204^{\circ}\text{C}$  ve maksimum sıcaklığın  $272^{\circ}\text{C}$  olduğu elde edilmiştir. Şekil 4.15'te 15 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir.



**Şekil 4.15** 15 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

### 15 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

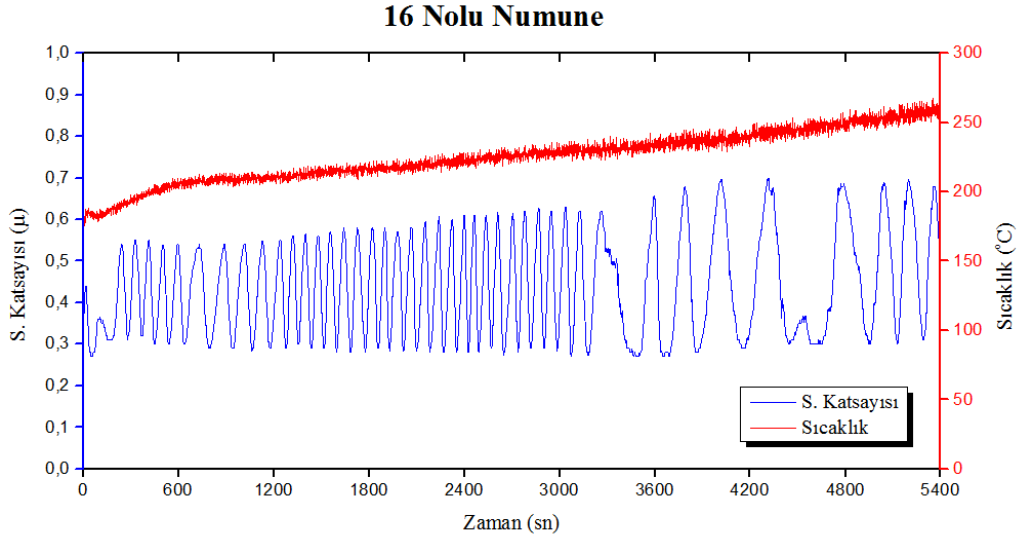
15 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.15) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları genelde adheziv ve abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Karbon elyaf parçacıklarının bazı bölgelerde düzgün bazı bölgelerde karışık biçimde dizildiği görülmektedir.



**Resim 4.15** 15 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

### **16 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

16 nolu numunenin sürtünme katsayısı  $\mu=0,44$  ve sıcaklık ortalaması  $225^{\circ}\text{C}$ , maksimum sıcaklığı ise  $274^{\circ}\text{C}$ 'dir. Sürtünme katsayı grafiğini incelendiğinde sürtünme katsayısında zamanla sürtünme yüzeylerinde değişen sürtünme temas yüzeyine bağlı olarak dalgalanmalar olduğu, Şekil 4.16'da 16 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir

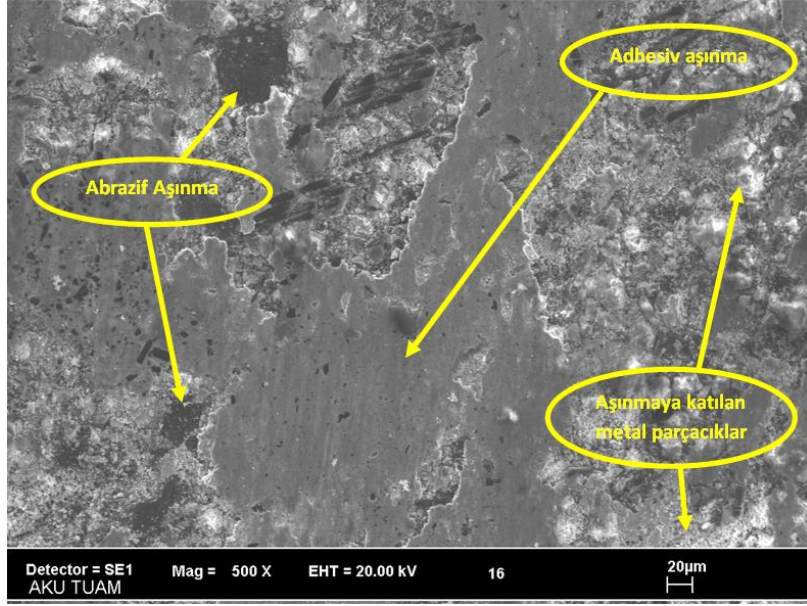


**Şekil 4.16** 16 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

### **16 Nolu Numunenin sürtünme yüzey karakteristiği**

16 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.16) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini belirlenmiştir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir. Bu bölgelerden kopan metal parçacıkların oluşturduğu boşluklar görülmektedir.

