

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**CNC TORNA TEZGÂHLARDA 5 EKSENDE TİTREŞİM  
ÖLÇÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA  
MODELENMESİ**

**Hazırlayan  
Muhammed İŞÇİ**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Temmuz 2020  
KAYSERİ**



**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**CNC TORNA TEZGÂHLARDA 5 EKSENDE TİTREŞİM  
ÖLÇÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA  
MODELLENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Muhammed İŞÇİ**

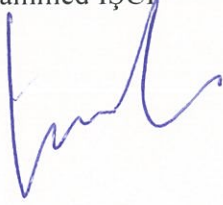
**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA**

**Temmuz 2020  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Muhammed İŞÇİ



“CNC Torna Tezgâhlarda 5 Eksende Titreşim Ölçümü Ve Yapay Sinir Ağlarıyla Modellenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

**Hazırlayan**

Muhammed İŞÇİ

**Danışman**

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

**Mekatronik Mühendisliği ABD Başkanı**

Prof. Dr. Şahin YILDIRIM

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA** danışmanlığında **Muhammed İŞÇİ** tarafından hazırlanan “**CNC Torna Tezgâhlarda 5 Eksende Titreşim Ölçümü Ve Yapay Sinir Ağlarıyla Modellenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Mekatronik Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

..... / ..... / .....

**JÜRİ:**

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA .....

Üye : Prof. Dr. Şahin YILDIRIM .....

Üye : Doç. Dr. Serhan YAMAÇLI .....

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun ..... tarih ve .....sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / ..... / .....

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince ilgi, alaka ve samimiyetiyle her tűrlű desteęi ve fedakârlıęı saęlayan, bilim insanı kiőilięinden ve insaniyetinden çok Őey űęrendięim deęerli danıőman hocam Dr. Őęr. Őyesi Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA'ya teőekkűrű bir borç bilirim.

Tezin yűnlendirilmesinde katkılarını esirgemeyen deęerli hocam Dr. Őęr. Őyesi Emir ESİM'e de ayrıca teőekkűr ederim.

Beni bu gűnlere getiren ve her daim yanımda olduklarını hissettięim sevgili anneme ve babama teőekkűrlerimi ve saygılarımı sunarım. Aynı zamanda hayatımın en bűyűk anlamları ve bu sűrete mental açıdan en bűyűk destekçilerim olan canım kardeőlerim Elif ve Metin'e en içten teőekkűrlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Muhammed İŐCİ

Temmuz 2020, KAYSERİ

# CNC TORNA TEZGÂHLARDA 5 EKSENDE TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ

**Muhammed İŞÇİ**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2020  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA**

## ÖZET

Talaşlı imalatta tornalama işlem koşullarından dolayı ortaya çıkan titreşimler, üzerinde çalışılan malzemenin yüzey kalitesinin bozulması, takım ve tezgâh ömrünün azalması, düşük hassasiyetli tasarımlar ve üretim kayıpları gibi sonuçlara yol açmaktadır. Bu nedenle, sistem üzerindeki titreşim bileşenleri yok edilerek veya zayıflatılarak en uygun çalışma koşulları belirlenmelidir.

Bu tez çalışmasında, Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (CNC) Torna tezgâhları üzerindeki titreşim etkilerini analiz etmek için yapay sinir ağları kullanılmıştır. İlk olarak deneysel çalışmalar yapılarak titreşim verileri elde edilmiş ve bu verilere göre titreşimi etkileyen parametreler yorumlanmıştır. Daha sonra, titreşim verilerinin yüksek doğrulukta tahmin edilebilmesi amacıyla yapay sinir ağları kullanılarak modellemeler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın deneysel bölümünde titreşimi etkileyen farklı malzeme tipleri, iş mili hızları, ilerleme hızları, talaş derinlikleri ve farklı kesici uç tipleri için analizler gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmalarında ise CNC Torna tezgâhı üzerinden ölçülen titreşim verileri iki farklı yapay sinir ağı yapısı ile analiz edilmiştir. Bu deneysel ve benzetim tabanlı yaklaşımların sonucunda Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RBANN) yapılarının CNC Torna tezgâhlarında meydana gelen titreşimleri tahmin etmede gerçek zamanlı parametrelerde dahi iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (CNC) Torna Tezgâhı, Yapay Sinir Ağı, Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RBANN), İleri Kademeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı (CFBANN), Titreşim Analizi



# 5 AXIS VIBRATION MEASUREMENT ON CNC LATHES AND MODELLING BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Muhammed İŞÇİ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July 2020

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

## ABSTRACT

Vibrations occurring due to the turning processing conditions in machining lead to results such as deterioration of the surface quality of the material analyzed, reduced life of the tool and machine, designs with low precision and loss of production. Therefore, the most suitable working conditions should be determined by eliminating or weakening the vibration components on the system.

In this thesis, artificial neural networks have been used in order to analyze the vibration effects on Computer Numerical Control (CNC) lathes. Firstly, vibration data have been obtained by experimental studies and parameters affecting the vibration have been interpreted according to these data. Then, modelings have been carried out by using artificial neural networks in order to estimate vibration data with high accuracy.

In the experimental part of the thesis, analyzes have been carried out for the different material types, spindle speeds, feed rates, depth of cuts and different insert types which are affecting the vibration. In simulation studies, the vibration data measured on the CNC lathe have been analyzed with two different artificial neural network structures. As a result of these experimental and simulation based approaches, it has been seen that the Radial Basis Artificial Neural Network (RBNN) structures have a good performance even in real-time parameters in estimating the vibrations occurring on CNC lathes.

**Keywords:** Computer Numerical Control (CNC) Lathe, Artificial Neural Network, Radial Basis Artificial Neural Network (RBANN), Cascade Forward Backpropagation Artificial Neural Network (CFBANN), Vibration Analyses

## İÇİNDEKİLER

### CNC TORNA TEZGÂHLARDA 5 EKSENDE TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA MODELLENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK .....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
KISALTMALAR .....	x
TABLOLAR LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xii
GİRİŞ .....	xiii

## 1. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Bilgisayarlı Sayısal Kontrol Torna Tezgahları .....	3
1.2. CNC Torna Tezgahlarında Titreşim.....	4
1.3. Yapay Sinir Ağları ve Tahmin .....	5

## 2. BÖLÜM

### BENZETİM ÇALIŞMALAR VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deneysel Çalışmalar.....	8
2.1.1. Kullanılan Ekipman ve Malzemeler.....	9
2.2. Yapay Sinir Ağı.....	13
2.2.1. Yapay Sinir Ağı'nın Genel Yapısı.....	14
2.2.2. Yapay Sinir Ağ Eğitimi.....	15

