



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0130

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: October 2010

Accepted: January 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

**Murat Yavuz Solmaz**

**Oğuz Yakut**

Firat University

mysolmaz@firat.edu.tr

Elazig-Turkey

**Ni<sub>3</sub>Al+B METALLERARASI BİLEŞİĞİNİN AŞINMA DAVRANIŞININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

**ÖZET**

Bu çalışmanın amacı, yüksek sıcaklık uygulamalarında sıklıkla kullanılan Ni<sub>3</sub>Al+B metaller arası bileşiğinin (intermetalik) aşınma davranışını yapay sinir ağları (YSA) kullanarak modellemektir. Çalışma deneysel ve yapay sinir ağı modellemesi olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 50, 75, 100 ve 125 N olmak üzere 4 farklı yük ve oda sıcaklığı, 100, 300 ve 450°C olmak üzere 4 farklı sıcaklıkta aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 3 katmanlı ileri beslemeli bir YSA yapısı oluşturularak deneysel sonuçlardan elde edilen veriler yardımıyla sistem modellenmiştir. Deneysel verilerin %75'i eğitim, geri kalan %25'i ise test amaçlı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda model ile gerçek değerlerin birbirine olan yakınlığı oluşturulan modelin başarısını ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Ni<sub>3</sub>Al+B, İntermetalik Bileşikler, Aşınma, YSA, Modelleme

**MODELLING WEAR BEHAVIOUR OF Ni<sub>3</sub>Al+B INTERMETALLIC COMPOUND WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

**ABSTRACT**

The aim of this study, is modelling wear behaviour of Ni<sub>3</sub>Al+B intermetallic compound, which is used commonly in applications where high temperatures required, by using artificial neural networks. The study was carried out in two stages; experiment and artificial neural network modelling. Firstly, four different load of 50, 75, 100 and 125N at four different temperatures of 25 (room temperature), 100, 300 and 450°C respectively, the experiments were accomplished. Then, the system was modeled as a three-layer feed forward neural network structure, formed with the help of datas obtained from the experimental results. The 75 percent of experimental results was used for education and remaining 25 percent was used for test. Consequently, the proximity of values obtained from experiments and artificial neural networks reveals the success of this study.

**Keywords:** Ni<sub>3</sub>Al+B, Intermetallic Compounds, Wear, ANN, Modeling

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Temas halinde olan malzemelerin sürtünmesi ve bunun sonucu meydana gelen aşınma özellikleri; makine elemanlarının ve dizaynlarının en önemli problemlerinden biridir. Çünkü temas eden yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise işleme toleranslarının kötüleşmesine sebep olmaktadır. Makine parçalarının bozulma sebeplerinin analizi; bu bozulmaların %75'inin sürtünme yüzeylerinin aşınması sonucu olduğunu göstermiştir (Atik, 1987). Bu sebeplerden dolayı makine elemanlarında kullanılan malzemelerin aşınma davranışlarının tespit edilmesi oldukça önemli bir konudur. Malzemelerin aşınma davranışının tespit edilmesinde çok farklı yöntemler kullanılabilir. Son yıllarda deneysel sonuçlardan da yararlanılan yapay sinir ağları (YSA) temelli modeller aşınma gibi malzeme özelliklerini tespit etmek için kullanılmaya başlamıştır.