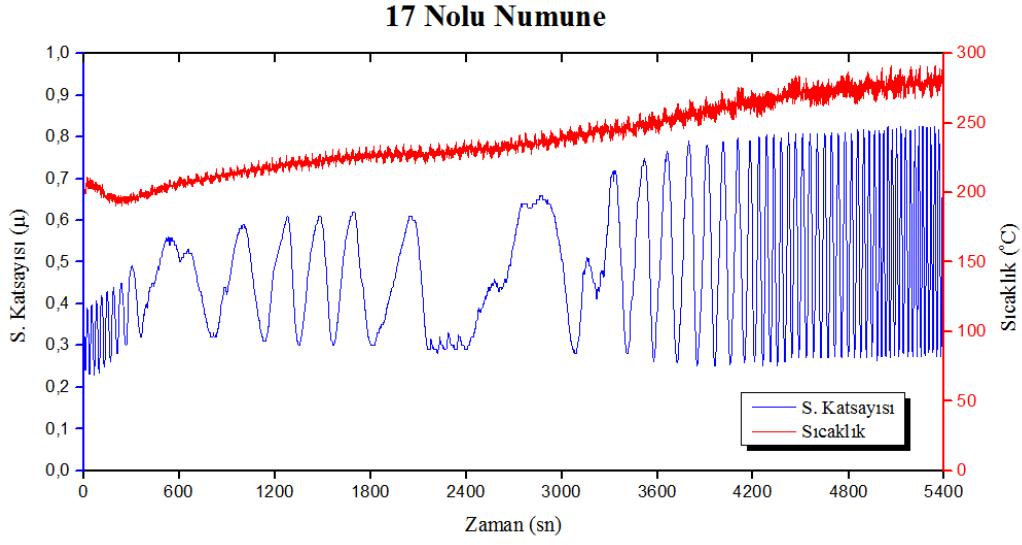




**Resim 4.16** 16 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

### **17 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

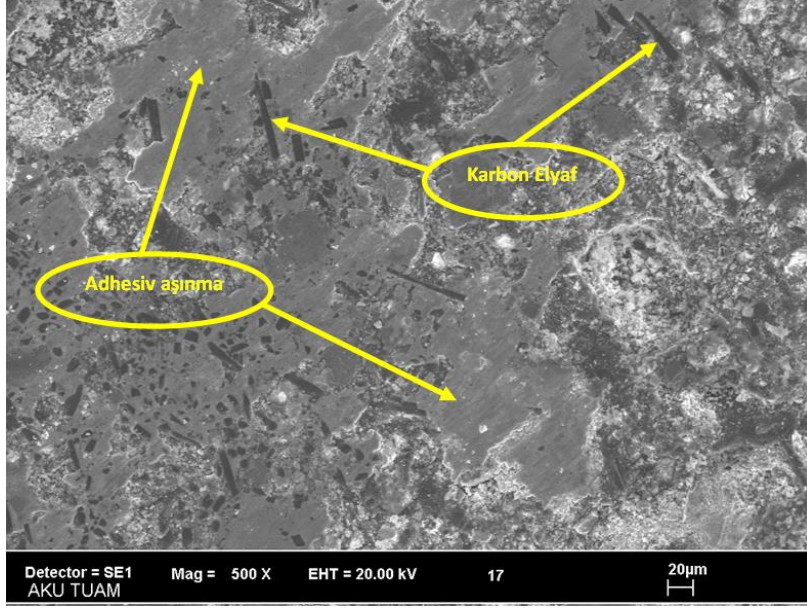
17 nolu numunede  $\mu=0,47$  sürtünme katsayısı değerine ulaşılmıştır. Sıcaklık ortalaması  $238^{\circ}\text{C}$ , maksimum sıcaklığın  $298^{\circ}\text{C}$  olduğu elde edilmiştir. Şekil 4.17’de 17 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülmektedir.



**Şekil 4.17** 17 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi

### **17 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği**

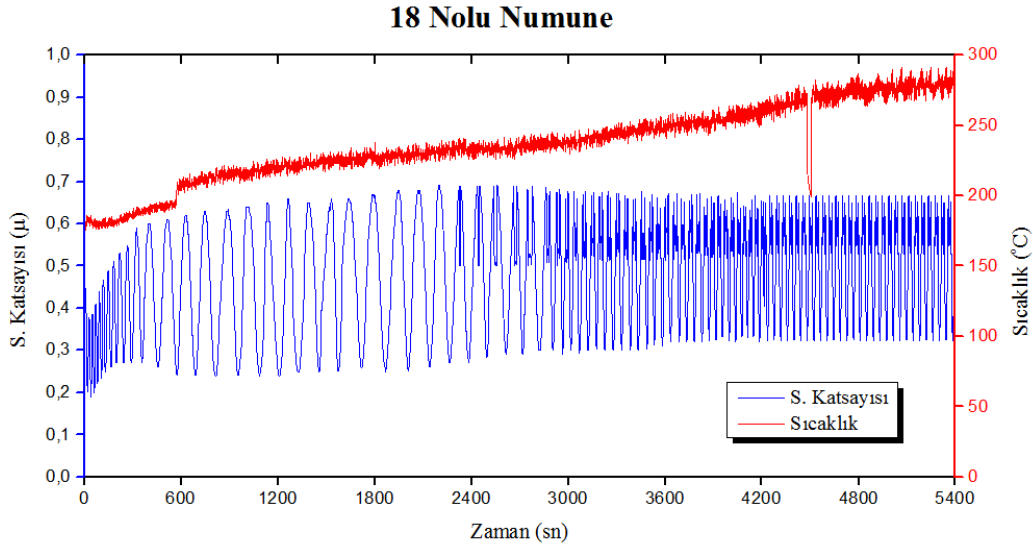
17 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.17) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır.



**Resim 4.17** 17 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

### **18 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi**

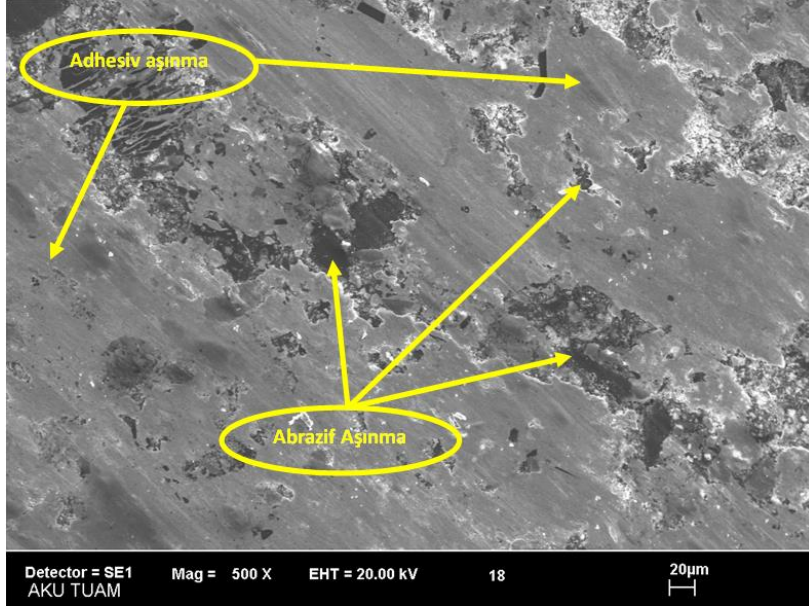
18 nolu numunenin  $\mu=0,47$  sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık ortalaması  $234^{\circ}\text{C}$ ' ye ulaştığı, maksimum sıcaklığının  $284^{\circ}\text{C}$  olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.18'de 18 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi verilmiştir.



**Şekil 4.18** 18 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

### **18 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği**

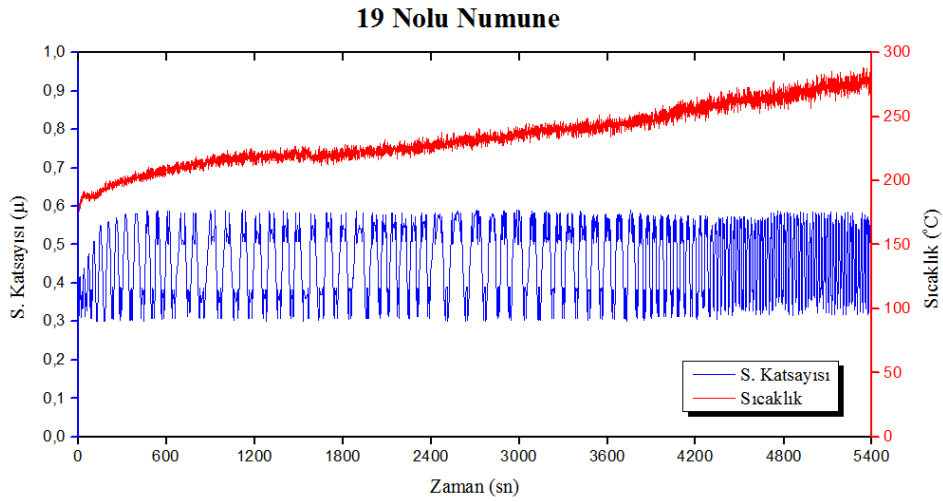
18 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin SEM mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.18) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır.