<b>2.2.3. Radyal Taban Fonksiyonlu Yapay Sinir Ağları.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.4. Geri Yayılım Algoritmali Yapay Sinir Ağları.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.5. Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Parametreler.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.5.1. Transfer Fonksiyonu.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.5.2. Giriş Parametreleri.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.5.3. Ağ Parametreleri.....</b>	<b>22</b>

### **3. BÖLÜM**

#### **BULGULAR ve TARTIŞMA**

<b>3.1 Grafikselsel Sonuçlar .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Sayısal Sonuçlar .....</b>	<b>73</b>

### **4. BÖLÜM**

<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>78</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>82</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>85</b>

## KISALTMALAR

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (Computer Numerical Control)
ANN	Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network)
NC	Sayısal Kontrol (Numerical Control)
BPNN	Geri Yayılımlı Sinir Ağı (Backpropagation Neural Network)
RBFN	Radyal Temel Fonksiyon Ağı (Radial Base Function Network)
CNN	Convolutional Neural Network
IDA	Akıllı Veri Toplama (Intelligent Data Acquisition)
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilâtı
BR	Bayesian Regularization
CFBANN	İleri Kademeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı
RBANN	Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı
RMSE	Root Mean Square Error
A	Alüminyum malzeme
C	Çelik malzeme
P	Plastik malzeme

## TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Deneysel sistemde kullanılan CNC Torna tezgâhının teknik özellikleri.....	10
Tablo 2.2. Geleneksel Algoritmalar ile Yapay Sinir Ağları arasındaki farklar. ....	13
Tablo 2.3. Yapay Sinir Ağlarında kullanılan deneysel giriş parametreleri.....	21
Tablo 2.4. YSA'nın öğrenme sürecinde kullanılan parametreler .....	22
Tablo 3.1. Alüminyum malzeme için elde edilen RMSE değerleri .....	75
Tablo 3.2. Çelik malzeme için elde edilen RMSE değerleri.....	76
Tablo 3.3. Plastik malzeme için elde edilen RMSE değerleri.....	77



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. CNC Torna Tezgâhı .....	3
Şekil 2.1. Deney ortamı ve CNC Torna tezgâhı .....	9
Şekil 2.2. Deneysel sistemde kullanılan sensörler ve tezgâh içerisindeki konumları .....	10
Şekil 2.3. Deneysel sistemde kullanılan malzemeler .....	11
Şekil 2.4. Deneysel sistemde kullanılan sarı renkteki elmas uç .....	12
Şekil 2.5. Deneysel sistemde kullanılan siyah renkteki elmas uç .....	12
Şekil 2.6. Yapay Sinir Ağı Yapısı .....	14
Şekil 2.7. Benzetim çalışmalarında kullanılan RBANN yapısı .....	17
Şekil 2.8. Benzetim çalışmalarında kullanılan BP-CFBANN yapısı .....	19
Şekil 2.9. Tez çalışması sürecinin blok diyagramı .....	23
Şekil 3.1. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	25
Şekil 3.2. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	25
Şekil 3.3. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	26
Şekil 3.4. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar CFBANN sonuçları .....	26
Şekil 3.5. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	27
Şekil 3.6. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	27

Şekil 3.7. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	28
Şekil 3.8. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	28
Şekil 3.9. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	29
Şekil 3.10. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	29
Şekil 3.11. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	30
Şekil 3.12. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	30
Şekil 3.13. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	31
Şekil 3.14. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	31
Şekil 3.15. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	32
Şekil 3.16. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçlar .....	32
Şekil 3.17. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	33

Şekil 3.18. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	33
Şekil 3.19. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	34
Şekil 3.20. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	34
Şekil 3.21. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	35
Şekil 3.22. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	35
Şekil 3.23. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	36
Şekil 3.24. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	36
Şekil 3.25. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	37
Şekil 3.26. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	37
Şekil 3.27. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	38
Şekil 3.28. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	38



Şekil 3.29. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	39
Şekil 3.30. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	39
Şekil 3.31. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	40
Şekil 3.32. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	40
Şekil 3.33. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	41
Şekil 3.34. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	41
Şekil 3.35. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	42
Şekil 3.36. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	42
Şekil 3.37. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	43
Şekil 3.38. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	43
Şekil 3.39. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği:2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	44

Şekil 3.40. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları.....	44
Şekil 3.41. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları.....	45
Şekil 3.42. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	45
Şekil 3.43. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları.....	46
Şekil 3.44. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	46
Şekil 3.45. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları.....	47
Şekil 3.46. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	47
Şekil 3.47. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları.....	48
Şekil 3.48. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	48
Şekil 3.49. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları.....	49
Şekil 3.50. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	49

Şekil 3.51. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	50
Şekil 3.52. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	50
Şekil 3.53. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	51
Şekil 3.54. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	51
Şekil 3.55. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	52
Şekil 3.56. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	52
Şekil 3.57. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	53
Şekil 3.58. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	53
Şekil 3.59. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	54
Şekil 3.60. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	54
Şekil 3.61. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	55

Şekil 3.62. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	55
Şekil 3.63. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	56
Şekil 3.64. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	56
Şekil 3.65. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	57
Şekil 3.66. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	57
Şekil 3.67. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	58
Şekil 3.68. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	58
Şekil 3.69. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	59
Şekil 3.70. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	59
Şekil 3.71. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	60
Şekil 3.72. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	60

Şekil 3.73. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	61
Şekil 3.74. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	61
Şekil 3.75. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	62
Şekil 3.76. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	62
Şekil 3.77. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	63
Şekil 3.78. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	63
Şekil 3.79. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	64
Şekil 3.80. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	64
Şekil 3.81. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	65
Şekil 3.82. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....	65
Şekil 3.83. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....	66

Şekil 3.84. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	66
Şekil 3.85. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları.....	67
Şekil 3.86. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	67
Şekil 3.87. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları.....	68
Şekil 3.88. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	68
Şekil 3.89. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları.....	69
Şekil 3.90. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	69
Şekil 3.91. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları.....	70
Şekil 3.92. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	70
Şekil 3.93. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları.....	71
Şekil 3.94. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları.....	71

Şekil 3.95. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları .....72

Şekil 3.96. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları .....72



## GİRİŞ

Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network, ANN), insan beyninin öğrenme sürecini modelleyen ve farklı disiplinlerdeki birçok farklı problemin optimizasyonuna yönelik kullanılan yaklaşımlardır. Yeni bilgiler türetebilme, oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri sayesinde özellikle doğrusal olmayan sistemlerin süreç tahminlerinde oldukça başarılı bir şekilde kullanabilmektedirler.