Jiang ve arkadaşları 2006 yılında gerçekleştirdikleri bir çalışmalarında YSA kullanarak polimer esaslı kompozitlerin aşınma davranışını tahmin etmeye çalışmışlar ve çalışma neticesinde deneysel sonuçların ile YSA tahminlerinin oldukça tatmin edici olduğunu göstermişlerdir (Jiang ve ark., 2006). Çetinel ve arkadaşları, Mo kaplamalardaki ağırlık kaybını tespit edebilmek için YSA temelli bir tahmin tekniği kullanmışlar ve elde ettikleri sayısal ve deneysel sonuçların oldukça iyi bir uyum sergilediğini tespit etmişlerdir (Çetinel ve ark., 2006). Rashed ve Mahmoud 2009 yılında gerçekleştirdikleri çalışmalarında A356/SiCp metal matrisli kompozitin aşınma davranışını tespit etmek için YSA kullanmışlardır. Modellerinde aşınma direnci üzerine SiC partiküllerinin boyutu, ağırlıkça yüzdesi, uygulanan gerilme ve test sıcaklığı kullanılmış ve deneysel çalışma ile kıyaslandığında zaman özellikle zaman açısından oldukça faydalı bir çalışma olduğunu ortaya çıkarmışlardır (Rashed ve Mahmoud, 2009). Sanjay ve arkadaşları 2005 yılında gerçekleştirdikleri bir çalışmalarında, istatistiksel analiz ve yapay sinir ağları kullanarak delme işleminde takım aşınmasını modellemişlerdir. Delmedeki aşınmayı tespit etmek için geri yayıllımlı yapay sinir ağı kullandıkları çalışmalarında delme boyu, hızı, torqu ve süresi göz önüne alınarak elde edilen aşınma verileri istatistiksel analizde ve YSA da girdi verileri olarak kullanılmış ve elde edilen sonuçların gerçek sonuçlar ile uyum içerisinde olduğunu tespit etmişlerdir (Sanjay ve ark., 2005).

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, türbin kanatçıkları gibi yüksek sıcaklığa maruz uygulamalarda sıklıkla kullanılan  $Ni_3Al+B$  metaller arası bileşiğinin block-on-disk yöntemi ile ağırlık kaybı deneysel olarak tespit edilmiş ve bu veriler kullanılarak aşınmanın YSA modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model yardımı ile farklı sıcaklık ve yükleme şartlarına bağlı olarak ağırlık kayıpları tespit edilmiştir.

## 3. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 3.1. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

Bu çalışmada, Tablo 1 de kimyasal kompozisyonu verilen  $Ni_3Al+B$  metaller arası bileşiğinin Şekil 1 de gösterilmiş olan block-on-disk sistemine göre aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde karşı malzeme olarak kimyasal kompozisyonu Tablo 2 de verilmiş olan 6200 ZZ G3 standardındaki rulmanlar kullanılmıştır.

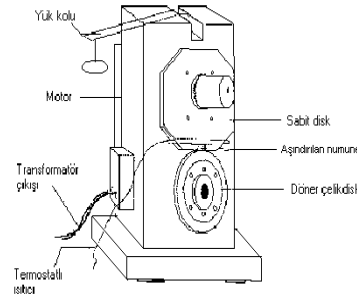
Tablo 1. Ni<sub>3</sub>Al+B metaller arası bileşiğinin kimyasal analizi  
(Table 1. The chemical composition of Ni<sub>3</sub>Al+B intermetallic compound)

Elem.	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Al	Mo	Cu	N <sub>2</sub>	Zr	B	Fe	O <sub>2</sub>
Wt (%)	0.007	0.024	0.002	0.0004	0.03	0.046	Bal.	11.12	0.002	0.001	0.015	0.78	0.044	0.45	0.006

Tablo 2. Deneyde kullanılan disklerin (100 Cr 6) % ağırlıklı kimyasal kompozisyonu

(Table 2. The chemical composition of counterpart material, 100Cr6)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	W	Cu
100 Cr 6	0.90~1.05	0.15~0.35	0.25~0.45	0.030	0.025	0.40~0.60	---	Max. 0.30	---	---	0.30



Şekil 1. TE53/80004 marka çok amaçlı sürtünme ve aşınma makinesi  
(Figure 1. TE53/80004 coded multi-purpose friction and wear machine)

Aşınma testine tabi tutulan numuneler test sonrası tekrar temizlenip asetonla silindikten sonra aşınma öncesi ve aşınma sonrası ölçülen ağırlık farklarından yararlanarak aşınma miktarları, ağırlık birimi (mg) cinsinden 10<sup>-3</sup> hassasiyet ile tespit edilmiştir. Deneyler; oda sıcaklığı, 100°C, 300°C, ve 450° de ve 50, 75, 100 ve 125 N yük altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan parametreler ve elde edilen ağırlık kaybı değerleri Tablo 3 de özetlenmiştir.