**Resim 4.18** 18 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

### 19 Nolu Numunenin Sürtünme Katsayısı ve Sıcaklık Değişimi

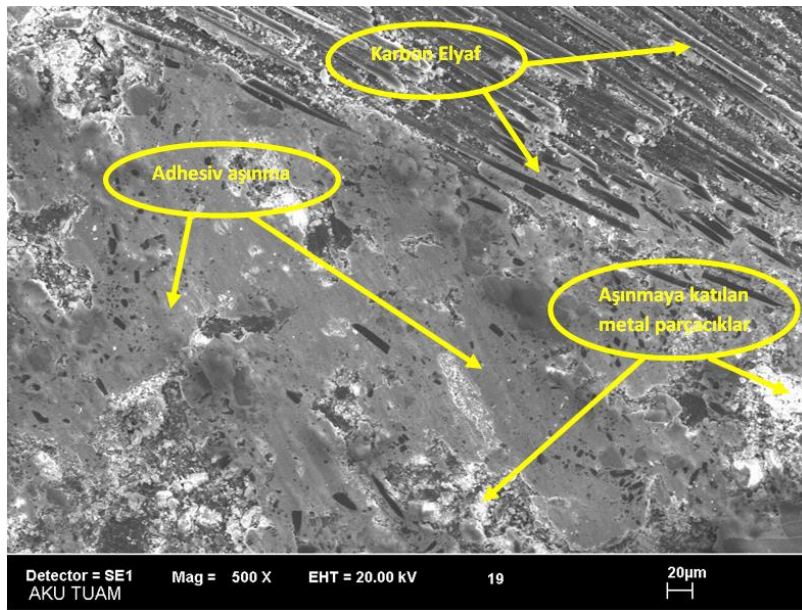
19 nolu numunede de  $\mu=0,46$  sürtünme katsayısı değeri bulunmuştur. Sıcaklık ortalaması  $234^{\circ}\text{C}$  ve maksimum sıcaklık  $297^{\circ}\text{C}$  gerçekleşmiştir. Şekil 4.19'da 19 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi görülebilmektedir.



**Şekil 4.19** 19 nolu numunenin zamana bağlı sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi.

## 19 Nolu Numunenin Sürtünme Yüzey Karakteristiği

19 nolu numunenin sürtünme deneyi sonrasında aşınma yüzeyinin mikroyapısı incelendiğinde (Resim 4.19) sürtünme yüzeyinde oluşan çizikler ve renk farklılıkları hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Genel olarak komponenti oluşturan malzemelerin homojen dağıldığı ve sürtünmeye aktif olarak katıldığı anlaşılmaktadır. Abrazif aşınma bölgelerinde metalik parçacıkların sürtünmeye iştirak ettiği beyaz renkli bölgeler ile dikkat çekmektedir.



**Resim 4.19** 19 nolu numunenin aşınma yüzeyi mikroyapısı.

## 4.2 Yoğunluk ve Sertlik Testi Sonuçları

Sürtünme performansının araştırılması amacıyla hazırlanmış numunelerin Arşimet yöntemi ile yoğunlukları tespit edilmiştir. Yapılan ölçümlerde yoğunluğu en yüksek olan 11 numaralı numunenin ortalama yoğunluğu  $2,25 \text{ g/cm}^3$  olarak ölçülmüştür.

Üretilmiş balata numunelerinin sertlik değerlerinin belirlenmesi için numunelere Brinell sertlik testi (HB) uygulanmıştır. Brinell test yönteminde 2,5 mm çapında sert bilye uç kullanılmıştır. Yöntemde her bir numune yüzeyinden 3 ölçüm alınmıştır. Alınan

ölçümlerin ortalaması alınmış ve Tablo 4.1 de verilmiştir. Numunelerin ortalama sertlik değerleri arasında büyük farklılıkların olmadığı gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değerleri 58,49 HB ile 8 nolu numuneden elde edilmiştir. En düşük sertlik değeri 50,18 HB ile 19 nolu numuneden elde edilmiştir.

**Tablo 4.1** Deney numunelerinin ortalama sürtünme katsayısı, özgül aşınma, yoğunluk ve sertlik değerleri

Numune no	Ortalama sürtünme katsayısı ( $\mu$ )	YSA tahmini sürtünme katsayısı ( $\mu$ )	Özgül aşınma ( $\text{g/mm}^2$ ) $\times 10^{-6}$	Yoğunluk ( $\rho$ , $\text{g/cm}^3$ )	Sertlik değeri (HB)
1	0,47	0,46	1,877	2,201	56,39
2	0,45	0,45	1,921	2,223	52,12
3	0,48	0,46	0,935	2,196	55,94
4	0,47	0,45	2,466	2,161	56,21
5	0,44	0,45	7,670	2,129	54,18
6	0,44	0,45	3,775	2,242	55,26
7	0,44	0,46	2,622	2,152	56,97
8	0,48	0,45	2,785	2,141	58,49
9	0,47	0,46	3,215	2,185	55,07
10	0,48	0,46	2,272	2,229	56,84
11	0,46	0,44	2,027	2,250	55,62
12	0,48	0,47	2,711	2,220	57,12
13	0,46	0,45	2,137	2,207	56,35
14	0,47	0,45	2,076	2,169	52,25
15	0,44	0,45	1,206	2,210	53,65
16	0,44	0,46	2,344	2,191	51,58
17	0,47	0,46	2,380	2,197	56,83
18	0,47	0,46	1,517	2,204	54,22
19	0,46	0,45	3,856	2,189	50,18

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

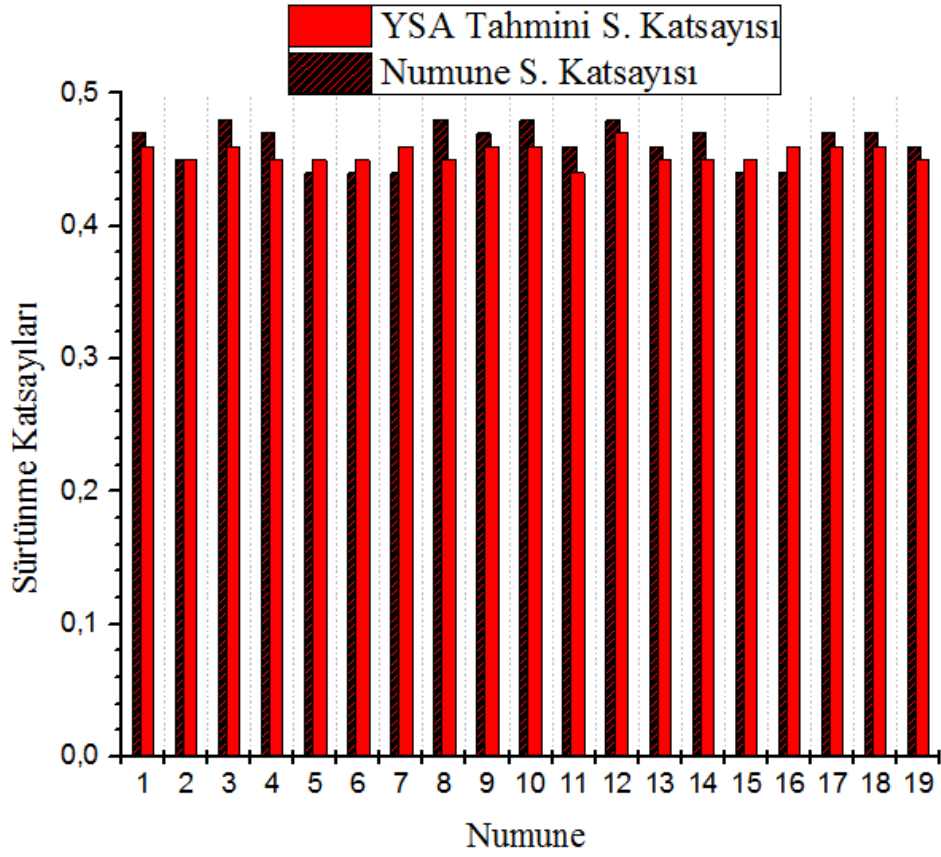
### 5.1 Sonuçlar

19 farklı formüle sahip numunenin frenleme karakteristiğini belirlemek için yapılan deneylerde, sürtünme katsayısı-sıcaklık-zaman grafikleri oluşturulmuş ve aşınma direnci, sertlik, yoğunluk özelliklerini belirlemek amacıyla bir dizi testler yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir.