Talaşlı imalat süreçlerinde, işlem esnasında tezgâhların üzerinde meydana gelen titreşimler ölçüm hatalarına yol açmakta ve ilerleyen zamanlarda tezgâh ömrünü kısaltabilmektedir. Bu nedenle, talaşlı imalat süreçlerinde yüksek doğrulukta titreşim analizi son derece önem arz etmektedir.

Talaşlı imalat yöntemlerinin en önemlilerinden birisi olan tornalama işlemi için günümüzde çoğunlukla Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (Computer Numerical Control, CNC) tezgâhlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak CNC Torna tezgâhlarında işlem sırasında meydana gelen titreşimler bir ivme sensörü yardımıyla tezgâhın üç farklı bölgesinde (ayna, yatak ve punta) deneysel olarak ölçülmüştür. Titreşime neden olan malzeme cinsi, kesici uç cinsi, İlerleme miktarı, ayna dönme devri ve talaş derinliği parametreleri üzerinden detaylı bir titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, elde edilen deneysel sonuçlar yapay sinir ağlarıyla modellenerek titreşim tahminleri gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında hem parametre analizi hem de ANN yardımıyla beş eksenle titreşim tahminleri yapılmıştır.

Tez çalışmasının ilk bölümünde, CNC Torna tezgâhlar hakkında genel bilgiler verilerek, bu tezgâhlar Sayısal Kontrol (Numerical Control, NC) Torna tezgâhları ile mukayese edilmiştir. Daha sonra, hem CNC Torna tezgâhlarında titreşim analizine yönelik hem de yapay sinir ağları ve tahmin yetenekleriyle ilgili detaylı bir literatür taraması ve özeti sunulmuştur.



İkinci bölümde deneysel çalışmalar ve benzetim çalışmaları üzerinde durulmuştur. Deneysel çalışmalarda kullanılan ekipman ve malzemeler hakkında teknik bilgiler verildikten sonra elde edilen bölgesel titreşim sonuçlarının işlenmesine yönelik süreç anlatılmıştır. Daha sonra, yapay sinir ağlarının genel yapısı, eğitim süreçleri ve bu tez çalışmasında kullanılan iki farklı yapay sinir ağı öğrenme algoritması detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Son olarak, deneysel sistemin parametreleri bir çizelgeyle sunulmuş ve tez çalışmasında takip edilen süreç bir blok diyagram ile gösterilmiştir.

Üçüncü bölümde ise deneysel çalışmalar sonucunda ve benzetimler sonucunda elde edilen grafiksel ve sayısal sonuçlar verilerek bu sonuçlar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Yapay sinir ağı öğrenme algoritmalarından olan ileri kademeli geri yayımlı yapay sinir ağı (Cascade-Forward Backprop Artificial Neural Network-CFBANN) ve radyal tabanlı yapay sinir ağı (Radial Basis Artificial Neural Networks-RBANN) öğrenme algoritmalarının performansları mukayese edilmiştir. Aynı zamanda alüminyum, çelik ve plastik malzemeler için deneysel parametrelerin titreşim etkileri detaylı bir şekilde yorumlanmıştır. Sayısal verilerde ise benzetim sonuçlarına alternatif bir yorumlama getirmek amacıyla RMSE değerleri tüm sonuçlar için hesaplanmıştır.

Son olarak, dördüncü bölümde sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

# 1. BÖLÜM

## GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 1.1. Bilgisayarlı Sayısal Kontrol Torna Tezgâhları

Bilgisayarlı sayısal kontrol (Computer numerical control, CNC), takım tezgâhlarının sayısal komutlarla bilgisayar yardımıyla kontrol edilmesidir. CNC torna tezgâhları, geleneksel torna tezgâhlardan farklı olarak bir bilgisayarlı kontrol ünitesine sahiptirler.



Şekil 1.1. CNC Torna Tezgâhi

Şekil 1.1’de genel görünümü verilmiş olan CNC Torna tezgâhlar ayrıca hafızasında yüklü olan Sayısal Kontrol (Numerical control, NC) programlarına göre eksenlerini hareket ettiren bilyeli vidalar ve servo motorlar sayesinde iş parçalarını belirlenen ölçü, İlerleme miktarı ve devir kapsamında kısa zamanda seri bir şekilde gerçekleştirebilen tezgâhlardır. Aynı zamanda CNC Torna tezgâhlarda, Kesiciler ile ilgili teknik ve ofset bilgileri bilgisayarlı kontrol ünitesi sayesinde kalıcı olarak tezgâh hafızasında saklanabilmektedir. CNC Torna tezgâhları aynı zamanda imalatın herhangi bir aşamasında hafızasında yüklü olan programın güncellenebildiği veya değiştirilebildiği esnek donanımsal yapılardır.

CNC Torna tezgâhlarında eksenel hareketler esnasında yüksek hız ve ani yavaşlamalar ortaya çıkmaktadır. Bu durum özellikle hassas konumlandırılmalı işlemler yapılırken istenmeyen bazı hataların ortaya çıkmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, CNC Torna tezgâhlarda Kayıt ve Kızak bölgelerinin yüksek sertlik ve titreşimleri sönmüleme özelliklerine sahip olması istenmektedir [1]. Kayıt ve Kızak bölgelerinin yanı sıra Punta ve Ayna bölgelerinde de işleme şartlarına, kesici uca ve malzeme cinsine göre titreşim verileri elde edilmektedir. Bu tez çalışmasında, titreşimi etkileyen: malzeme cinsi, ayna dönme devri, İlerleme miktarı, talaş derinliği ve kesici uç cinsinin etkilerinin incelendiği deneysel sonuçlar bir ivme sensörü ile elde edilmiştir. Daha sonra Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak elde edilen bu deneysel sonuçlar eğitilmiştir. Bu eğitim sonucunda elde edilen en iyi ağ yapısı tespit edilmiştir.

## 1.2. CNC Torna Tezgâhlarında Titreşim

Titreşim, bir makinanın mekanik aksamalarının iç ve dış kuvvetlere karşı gösterdiği tepki olarak tanımlanabilir [2]. Makina üzerinde farklı noktalardan sensörler ile alınan titreşim sinyalleri, karmaşık dalga formları şeklinde ortaya çıkarlar. Literatürde bu dalga formlarını elde ederek titreşim analizi yapabilmeye yönelik üç farklı yöntem önerilmiştir. Bunlar; yer değiştirme ile titreşim analizi, hız ölçümü ile titreşim analizi ve ivme ölçümü ile titreşim analizi yöntemleridir. Hız ölçümü ile titreşim analizi literatürde en yaygın kullanılan yöntem olup yer değiştirme ile titreşim analizine göre daha güvenilir sonuçlar üretebilmektedir. Ancak, yüksek frekanslar ile çalışırken ivme ölçümü ile titreşim analizinin hız ölçümü ile titreşim analizine göre daha iyi sonuçlar ürettiği bilinmektedir. Bu tez çalışması kapsamında ivme ölçümüne dayalı titreşim analizleri gerçekleştirilmiştir.