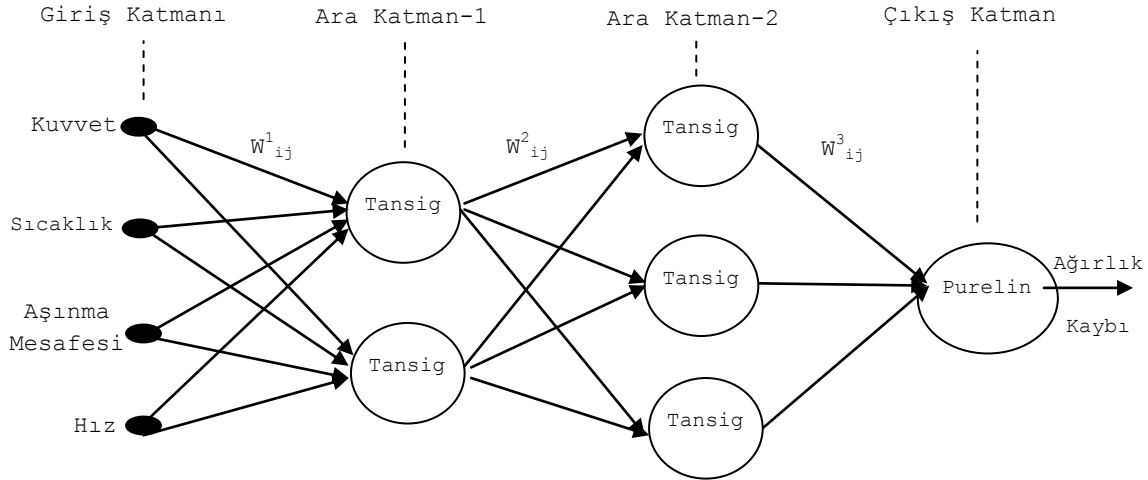
Tablo 3. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler ve ağırlık kaybı değerleri (Solmaz ve Kelestemur, 2004).

(Table 3. Experimental parameters and weight loss values used in the study (Solmaz and Kelestemur, 2004).)

Deney No.	Kuvvet (N)	Sıcaklık (°C)	Aşınma mesafesi (m)	Hız (m/s)	Deneysel Aşınma (mg)
1	50	25	450	0.75	0.90
2	50	100	450	0.75	12.10
3	50	300	450	0.75	2.00
4	50	450	450	0.75	0.62
5	75	25	450	0.75	1.90
6	75	100	450	0.75	8.10
7	75	300	450	0.75	1.50
8	75	450	450	0.75	0.60
9	100	25	450	0.75	2.60
10	100	100	450	0.75	3.80
11	100	300	450	0.75	1.10
12	100	450	450	0.75	0.57
13	125	25	450	0.75	3.20
14	125	100	450	0.75	3.50
15	125	300	450	0.75	0.90
16	125	450	450	0.75	0.55

### 3.2. Sistemin Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi (Modeling of the System by Artificial Neural Network)

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır. Yapay sinir ağları, bir başka deyişle, biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır. YSA bir programcının geleneksel yeteneklerini gerektirmeyen, kendi kendine öğrenme düzenekleridir. Bu ağlar öğrenmenin yanı sıra, ezberleme ve bilgiler arasında ilişkiler oluşturma yeteneğine de sahiptir (Elmas, 2007).