1. Bütün numuneler TSE 555 standardına uygun sürtünme katsayısı değerini sergilemişlerdir. Tüm deneyler boyunca ortalama sürtünme katsayısı  $\mu=0,44$  –  $\mu=0,48$  arasında değerler elde edilmiştir.
2. Tüm numuneler içerisinde en düşük sürtünme katsayısı 5, 6, 7, 15 ve 16 nolu numunelerden  $\mu=0,44$  olarak ve en yüksek sürtünme katsayısı ise 3, 8, 10 ve 12 nolu numuneden  $\mu=0,48$  olarak tespit edilmiştir.
3. En fazla aşınma gösteren numuneler 5, 6 ve 19 nolu numunelerdir. Bu numunelerin yoğunluk ve cashew miktarının aşınma miktarında etkili olduğunu söyleyebiliriz.
4. En az aşınma gösteren numuneler 3 ve 15 nolu numuneler olmuştur. Bu numunelerin sürtünme katsayısı ortalamaları sırasıyla  $\mu=0,46$  ve  $\mu=0,45$ 'tir. Buradan sürtünme katsayısının düşük olmasıyla birlikte balataadaki aşınma miktarında azalmaktadır.
5. Balata numunelerin yoğunluk değerlerine bakıldığında 5 nolu numunenin yoğunluğu  $2,219\text{g/cm}^3$  ile en az olan numunedir. En yoğun en çok olan 11 nolu numunenin yoğunluğu  $2,250\text{g/cm}^3$  dir.
6. Sürtünme deneyi sonucunda, aşınma yüzeylerinin mikro yapı resimlerinde görüldüğü gibi birçok numunede karbon elyaflar, belirgin bir şekilde sürtünme sürecinde rol almıştır.
7. Numunelerin aşınmış yüzey mikro yapı resimlerinden hem adheziv hem de abrazif aşınmanın gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



8. Mikro yapı resimleri incelendiğinde mikro yapıda boşlukların olduğu bunun üretim aşamasında ve/veya sürtünme kuvveti etkisi ile metalik takviyelerin boşalttığı kısımlar olduğu tespit edilmiştir.
9. Sertlik oranı arttıkça numunelerdeki sürtünme katsayısı performansında iyileşmeler gözlenmiştir. Sertlik oranı arttıkça numunedeki aşınma miktarı azalmıştır. Kullandığımız numunelerde en düşük sertlik 19 nolu numunede 50,18 HB görülmüştür ve sürtünme katsayısı  $\mu=0,46$ 'tır. En yüksek sertlik değeri ise 8 nolu numunede 58,49 HB görülmüştür ve sürtünme katsayısı  $\mu=0,48$ 'dir.
10. Yapay sinir ağı yaklaşımı tahmin metodu ile yapılan çalışmada sürtünme katsayısı belirlenmiştir. Belirlenen bu numuneler üretilip testleri yapıldığında sonuçların birbirine yakın sürtünme katsayısı değerleri verdiği görülmüştür. Şekil 5.1 de görülmektedir.



Şekil 5.1 Deneyi gerçekleştirilen numune sürtünme katsayıları ve YSA'da tahmini gerçekleştirilen sürtünme katsayıları

11. 13 adet numunede test sonucu tahmindeki sürtünme katsayılarından 0,01-0,03 arasında yüksek olduğu belirlenmiştir. 5, 6, 7 nolu numunelerde sürtünme katsayısı test sonuçlarından minimum-maximum olmak üzere 0,01-0,02 yüksek sonuçlar vermiştir. Sadece 2 numaralı numunede sürtünme katsayıları eşit çıkmıştır.

## 5.2 Öneriler

1. Yapılan çalışmalarda, numuneler standartlara uygun olarak değerler sergilemektedir. Kullanılan balata içeriğinde karbon elyaf miktarının arttırılması ve/veya elyaf uzunluğunun arttırılması ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir.
2. Herbir bileşenin deneye etkisini araştırmak için 5 değişkenden 4'ü sabitlenerek bileşenin deneye etkisi araştırılabilir.
3. Üretimi yapılan balata numunelerindeki barit miktarı azaltılıp başka dolgu malzemeleride kullanılarak sürtünme katsayısındaki kararlılık gözlemlenebilir.
4. Ürünün ticarileştirilebilmesi için bileşenler arasındaki etkileşimin tam olarak tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için ağırlıklı olarak bileşenlerin ayrı ayrı etkileşimini gruplar oluşturarak deneyler yapılmalı ve yapay sini ağlarının eğitimde kullanılacak veri sayısının artırılmasıyla tahminde kullanılacak ağ yapısının modeli geliştirilebilir.

## 6.KAYNAKLAR

- Akkurt, S. ( 1991), Plastik Malzeme Bilgisi, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Aleksendric D., Duboka C. (2006), Prediction of automotive friction material characteristics using artificial neural networks-cold performance, *Wear*, **261(3-4):** 269-282.
- Anderson, A.E. (1992), ASM handbook, Friction, Lubrication, and Wear Technology ASM International, Metarials Park, OH, **18: 569-577.**
- Anlaş, İ. (1988), Şasi temel ders kitabı, M. E. B. yayınları, İstanbul.
- Aran, A. (1990), Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler. İ.T.U. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Arıcasoy, O. (2006), Kompozit sektör raporu, İstanbul ticaret odası.
- Ayar, H. H. (1991), Disk Fren Balatalarında Bileşimin Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baker, R., 1992, Changes Caused By Legislation Against Asbestos, *Powder Metallurgy*, **35(4): 255-256.**
- Baydur, G. (1987), Malzeme, MEB, s. 55, İstanbul.
- Bijwe, J. (1997), Composites As A Friction Material: Recent Developments In Non-Asbestos Fiber Reinforced Friction Materials-A Reveiw, *Polimer Composites*, **18: 378-396.**

- Boz, M., Kurt, A. (2007). The effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the friction performance of automotivebrake friction materials. *Tribology International* **40**: 1161–1169.
- Çavuşoğlu, E., N. (1989), Döküm Teknolojisi I, İTÜ, İstanbul.
- Çetinkaya, S. (1999), Taşıt Mekaniği, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Crosa, G., Baumvol, I. J. R., Friedrich, K. (1993), Advances In Composite Tribology, Composite Materials Series, 8, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.
- Crouse, W.H., Çev: Anlaş, İ. (1979), Otomobil Şasisi, E.T.Y.Ö.O. Matbaası, Ankara.
- Demirsoy, M. (1973), Balatalar, *Mühendis ve Makine Dergisi*, **17**: 157-170, Ankara.
- Demirsoy, M. (1991), Motorlu Taşıtlar Cilt 2, Birsen Yayınevi, Denizli.
- Domaç, G.S. (2006), Disk frenlerin tasarım ve tribolojik açıdan incelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dong, F., Blum, F. D., Drahani, L. R. (1996), *Polimer-Polimer Composites*, 4, pp. 155-159.
- Dönmez, A.G. (2000), Asbest Dışı Elyafarla Üretilen Balata Malzemelerinin Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ekmekyapar, T., Örüng. (1997), İnşaat Malzeme Bilgisi, 3. Baskı, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum.
- Ertan, R.ve Yavuz, N. (2005), Polimer Matriksli Fren Balata Malzemelerinin Kompozisyon ve Üretim Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makina*, **47**: 24-30.