Kesme parametreleri, kesici takım, malzeme cinsi, malzeme geometrisi gibi etkenlerin, titreşim ile yakından ilgili olması en uygun kesme şartlarının belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı, üretimde kayıplara neden olan ve kullanılan tezgâhların performansını doğrudan etkileyen titreşimler hakkında literatürde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Siddhpura tarafından yapılan [3] numaralı çalışmada, tornalama işlemi esnasında meydana gelen titreşimlerin tespiti, kontrolü ve kararlılık tahminleri analiz edilmiştir. Diğer bir çalışmada ise Catania ve Mancinelli, freze tezgâhlarında meydana gelen titreşimler için teorik ve deneysel bir model oluşturulup, tırlama titreşim düzeyinin önceden tahminine yönelik analizler yapmışlardır [4]. Titreşimden kaynaklı ortaya çıkan kuvvet verilerinin önceden tahmin edilebilmesi, olası deformasyonların önüne geçebilmek açısından son derece önemlidir. Buna yönelik yapılmış olan [5] numaralı çalışmada Bharilya ve diğerleri dinamometre vasıtasıyla torna tezgâhında meydana gelen kesme kuvvetlerini analiz ederek tornalama parametrelerinin optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Tırlama, talaş kaldırma işlemi ile takım tezgâhı yapısının etkileşiminden kaynaklanır ve tezgâh bünyesinde aşırı bir titreşime yol açar. Bu olay aynı zamanda malzeme ve makinada deformasyonlara sebep olmaktadır. Tam bir işleme döngüsünde iş parçası dinamiklerini tahmin etmek amacıyla, tırlama dengesi analizlerinde ihtiyaç duyulan frekans yanıt fonksiyonlarını (FRF) elde etmeye yönelik analitik bir prosedür Alan ve diğerleri [6] tarafından geliştirilmiştir. Diğer bir çalışmada [7] ise Ugochukwu C. ve arkadaşları tarafından CNC Torna Tezgâhında çelik malzeme üzerindeki tırlama titreşim analizi İlerleme miktarı gibi çeşitli parametreler dâhilinde gerçekleştirilmiştir. İşleme sırasında kesici aletlerde de titreşimler meydana gelmektedir. Bu titreşimler, kesici takımın ömrünü, iş parçasının ölçüm doğruluğunu ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Bu etkileri en aza indirmek için işlem sırasında ortaya çıkan titreşimler ölçülmelidir. Bu titreşimlerin kesici alet ve malzeme üzerindeki etkileri Ulas ve diğerleri tarafından detaylı bir şekilde incelenmiştir [8].

### **1.3. Yapay Sinir Ağları ve Tahmin**

Yapay sinir ağları, insan beyninin öğrenme özelliğini modelleyerek yeni bilgiler türetme, oluşturma ve keşfetme gibi yetenekleri gerçekleştirebilen yazılımlardır [9]. Titreşimi etkileyen parametreler dâhilinde elde edilecek deney sonuçlarının birleştirilmesiyle oluşturulacak ağ yapısı sayesinde, çıktısı önceden bilinmeyen ve riskli olabileceği

düşünülen işleme parametrelerinin CNC Torna tezgâh üzerinde oluşturacağı etkilerin hiçbir fiziksel çalışma yapılmadan yalnızca YSA kullanılarak tahmin edilebilmesi mümkündür. Literatürde yapay sinir ağlarının farklı nicelikleri tahmin etmek için kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Hossain ve diğerleri tarafından, titreşim kaynaklı farklı problemlerin çözümüne yönelik literatürde yapılmış olan YSA tabanlı çalışmaların analiz edildiği [10] numaralı çalışmada farklı YSA algoritmalarının performansları incelenmiştir. Eski tarafından yapılmış olan [11] numaralı çalışmada ise matkap tezgâhı üzerinde meydana gelen titreşimlerin tahmin edilmesine yönelik YSA tabanlı analizler yapılmıştır. Bir diğer çalışmada [12] ise Esim ve Yıldırım tarafından yine yapay sinir ağları ile sütun matkap tezgâhlarında delme performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Hafif çelik ve bakır iş parçalarında delik açmak için yüksek hızlı çelik matkap uçlarının yıpranmasını öngörmede geri yayılma sinir ağının (Backpropagation Neural Network - BPNN) ve radyal temel fonksiyon ağının (Radial Base Function Network - RBFN) performansları Garg ve diğerleri [13] tarafından mukayese edilmiştir. Rao ve Murthy, [14] numaralı çalışmalarında, çelik malzemenin delinmesi sırasında meydana gelen yüzey pürüzlülüğü ve titreşimin kök kare ortalaması tahmini için yapay sinir ağları kullanmışlardır. [15] numaralı çalışmada ise yazarlar CNC Torna tezgâhı üzerinde optimum kesim bölgesi tahminine yönelik YSA tabanlı sonuçlar elde etmişlerdir. Literatürde, yapay sinir ağlarının titreşim analizine yönelik kullanılmasının yanı sıra farklı mühendislik problemlerine uygulandığı çalışmalarda mevcuttur. Örneğin, [16] numaralı çalışmada farklı bir yaklaşımla, yatak arızası ile ilgili arıza karakteristiklerini araştırmak için, sağlıklı ve yavaş yavaş yaşlanan motor vakalarından elde edilen titreşim sinyaline AR modelleme tekniği uygulanmıştır. Nandi ve diğerleri tarafından elektrik motorlarının durum takibi ve arıza teşhisi üzerine, insan katılımını önemli oranda azaltacak yönde bir çalışma yapılmıştır [17]. Materka ve Strzelecki tarafından gerçekleştirilen çalışmada [18] ise ileri beslemeli yapay sinir ağlarının karışık sinyal devrelerinin hızlı ve doğruluk oranı yüksek parametrik testi için kullanılabilmesi gösterilmiştir. Li ve diğerleri tarafından yapılmış olan [19] numaralı çalışmada, motor rulman arıza teşhisi için yatak titreşim analizleri yapılarak yapay sinir ağları vasıtasıyla arıza teşhisi gerçekleştirilmiştir. [20] numaralı çalışmada, karar mekanizması Radyal Tabanlı yapay sinir ağı olan Stator sargı durum analizleri eksenel akı kullanılarak yapılmıştır. Rao ve diğerleri tarafından gerçekleştirilmiş olan [21] yüzey frezeleme operasyonunda kriyojenik işleme tabi tutulmuş AISI 316 malzeme üzerinde meydana

gelen yüzey pürüzlülüğü deneyleri, YSA tabanlı lineer olmayan sistem modellemeye bir örnek teşkil etmektedir. Son olarak, [22] numaralı çalışmada döner makinalarda rulman hatalarının sınıflandırılmasına yönelik Convolutional Neural Network (CNN) yapısı kullanılarak yeni bir yöntem önerilerek bu yöntemin doğruluk ve güvenilirlik açısından oldukça iyi bir performans gösterdiği kanıtlanmıştır. Yapılan detaylı literatür araştırmasında yapay sinir ağlarının CNC Torna Tezgahlarda titreşim analizinde kullanılmasına yönelik detaylı bir çalışma olmadığı görülmüştür.