Şekil 2. Model için kullanılan çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağ yapısı

(Figure 2. The multi-layered feed-forward artificial neural network structure used for the model)

Bu çalışmada sistemin modellenmesinde kullanılacak çok katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı Şekil 2'deki gibi oluşturulmuştur. Giriş katmanı giriş olarak kuvvet, sıcaklık, deplasman ve hız parametrelerini içerirken, çıkış katmanı ağırlık kaybı parametresini çıkış olarak ileten tek sinir hücrelerini ihtiva etmektedir. Çıkış katmanındaki hücre için purelin aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Giriş ve çıkış katmanları arasında ara (gizli) katmanlar yer almaktadır. Birinci ara katmanda 2 adet, ikinci ara katmanda 3 adet sinir hücresi bulunmakla beraber her bir hücre için aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Her bir katmandaki hücre sayısı ve aktivasyon fonksiyon tipi, ağın en iyi çalışabileceği şekilde deneme yanılma tekniği ile seçilmişlerdir. Bir yapay sinirin öğrenme yeteneği, seçilen öğrenme algoritması içerisinde ağırlıkların ( $w_{kij}$ ) uygun bir şekilde ayarlanmasına bağlıdır. Ağırlıklar ( $w_{1ij}$ ,  $w_{2ij}$ ,  $w_{3ij}$ ), Şekil 2'deki ağ yapısında görüldüğü gibi, ok yönünde aldıkları bilgiyi sinirlere katsayı çarpanı olarak iletirler. Bu ağırlıklar, girişlerin sinirler üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılarıdır. Her bir giriş kendine ait bir ağırlığa sahiptir.

Bir YSA'nın eğitiminde uygun ağırlıkların elde edilmesi ile öğrenme işlemi tamamlanır. Model için oluşturulan ağ yapısına ait ağırlıkların ayarlanması işleminde ağ çıkışı ile istenen gerçek değerler karşılaştırılarak bir dizi hata değerleri elde edilir. Hataların azaltılmasına yönelik çeşitli tekniklerle ağırlık katsayıları yeniden güncellenir. Hataların kareleri toplamının sifıra yakınlığı ağın öğrenmeye yaklaştığını gösterir. Bu işlem yazılımsal olarak geliştirilen bir algoritma ile döngüsel olarak tekrarlanır. İşlemin tamamlanması için iki

yöntem kullanılır. Bunun için ya belli bir iterasyon sayısı verilerek kabul edilebilir bir öğrenme ile işlem tamamlanır veya hatanın sifıra yakınlığını belirten bir tolerans değeri aşınca kadar öğrenme devam eder.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada Tablo 3'te görülen deneysel veriler kullanılarak sistemin ağ modeli oluşturulmuştur. Bu verilerin %75'i modelin eğitiminde kullanılırken geriye kalan %25'i ise modelin test edilmesinde kullanmak için ayrılmıştır. İşlemler gerçekleştirilen algorithmada MATLAB paket programının Neural Network araç kutusundan yararlanılmıştır.

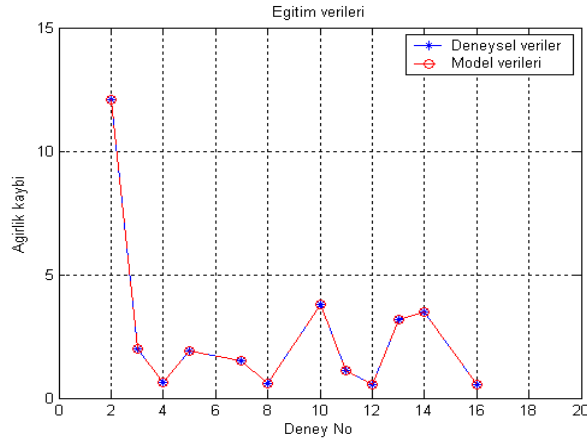
Deneysel olarak elde edilen aşınma miktarı ile modelin vermiş olduğu aşınma miktarı değerleri Tablo 4'de karşılaştırılmıştır. Model ile gerçek değerlerin birbirine olan yakınlıkları bize modelin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Deneysel çalışma ve modelden elde edilen ağırlık kaybı değerlerinin karşılaştırılması

(Table 4. The comparison of the values obtained from the experimental study and ANN model)

Deneysel No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Deneysel veriler	0,9	12,1	2	0,62	1,9	8,1	1,5	0,6	2,6	3,8	1,1	0,57	3,2	3,5	0,9	0,55
Model verileri	2,1	12,1	2	0,62	1,9	8,53	1,49	0,58	2,23	3,8	1,1	0,56	3,2	3,5	0,85	0,55