- Esin, A. (1981), *Properties of Materials for Mechanical Design*, 1. Baskı, ODTÜ Mühendislik Fakültesi.
- Filikçioğlu. C. (1998), ‘‘Taşıt Frenlerinde Balata Çeşidinin ve Çalışma Şartlarının Frenleme Performansına Etkisi’’, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Filip, P., Weiss, Z., Rafaja, D. (2001) , On Friction Layer Formation in Polymer Matrix Composite Materials for Brake Applications, *Wear*, **9028**: 1–10.
- Gemalmayan, N. (1984), Sürtünme malzemelerinin özelliklerinin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Müh. Mimar. Fak., Ankara.
- Gemalmayan, N. (1986), Asbestsiz Sürtünme Malzemelerinin (Balataların) Yapımı ve Uygulanması, 2. Ulusal Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara.
- Gopal, P., Daharani, L. R., Blum, F. D.,1994, ‘‘Fade And Wear Characteristics of A Glass-Fiber-Reinforced Phenolic Friction Material’’, *Wear*, **174**: 119-127.
- Güleç, S., Aran, A. (1993), Malzeme Bilgisi, \_TÜ Makine Fakültesi, s.153, İstanbul.
- Güney, B. (2013), Kaplanmış Otomotiv Fren Diskinin Frenleme Performansına Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Hando, Y., Kato, T. (1996), Effects of Cu Powder, BaSO<sub>4</sub> and Cashew Dust on the Wear and Friction Characteristic of Automotive Brake Pads, *Tribology Transactions*, **39**: 346–353.
- Kalogirou S.A. (2000), ‘‘Artificial Neural Networks in Renewable Energy Systems Applications: A Review’’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 373-401.

- Kalogirou S. A. (2000), “Long-Term Performance Prediction of Forced Circulation Solar Domestic Water Heating Systems Using Artificial Neural Networks”, *Applied Energy*, 61–75.
- Kara F. (2011), Karbon Elyaf Takviyeli Otomotiv Fren Balata Özelliklerinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Kara, M. (1998), Alüminyum Oksitin Sürtünme ve Aşınma Davranışları. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Katalog 1, (1993), Basarit Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, Deutsche Basaltsteinwolle GmbH, Rodetal 40 D-3406 Bovenden, I, Germany.
- Kato, T., Magario, A. (1994), Friction and Wear Properties of Kevlar 29 Fiber Reinforced Composites, *Tribology Transactions*, **37**: 559.
- Kaya, F. (1983), Plastikler Katkı Maddeleri ve İşleme Metotları. 1. Baskı, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul.
- Kılıç, H. (2010), Mermer Atıklarının Otomotiv Fren Balata Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Klar, E. (1983), Metals Handbook 9th edition, by the American society for metals, USA, *Powder metallurgy*, **25**: 1-14.
- Koca, M. (2011), Bazı Mineral Malzemelerin Fren Balatalarında Sürtünme Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Kuhn, H. A., Lawley, A. (1978), Powder Metallurgy Processing New Techniques and Analyses, Academic Press, New York, San Francisco.
- Kun, N. (2000), Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi. Mermerciler Odası, 149, İzmir.
- Luger, G.F. (2005), “Artificial intelligence:structures and strategies for complex problem solving”, 5th Edition.; Addison Wesley, USA 3-28
- Lambla, M., VO, V. (1986), “Optimization of Phenolic Resin for Friction Materials”. *Polymer Composites*, **7(5)**: 262-273.
- Laurene Fausett. (1994), “Fundamentals Of Neural Network, Architectures, Algorithms, And Applications”.
- Lavrence, A, R. (1975), Industrial Minerals and Rocks, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Inc., 4rd Edition, New York.
- McLellan R.G. (1988), IMechE C451 (88) 9-13.
- Mehrotra, K.; Mohan,C.K.; Ranka, S. (2000), “Elements Of Artificial Neural Network”, 2nd Edition, *Massachusetts Institute of Technology*, 4-6.
- Morshed M. M., Haseeb A. S. M. A. (2004), Physical and chemical characteristics of commercially available brake shoe lining materials: a comparative study, *Journal of Materials Processing Technology*, **155-156**: 1422-1427.
- Mutlu İ.,Oner C., Fındık F. (2005), Boric Acid Effect İn Phenolic Composites On Tribological Properties in Brake Linings, *Materials & Design*, **39**: 317-325.
- Mutlu, İ, Çevik, İ, Öner, C. (2002), Borik Asit Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, 3rd International Powder



Metallurgy Conference September 4-8, Turkish Powder Metallurgy Association, 1307-1314, Gazi Üniversitesi, Ankara,

Mutlu, İ. (2002), Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Oehl K. H. and Paul H. G. (1990), Brake Linings for Road Vehicles. Verlag Moderne Industry AG&Co, D- 8910, Box 1751, Germany.p. 4-44.

Othmer, K. (1966), Phenolic Resin, Encyclopaedia of Chemical Technology, Vol. 15, 2<sup>nd</sup> Ed., John Wiley And Sons Inc., New York.

Önenç, D. İ. (1998), Sedimanter Kaya Mermerciliğinde Bloklarda Ürün Alınmasını Engelleyen Jeolojik Oluşumlar. Maden Tetkik ve Arama Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, No:1-2, 61- 63, Ankara.

Öztemel E. (2003), “Yapay Sinir Ağları”, Papatya Yayıncılık 49-52.

Parr, E. A. (1997), Endüstriyel Kontrol El Kitabı, MEB, İstanbul.

Peter J. B. (2001), Compositions, Functions, and Testing of Friction Materials and Their Additives, August.

Reinsch, E. W. (1970), Sintered metal brake linings for automotive applications, Delco-Moraine division, General motors corp. Dayton, **2**: 9-21, Ohio.

Rhee, S. K. (1971), Wear of Metal Reinforced Phenolic Resin, *Wear*, **18**: 471–477.

SAE J2430/B.E.E.P. (2002), How to read and understand the aftermarket standart SAE J2430/Brake Effectiveness Evaluation Procedure Link Testing Laboratories, Inc. 13840 Elmira Ave. Detroit, Michigan 48227-3017.