Bu tez çalışmasında, CNC Torna tezgâhlarının titreşim karakteristikleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Tezgâh titreşimlerini etkileyen malzeme tipi, ayna dönme devri, İlerleme miktarı, kesici uç ve talaş derinliği değerleri dikkate alınarak CNC Torna tezgâhı üzerinde deneysel olarak titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, elde edilen titreşim karakteristiklerini modellemek ve tahmin etmek için yapay sinir ağı yapıları önerilmiştir.

## 2. BÖLÜM

### Benzetim Çalışmaları ve Deneysel Çalışmalar

Bu tez çalışmasında günümüz sanayi teknolojisinin vazgeçilmez bir parçası olan Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (Computer Numerical Control, CNC) Torna tezgâhları üzerinde, parça işleme süresince oluşacak titreşimlerin bölgesel analizi yapılarak elde edilen verilerin yapay sinir ağlarıyla modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan ekipmanlar ve bunların kurulumları ile benzetim çalışmalarında kullanılan yapay sinir ağları ve algoritmaları detaylı bir şekilde incelenecektir.

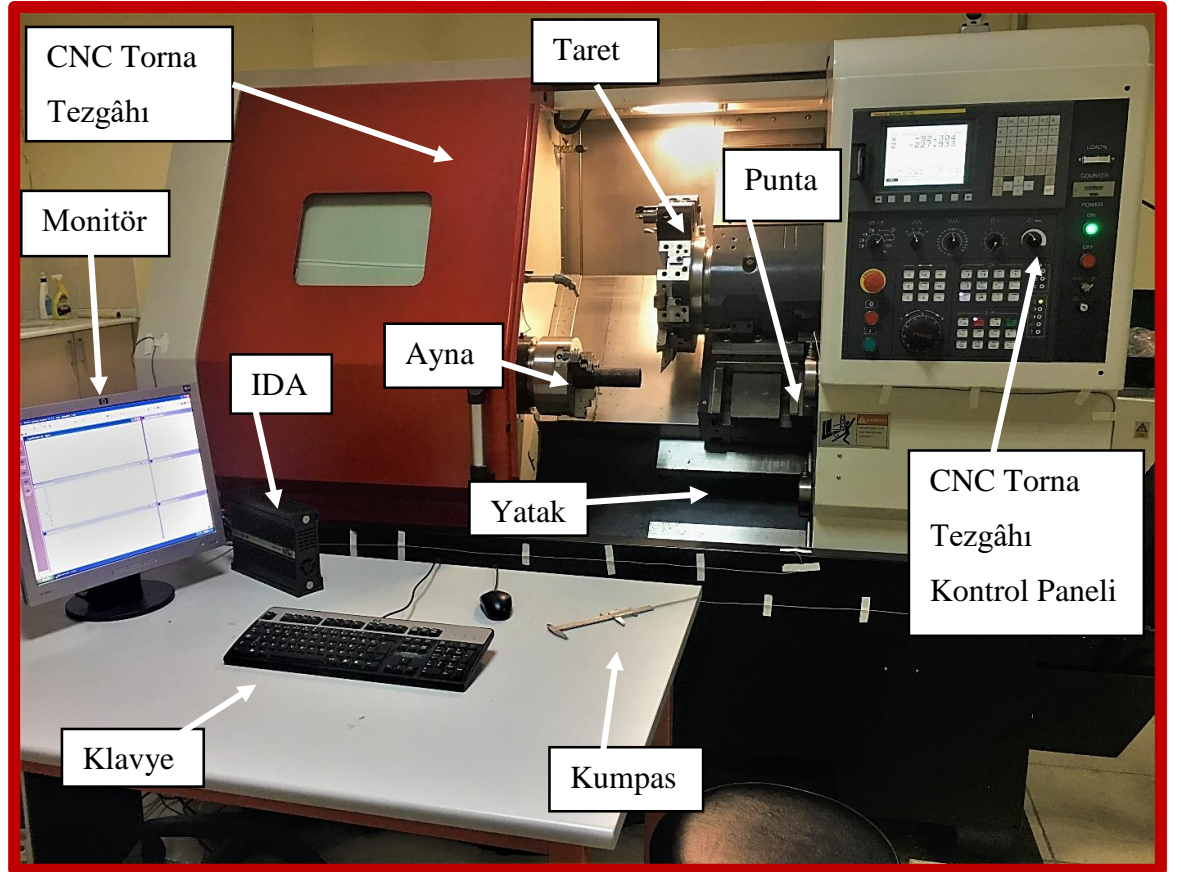
#### 2.1. Deneysel çalışmalar

CNC Torna tezgâhlarda aksenel hareketler esnasında yüksek hız ve ani yavaşlamalar ortaya çıkmaktadır. Bu durum hassas konumlandırılmalı işlemlerin yapıldığı süre boyunca sistem üzerinde olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır. CNC Torna tezgâhlarda kayıt ve kızak bölgelerinin yüksek sertlik ve titreşimleri sönmüleme özelliklerine sahip olması istenir [1]. Kayıt ve kızak bölgelerinin yanı sıra punta ve ayna bölgelerinde de işleme şartlarına, kesici uca ve malzeme cinsine göre titreşim verileri elde edilmektedir. Titreşim, bir makinanın mekanik aksamlarının iç ve dış kuvvetlere karşı gösterdiği tepki olarak tanımlanır [2]. Makina üzerinde farklı noktalardan sensörler ile alınan titreşim sinyalleri, karmaşık dalga formları şeklinde ortaya çıkmaktadırlar. Literatürde bu dalga formlarını elde ederek titreşim analizi yapabilmek için kullanılan üç farklı yöntem vardır. Bunlar; yer değiştirme, hız ölçümü ve ivme ölçümü ile titreşim analizi yöntemleridir. Hız ölçümü ile titreşim analizi literatürde en yaygın kullanılan yöntemdir ve yer değiştirme ile titreşim analizine göre daha güvenilir sonuçlar üretebilmektedir. Ancak, yüksek frekanslar ile çalışırken ivme ölçümü ile titreşim analizinin hız ölçümü ile titreşim analizine göre daha iyi sonuçlar ürettiği bilinmektedir. Bu tez çalışmasında ivme

ölçümüne dayalı bir titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilmiş olan titreşim analizlerinde, titreşimi doğrudan etkileyen mil dönme hızı, İlerleme miktarı, malzeme cinsi, talaş derinliği ve kesici uç cinsi parametrelerinin etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

### 2.2.1. Kullanılan Ekipman ve Malzemeler

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılmış olan elemanların özellikleri detaylı bir şekilde tanıtılmıştır. Şekil 2.1’de verilen deney ortamı ve CNC Torna tezgâhı, işlem kabiliyeti olarak x ve z olmak üzere 2 eksende çalışmaktadır.