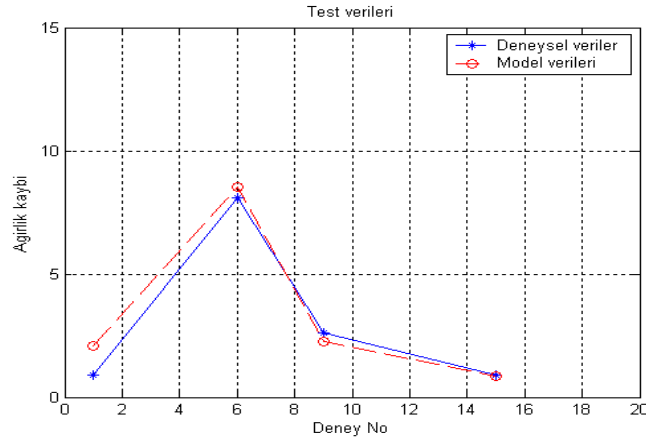
Eğitim için ayrılan verilerin kullanımıyla öğrenme işlemi tamamlanan YSA modelinin çıkışında elde edilen ağırlık kaybı değerleri ile deneysel çalışmada elde edilen değerlerin grafiksel olarak karşılaştırılması Şekil 3'de yer almakta ve her iki eğrinin üst üste örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 3. Eğitim için ayrılan gerçek ve model çıkış verilerinin karşılaştırılması

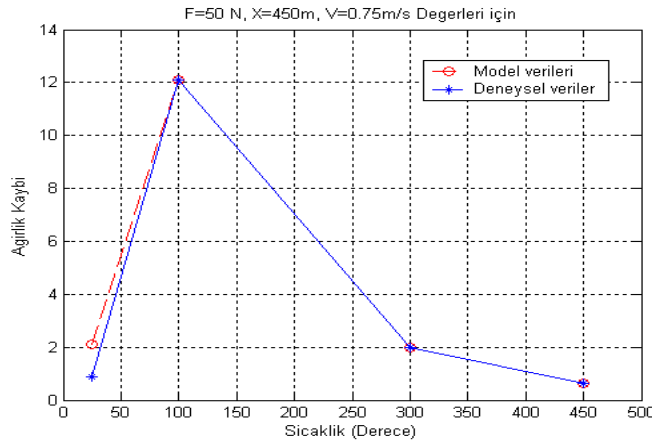
(Figure 3. Comparison of the actual and model output data selected for the education)

Öğrenme işlemi tamamlanan YSA modelinin doğruluğunu ortaya koymak için, deneysel verilerden bir kısmı ayrılarak, YSA'nın daha önce hiç karşılaşmadığı bu değerler ile test gerçekleştirilmiştir. Tamamen rastlantısal seçilen, deney numaraları 1, 6, 9 ve 15 olan giriş verilerinin bu test için uygulanması halinde elde edilen grafiksel sonuç karşılaştırmalı olarak Şekil 4'te görülmektedir. Buna göre oldukça başarılı bir modelin elde edildiği açıkça görülmektedir.



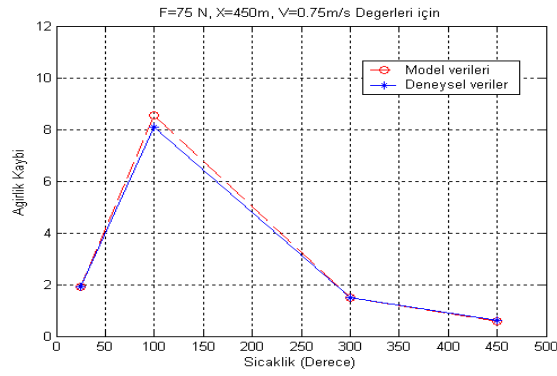
Şekil 4. Test için ayrılan gerçek ve model çıkış verilerinin karşılaştırılması  
(Figure 4. Comparison of the actual and model output datas selected for the test)

50, 75, 100 ve 125 N'luk yükler kullanılarak elde edilen deneysel veriler ile modelden elde edilen çıkışların karşılaştırıldığı grafikler sırasıyla Şekil 5-6-7-8'de gösterilmiştir. Çalışmanın hem deneysel hem de modelleme kısmında aşınma mesafesi (X) ve aşınma hızı (V) gibi yük dışında kalan bütün parametreler sabit alınmıştır.