- Sağıroğlu, S. (2006), “Yapay Sinir Ağları ve Mühendislik Uygulamaları”, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye.
- Stocks, A. I., Giezendanner, H., Van-Der-Hurk, H. (1985), Asbestos-Free Clutches and Brakes Reinforced with Kevlar-Aramid Fibers, *Int. J. of Vehicle Design*, **6(4/5)**: 483–487.
- Sophie, K. T. and mason, E. (2002), Asbestos: Mineral and Fibers, Division of Chemical Health and Safety of the American Chemical Society.
- Subramaniam, N., Sinha, B. R., Blum, F. D., Chen, Y. R., Dharani, L. R., 1991, ‘Glass Fiber Based Friction Materials’, *International Journal of Polimer Materials*, **15**: 93–102.
- Sözen A, Akçayol M.A. (2004), “Modelling (Using Artificial Neural- Networks) the Performance Parameters of a Solar-Driven Ejector-Absorption Cycle”, *Applied Energy*, 309-325.
- Sugözü İ. (2009), Bor Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi Ve Frenleme Karakteristiğinin İncelenmesi Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Süme, V., Güner, M. S. (1999), Yapı Malzemesi ve Beton 2, Aktif Yayınevi, Rize.
- Şahin S., Özdemir İ., Ünlü B. S. (2002), T/M Yöntemi ile Üretilmiş Al-SiCp Kompozitlerde Üretim Parametrelerinin Aşınma Davranışına Etkisi, 3rd International Powder Metallurgy Conference, Ankara, Türkiye, pp. 951-957.

- Şeker, M. (2012), Fren Balatalarının Üretim Şartları ve İçeriğinin Performansa Etkisinin Taguchi Yöntemiyle Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Timur M. (2007), Otomotivde Kullanılan Sürtünme Malzemelerinin Sürtünme Katsayısını Tesipit Eden Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı, Y. Lisans Tezi.
- Topbaş, M. A. (1993), Endüstri malzemeleri, cilt.2, Yıldız Üniversitesi Matbaası, 264 sf , İstanbul.
- Toplum ve Çevre Sağlığı Açısından Soru Cevaplarla Asbest, (1991), Türk Sağlık Ajansı Yayınları 1, Ankara.
- TS 139. (1992), Metalik Malzemelerin Brinell Sertlik Deneyi, T.S.E., 1. Baskı, Ankara.
- TS 555. (1992), Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler İçin, T.S.E., 1. Baskı, Ankara.
- TS 9076. (1991), Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları İle Değerlendirilmesi, T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Nisan.
- Uygur, M, E. (1996), Balata Üretim Teknolojisi, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Kongresi, Bildiriler Kitapçığı, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Vishwanath, B., Verma, A. P., Kameswaro Rao, C. V. S. (1993), Effect of Reinforcement on Friction and Wear of Fabric Reinforced Polymer Composites, *Wear*, **167**: 93-99.
- Washabaugh, F.J. (1987), ‘‘EMCOR 66 Ultra-Short Fibers for Asbestos-Free Friction Materials’’, SAE 860630.

Welch, P.A., A.F. (1953), The Development of Mineral Wool From Florida Minerals. Greaves-Walker, Fla. Eng. and Ind. Exp. Sta. Bull. 59.

Yamashita, Y., Hiroshi, A., Kawase, M., Iwata, K. (1993), High Performance Asbestos Free Friction Material for Disk Brake Pads with The Controlled Grain Structure, Sumitomo Electric Industries, Ltd., SAE 890861.

Yavuz, N. (2002), Toz Metalürjisi Ders Notları. Uludağ Üniversitesi, Bursa.

Yazıcı, A.C. (2007), “Artificial Neural Networks”: review, Türkiye Klinikleri J Med Sci, Baskent Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Fizyoloji Anabilim Dalı ANKARA, 65-71.

Yetgin S. H., Aydın M., Aksoy A., Ünal R. (2005), The Effect of the Mixer Type and Ratio of Reinforcement Particle on the Mechanical Properties of Nbc Reinforced Al Composite Material Produced Via Powder Metallurgy, EURO PM2005 Congress And Exhibition, Prague, Czech Republic, p:721-725.

Youssef, H., Comte, C. (1989), Consolidation of High Performance Friction Materials, Alliage Frittes Metafram, Beauchamp, France, MPR, March.

#### İnternet Kaynakları

#### Erişim Tarihi

1. History of Artificial Neural Networks.:

[http://en.wikibooks.org/wiki/Artificial\\_Neural\\_Networks/History](http://en.wikibooks.org/wiki/Artificial_Neural_Networks/History), (06.01.2014).

2.<http://www.ahmetkakici.com/yazilim/yapay-sinir-aglarina-giris/> (06.01.2014).

3.[http://en.wikipedia.org/wiki/Neural\\_networks](http://en.wikipedia.org/wiki/Neural_networks) (12.01.2014).

4.[http://tr.wikipedia.org/wiki/Yapay\\_sinir\\_ağları](http://tr.wikipedia.org/wiki/Yapay_sinir_ağları) (29.01.2014).

5. <http://www.corecomposites.com/media/aboutCarbon.pdf> (12.01.2014).

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yavuz ŞAVK  
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir 11.08.1983  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : yavuzsavk@comu.edu.tr, yavuzsavk0326@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Motor Teknik Lisesi Eskişehir, 2001.  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,  
Otomotiv Öğretmenliği, 2010.  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Mühendisliği  
ABD, 2014 Devam ediyor.

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga MYO, 2013.