Şekil 2.1. Deney ortamı ve CNC Torna tezgâhı

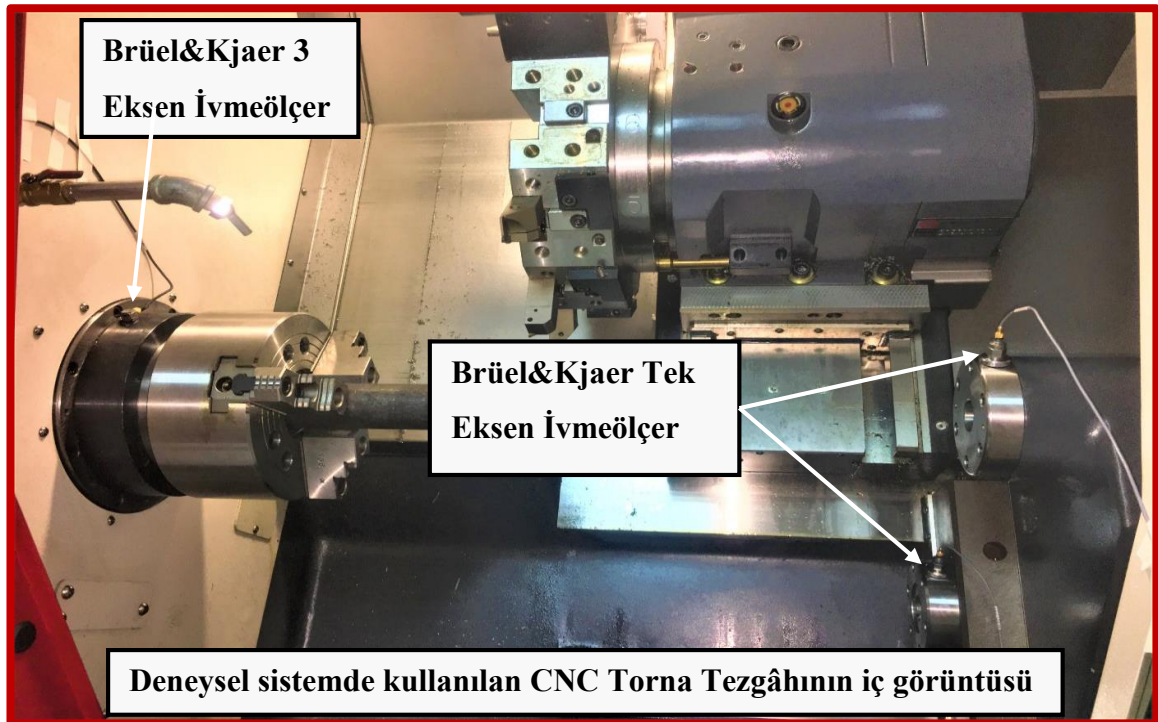
Deneysel çalışmalarda kullanılmış olan CNC Torna tezgâhına ait detaylı teknik bilgiler Tablo 2.1 ile verilmiştir.



Tablo 2.1. Deneysel sistemde kullanılan CNC Torna tezgâhının teknik özellikleri

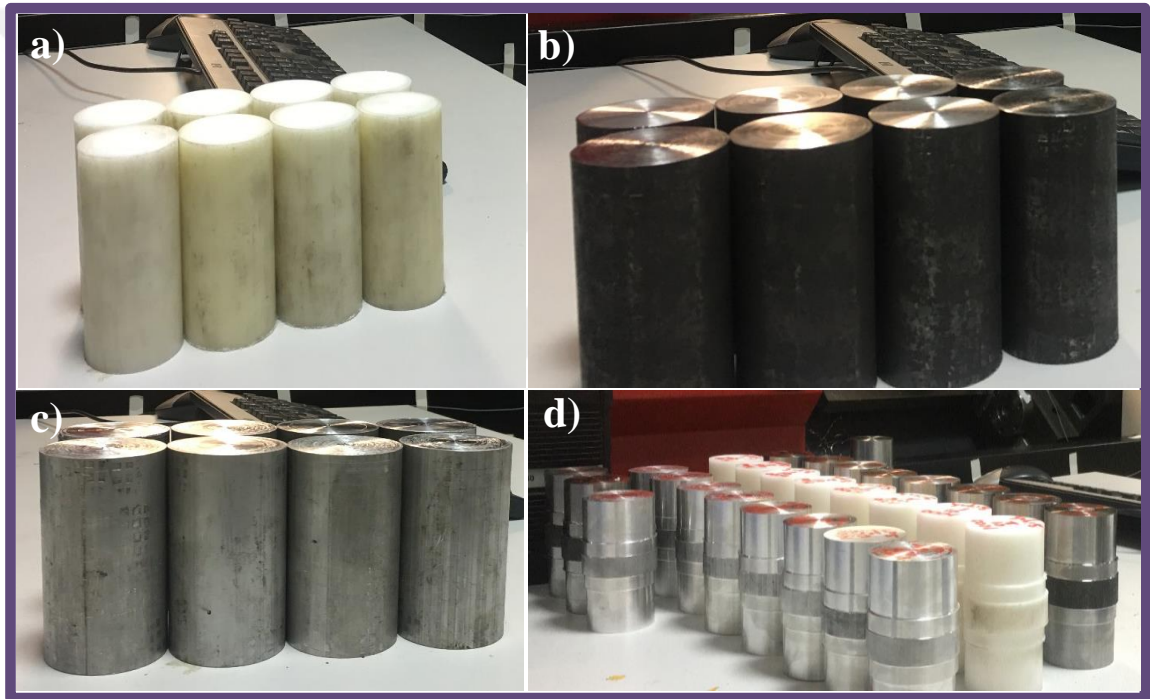
<b>Torna Mili</b>	<b>Maksimum Tork</b>	<b>88 KN</b>
	<b>Maksimum Kuvvet</b>	<b>34 KN</b>
	<b>Mil Hızı</b>	<b>4900 r.p.m</b>
	<b>Mil Motoru</b>	<b>11 KW (Devamlı Kesme)</b>
<b>X Eksen</b>	<b>Hareket Mesafesi</b>	<b>360 mm</b>
	<b>Servo motor</b>	<b>3.0 KW</b>
<b>Z Eksen</b>	<b>Hareket Mesafesi</b>	<b>430 mm</b>
	<b>Servo motor</b>	<b>3.0 KW</b>
<b>Tezgâh Boyutları</b>	<b>1530 x 2578 x 1905 mm</b>	