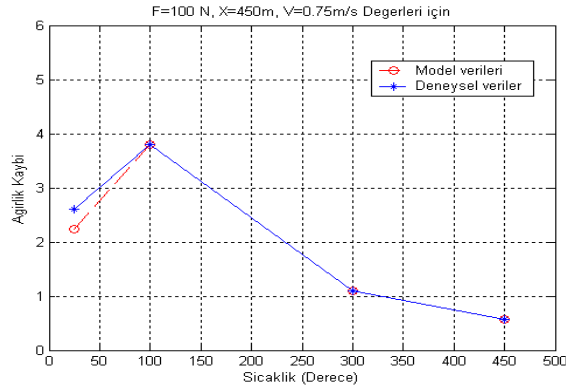
Şekil 5. F=50 N, X=450m, V=0,75m/s değerlerinde sıcaklık değişimine bağlı olarak deneysel ve model çıkışı ağırlık kayıplarının grafiksel karşılaştırılması

(Figure 5. The comparison of experimental and ANN model output of the weight losses graphically for different temperatures at the values of F=50 N, X=450m, V=0,75m/s)



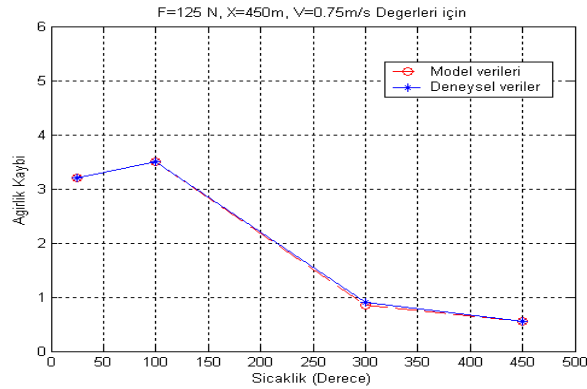
Şekil 6.  $F=75$  N,  $X=450$ m,  $V=0,75$ m/s Değerlerinde sıcaklık değişimine bağlı olarak deneysel ve model çıkışı ağırlık kayıplarının grafiksel karşılaştırılması

(Figure 5. The comparison of experimental and ANN model output of the weight losses graphically for different temperatures at the values of  $F=75$  N,  $X=450$ m,  $V=0,75$ m/s)



Şekil 7.  $F=100$  N,  $X=450$ m,  $V=0,75$ m/s Değerlerinde sıcaklık değişimine bağlı olarak deneysel ve model çıkışı ağırlık kayıplarının grafiksel karşılaştırılması

(Figure 5. The comparison of experimental and ANN model output of the weight losses graphically for different temperatures at the values of  $F=100$  N,  $X=450$ m,  $V=0,75$ m/s)



Şekil 8.  $F=125$  N,  $X=450$ m,  $V=0,75$ m/s Değerlerinde sıcaklık değişimine bağlı olarak deneysel ve model çıkışı ağırlık kayıplarının grafiksel karşılaştırılması

(Figure 5. The comparison of experimental and ANN model output of the weight losses graphically for different temperatures at the values of F=125 N, X=450m, V=0,75m/s)