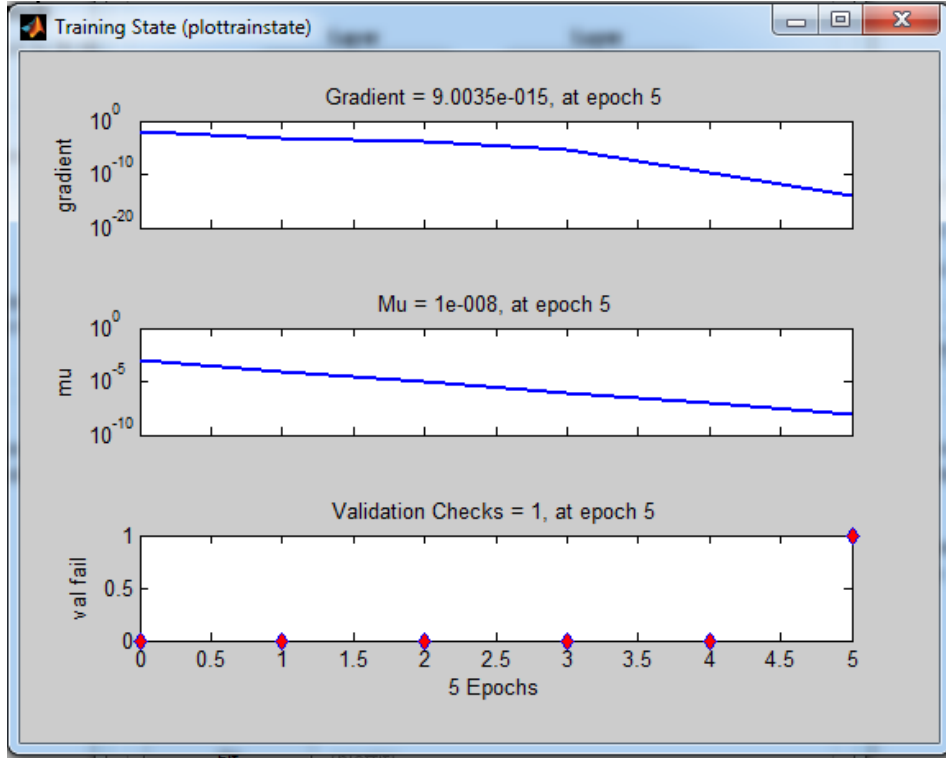
## **EKLER**

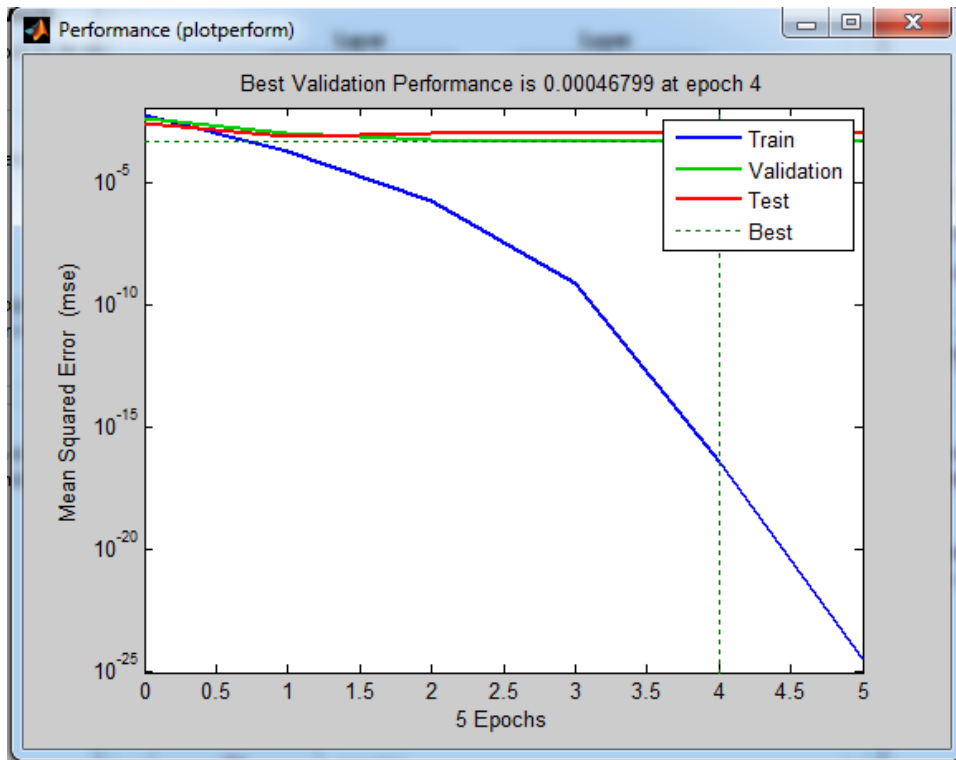
**Ek 1.** Ağın Eğitim Garfikleri

**EK 2.** Oluşturulan Sinir Ağının Gizli Katmanları Ve Yapısı

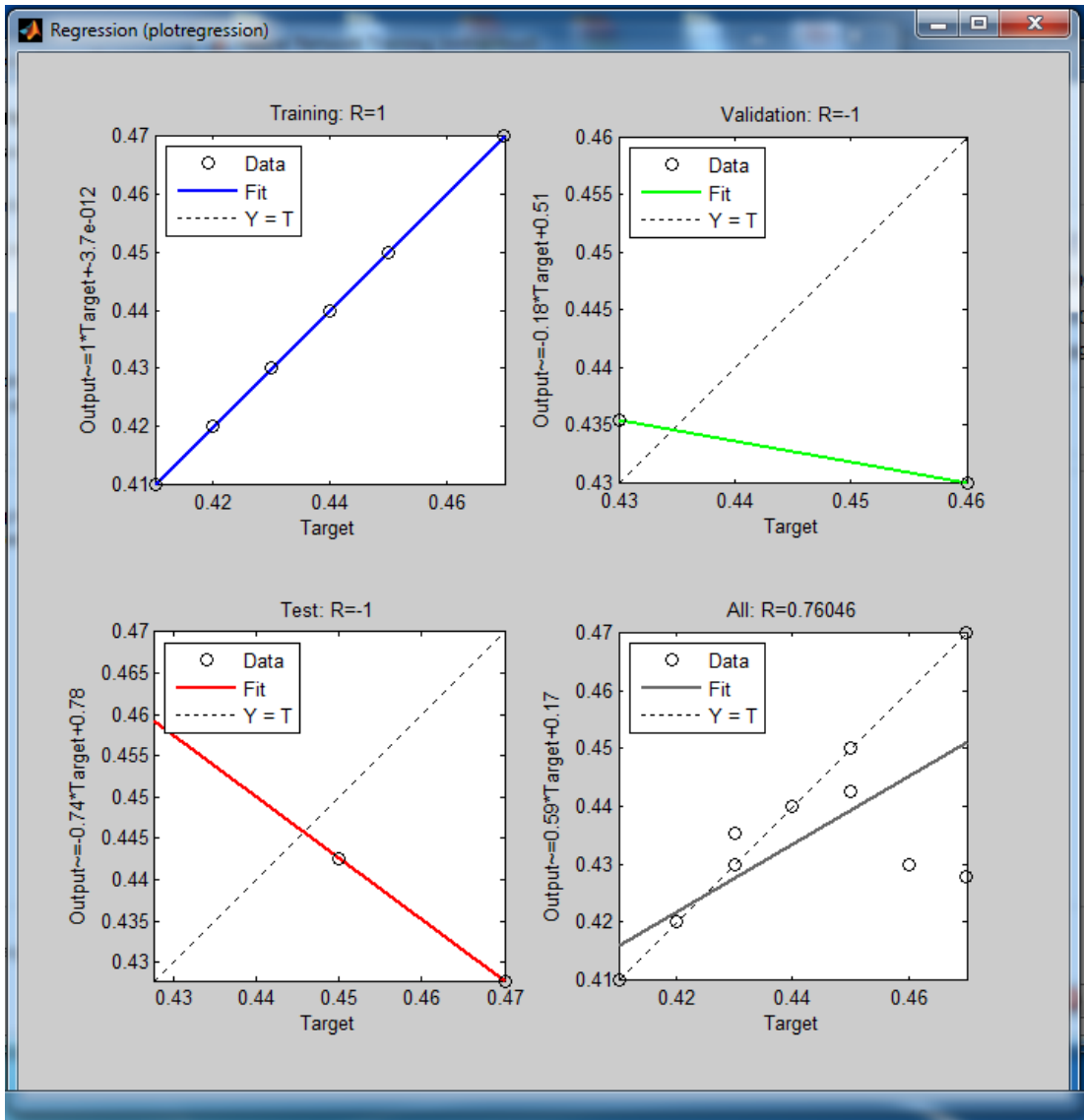
**EK 3.** Yapay Sinir Ağının M-File Dosyası