Titreşim analizini gerçekleştirmek için Brüel&Kjaer 4524 B 001 tip üç eksenli bir adet ve tek eksenli iki adet ivmeölçer kullanılmış ve elde edilen verilerin anlamlı hale getirilebilmesi için ise Brüel&Kjaer 3560 B tip bir Intelligent Data Acquisition-IDA kullanılmıştır. Sensörler ve bu sensörlerin tezgâh üzerindeki konumları aşağıda Şekil 2.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Deneysel sistemde kullanılan sensörler ve tezgâh içerisindeki konumları

Deneysel çalışmada iş parçası olarak, deneyler dâhilinde işlenmiş ve işlenmemiş halleri aşağıda Şekil 2.3 ile gösterilmiş olan üç farklı malzeme kullanılmıştır. Bunlar; 7075 alüminyum malzeme (100mm yükseklik, 50 mm çap), st37 çelik malzeme (100mm yükseklik, 50 mm çap) ve plastik malzeme (100mm yükseklik, 50 mm çap) olarak belirlenmiştir. Burada üç farklı malzeme seçmemizin iki temel nedeni bulunmaktadır. Bunlar, *i.*) farklı malzemelerin tezgâh titreşimleri üzerindeki etkilerini görebilmek ve *ii.*) malzeme değişse bile Yapay Sinir Ağlarının (YSA) malzeme değişimini de öğrenmesini sağlayabilmektir.

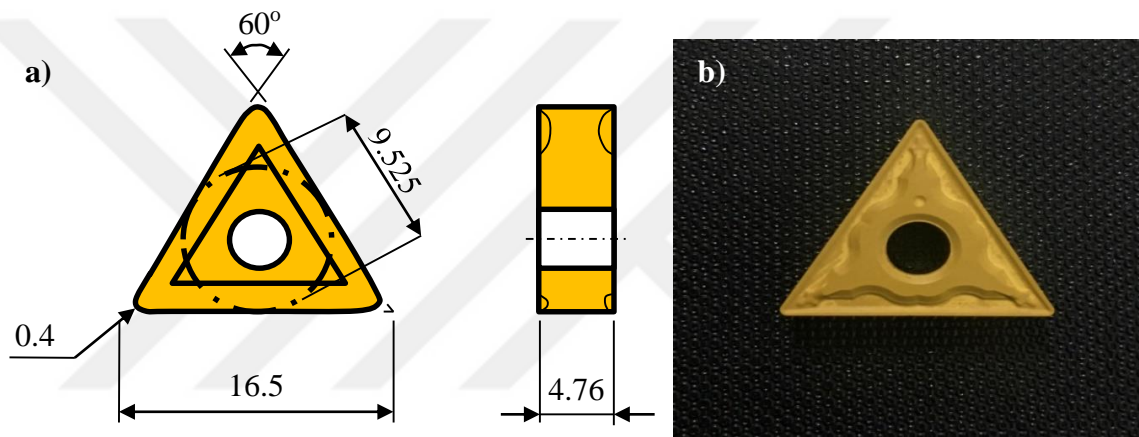


Şekil 2.3. a) Deneysel çalışmada kullanılan plastik malzeme, b) Deneysel çalışmada kullanılan çelik malzeme, c) Deneysel çalışmada kullanılan alüminyum malzeme, d) Deney sonrası işlenmiş bütün malzemeler

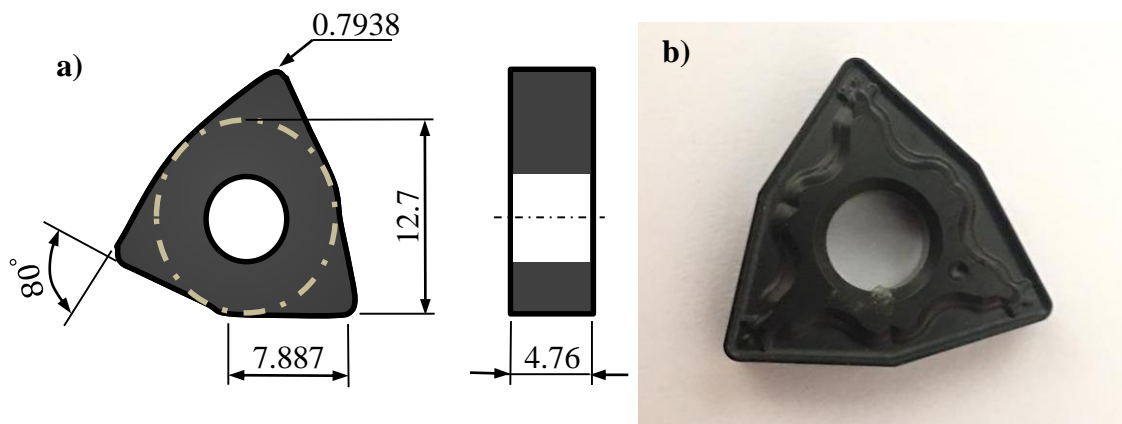
Deneysel çalışmada kesme işlemini gerçekleştirmek üzere iki farklı elmas uç kullanılmıştır. Kullanılan sarı renkteki elmas uç ve geometrik yapısı ölçeklendirme birimi milimetre (mm) cinsinden olmak üzere Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Malzeme cinsi olarak ISO P kategorisinde yer alan bu elmas uç yüksek hızlı ve devamlı kesimler için kullanılmaktadır ve ayrıca bu elmas uç için titreşimi doğrudan etkileyen küçük köşe açısı

değeri ise  $60^\circ$ 'dir. Kullanılan siyah renkteki elmas uç ve geometrik yapısı ise ölçeklendirme birimi milimetre (mm) cinsinden olmak üzere Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Malzeme cinsi olarak yine ISO P kategorisinde yer alan bu elmas uç genellikle orta hızlı ve kesintili kesimler için kullanılmaktadır. Siyah elmas uç için küçük köşe açısı ise  $80^\circ$  olarak tanımlanmaktadır.