Elde edilen YSA modelin gerçek değerlere olan yakınlık oranını belirlemek için korelasyon katsayısından yararlanılmaktadır. İki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin derecesi "r" ile gösterilen korelasyon katsayısı ile ölçülür. Korelasyon katsayısı iki değişkenin değişimlerinin ne kadar uygun olduğunun bir ölçüsüdür ve değeri -1 ile +1 arasında değişir. r=0 olduğunda değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olmadığı söylenir. r=+1 ise pozitif tam doğrusal ilişki, r=-1 ise negatif tam doğrusal ilişki var demektir. Korelasyon katsayısı geliştirilen değişik formüller yardımıyla hesaplanmaktadır. Aşağıda (1) bağıntısıyla verilen formül bunlardan biridir (Ural, 2005).

$$r = \frac{n * (\sum x * y) - (\sum x) * (\sum y)}{\sqrt{n * (\sum x^2) - (\sum x)^2} * \sqrt{n * (\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (1)$$

Öğrenme sonunda eğitim için kullanılan verilere uygulandığında r=0.9945 elde edilirken, sadece test verilerine uygulandığında r=0.9804 olarak elde edilmiştir. Elde edilen r değerinin 1'e çok yakın olması nedeniyle, sonuca bakılarak, modelimizin çok yüksek doğrulukta çalıştığını söylenebilir.

##### 5. SONUÇLAR (5CONCLUSION)

Bu çalışmada Ni<sub>3</sub>Al+B metaller arası bileşiğinin farklı yüklem şartları altında yüksek sıcaklık aşınması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak sistemin YSA modeli oluşturulmuş ve sonuçlar maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir.

YSA modelinin eğitiminde deneysel sonuçlardan yararlanılmıştır. Deneysel sonuçların %75'i modelin eğitimine ayrılırken %25'i modelin test edilmesine kullanılmak üzere ayrılmıştır. Test sonuçları modelin kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

YSA modelin gerçek değerlere olan yakınlık oranını belirlemek için korelasyon katsayısı tespit edilmiş bu değer eğitim için 0.9945 test için ise 0.9804 olarak bulunmuştur. Korelasyon katsayılarının 1'e çok yakın çıkması kullanılan modelimizin çok yüksek doğrulukta çalıştığını göstermiştir.

YSA modeli, arzu edilen zamanda, farklı çevre şartlarında farklı yükler altında metaller arası bileşiklerin aşınma davranışının tahmin etmek için kullanılabilir.

##### NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 14-16 Ekim 2010 tarihinde Dicle Üniversitesinde tamamlanan Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumunda (BUMAT2010) sözlü sunumu yapılmış ve NWSA yazım esaslarına göre yeniden düzenlenmiştir.

##### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Atik, E., (1987). Poliüretan Esaslı Elemanların Belirlenmiş Şartlar İçin İmal Edilen Bir Düzenekte Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Çetinel, H., Öztürk, H., Çelik, E., and Karlık B., (2006). Artificial Neural Network-Based Prediction Technique for Wear Loss Quantities in Mo Coatings. Wear 261, 1064-1068.
3. Elmas, Ç., (2007). Yapay Zeka Uygulamaları. Seçkin yayıncılık Ankara, Kasım 2007.



4. Jiang, Z., Zhang, Z., and Friedrich, K., (2007). Prediction on Wear Properties of Polymer Composites With Artificial Neural Networks. *Composites Science and Technology* 67, 168-176.
5. Rashed, F.S. and Mahmoudb, T.S., (2009). Prediction of Wear Behaviour of A356/Sicp Mmcs Using Neural Networks. *Tribology International* 42, 642-648.
6. Sanjay, C., Neema, M.L., and Chin, C.W., (2005). Modeling of Tool Wear in Drilling by Statistical Analysis and Artificial Neural Network. *Journal of Materials Processing Technology* 170, 494-500.
7. Solmaz, Y. and Kelestemur, M.H., (2004). Wear Behavior of Boron-Doped Ni3Al Material at Elavated Temparature. *Wear* 257, 1015-1021.
8. Ural, A., (2005). Korelasyon analizi, bilimsel araştırma süreci ve SPSS ile veri analizi. SPSS 12.0 for Windows.  
[http://fikretgultekin.com/yukseklisans/Korelasyon %20Analizi.pdf](http://fikretgultekin.com/yukseklisans/Korelasyon%20Analizi.pdf)