## EK 1. Ağın Eğitim Garfikleri

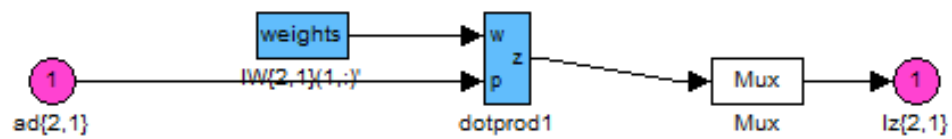
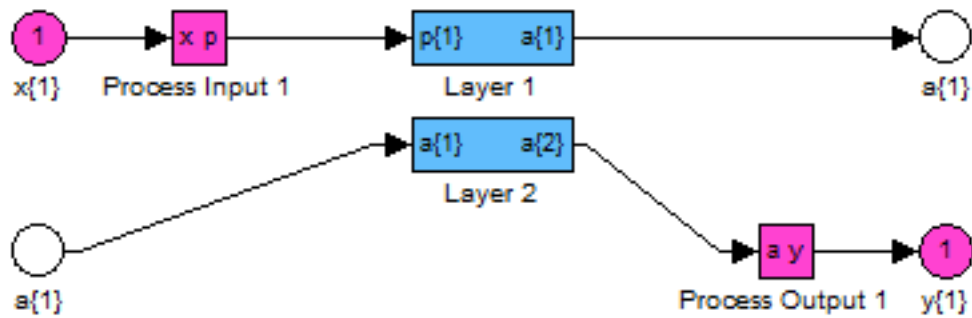
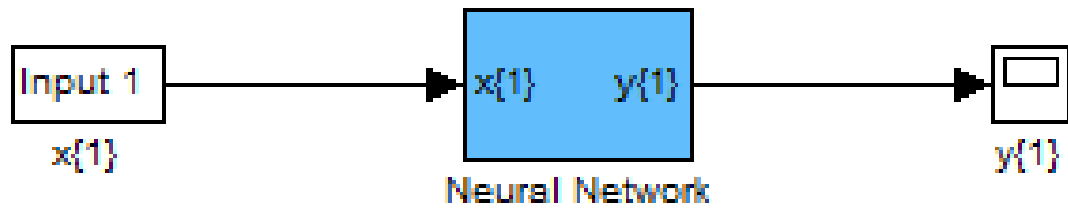


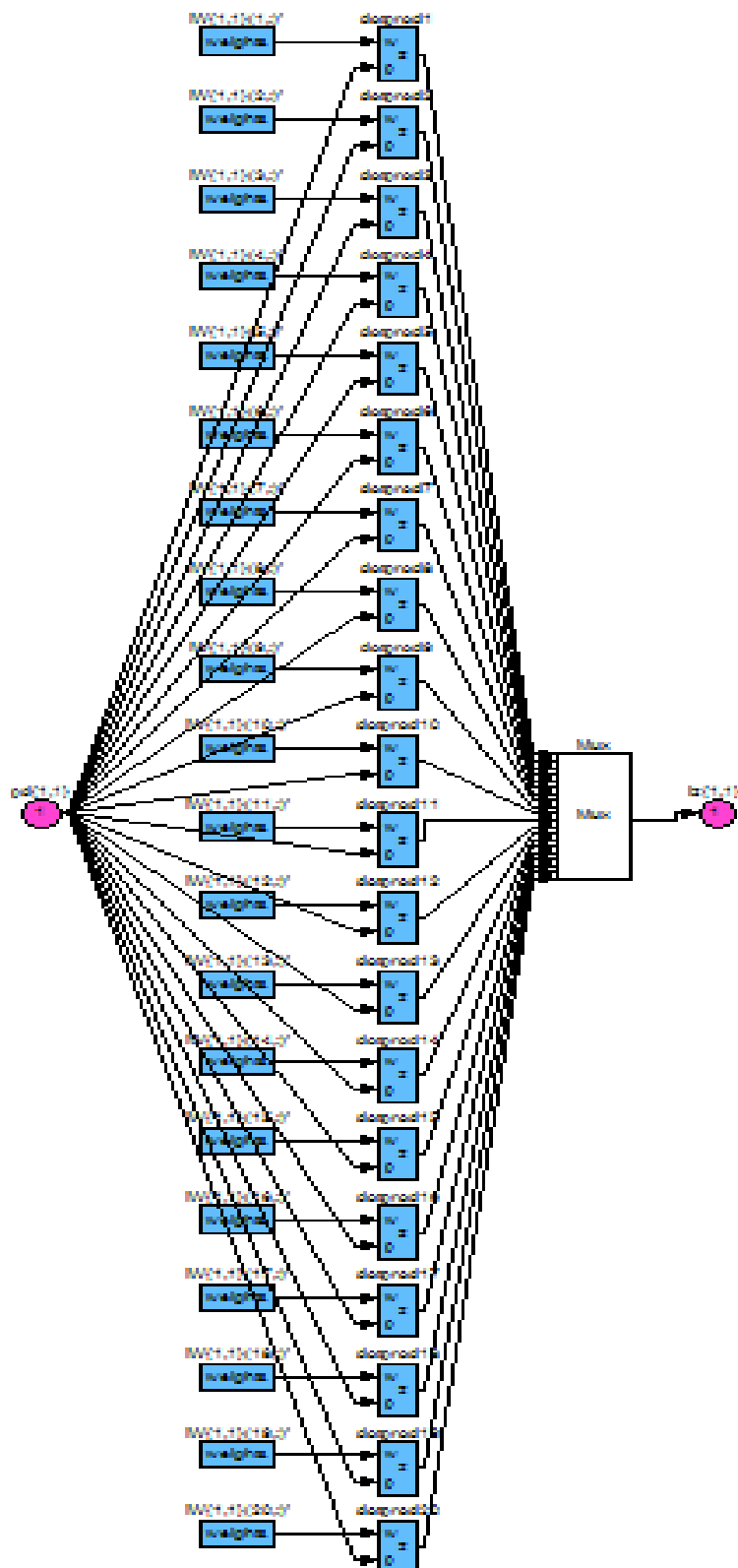






## EK 2. Ağ Yapısı





### EK 3. M-File

```
function net = create_fit_net(inputs,targets)
%CREATE_FIT_NET Creates and trains a fitting neural network.
%
% NET = CREATE_FIT_NET(INPUTS,TARGETS) takes these arguments:
%   INPUTS - RxQ matrix of Q R-element input samples
%   TARGETS - SxQ matrix of Q S-element associated target samples
% arranged as columns, and returns these results:
%   NET - The trained neural network
%
% For example, to solve the Simple Fit dataset problem with this
function:
%
%   load simplefit_dataset
%   net = create_fit_net(simplefitInputs,simplefitTargets);
%   simplefitOutputs = sim(net,simplefitInputs);
%
% To reproduce the results you obtained in NFTOOL:
%
%   net = create_fit_net(giris',hedef');

% Create Network
numHiddenNeurons = 20; % Adjust as desired
net = newfit(inputs,targets,numHiddenNeurons);
net.divideParam.trainRatio = 80/100; % Adjust as desired
net.divideParam.valRatio = 10/100; % Adjust as desired
net.divideParam.testRatio = 10/100; % Adjust as desired

% Train and Apply Network
[net,tr] = train(net,inputs,targets);
outputs = sim(net,inputs);

% Plot
plotperf(tr)
plotfit(net,inputs,targets)
plotregression(targets,outputs)
```