Kesici uç üzerindeki olası aşınmaları önlemek ve her malzemede eşit şartlarda kesim sağlamak amacıyla her bir deneyde yeni bir elmas uç kullanılmıştır.



Şekil 2.4. a) Deneysel sistemde kullanılan sarı renkteki elmas ucun geometrik yapısı, b) deneysel sistemde kullanılan elmas uç



Şekil 2.5. a) Deneysel sistemde kullanılan siyah renkteki elmas ucun geometrik yapısı, b) deneysel sistemde kullanılan elmas uç

Kesme sıvısının malzemenin fiziksel özellikleri üzerinde bazı değişikliklere sebep olabileceği düşünüldüğü için deneylerde kesme sıvısı kullanılmamıştır, yani deneylerin tamamı kuru kesme koşullarında gerçekleştirilmiştir.

## 2.2. Yapay Sinir Ağı

Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte insanlık neredeyse tüm işlemlerini bu yenilikçi teknolojiler üzerinde yapmakta ve yeni yöntemlerin bulunmasına olanak sağlamaktadır. Yapay sinir ağları, bu süreç içerisinde geliştirilmiş olan ve geleneksel algoritmalara göre daha etkin çözümler üretebilen en etkili yapay zekâ yöntemlerinden birisidir. Geleneksel algoritmalar ile yapay sinir ağları arasındaki farklar Tablo 2.2’de verilmiştir [9].

İnsan beyninden esinlenerek geliştirilmiş olan [23] yapay sinir ağları, örneklerle ilgili bilgileri toplarken bu bilgiler ile ilgili genellemeler yapar. Daha sonra, hiç görmediği örnekler ile karşılaştığında ise daha önce öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilir. Yapay sinir ağları içerisindeki ağ yapıları, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirlerine bağlanmış olan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır. Bu tez çalışmasında yapay sinir ağları, öğrenebilme ve genelleme özellikleri nedeniyle CNC Torna tezgâhlarında meydana gelen en önemli bozucu etkenlerden birisi olan titreşimin önceden tahminine yönelik geliştirilmiştir.

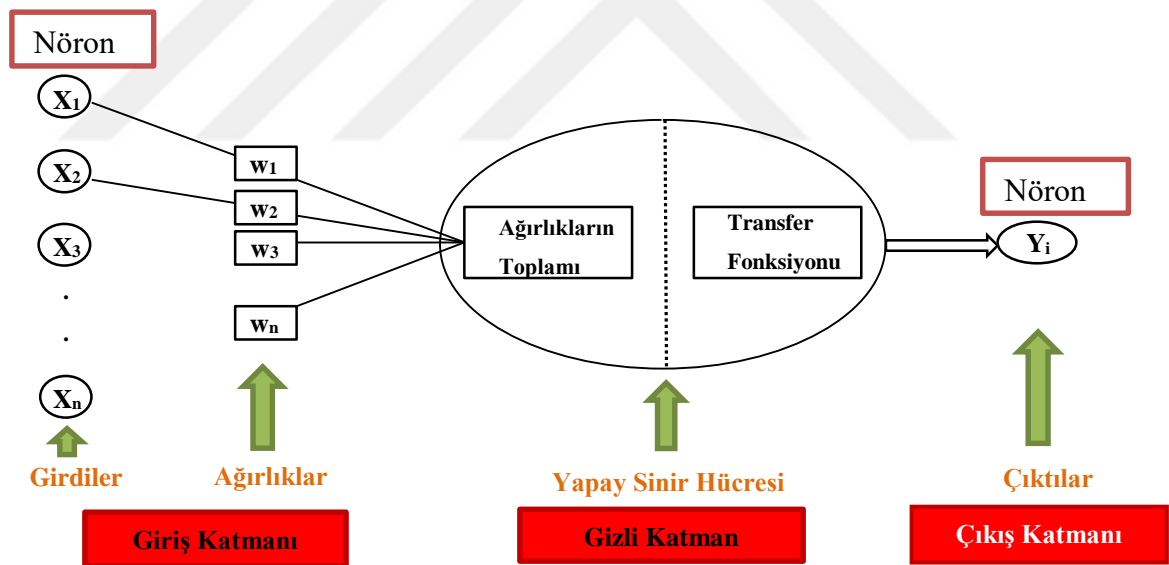
Tablo 2.2. Geleneksel Algoritmalar ile Yapay Sinir Ağları arasındaki farklar.

Geleneksel Algoritmalar	Yapay Sinir Ağları
<b>Çıktılar, koyulan kurallara girişlerin uygulanması ile elde edilir.</b>	Öğrenme esnasında giriş çıkış bilgileri verilerek, kurallar koyulur.
<b>Bilgiler ve algoritmalar kesindir.</b>	Deneyimden yararlanır.
<b>Hesaplama; merkezi, eş zamanlı ve ardışıktır.</b>	Hesaplama; toplu, eş zamansız ve öğrenmeden sonra paraleldir.

<b>Bellek paketlenmiş ve hazır bilgi depolanmıştır.</b>	Bellek ayrılmış ve ağa yayılmıştır.
<b>Nispeten hızlıdır.</b>	Yavaş ve donanıma bağımlıdır.
<b>Hata toleransı yoktur.</b>	Hata toleransı yoktur.

### 2.2.1. Yapay Sinir Ağının Genel Yapısı

Yapay sinir ağları, genel olarak yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla oluşan yapılardır. Yapay sinir ağları giriş katmanı, ara (gizli) katmanlar ve çıkış katmanı olmak üzere üç ana katmandan oluşan bir yapıya sahiptirler. Temel bir yapay sinir ağı yapısı Şekil 2.6 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Yapay Sinir Ağı Yapısı

**Giriş Katmanı:** Yapay sinir ağına herhangi bir manipülatör tarafından girdilerin geldiği katman olarak bilinmektedir. Bu katmana gelecek giriş sayısı kadar hücrenin bulunmasına rağmen genel olarak girdiler herhangi bir işlem sürecine maruz kalmadan bir sonraki katmana/katmanlara iletilmektedir.

**Gizli Katman:** Giriş katmanından çıkan bilgiler bu katmana gelir. Gizli katman (Hidden Layer) sayısı her bir ağda farklı olabilir. Bazı yapay sinir ağları tek bir gizli katman içerirken, bazı yapay sinir ağları ise birden fazla gizli katmandan oluşabilmektedir. Gizli katmanlardaki nöron sayıları giriş ve çıkış sayısından bağımsızdır. Aynı zamanda birden fazla gizli katman olan ağlarda gizli katmanların kendi aralarındaki nöron sayıları da farklı olabilmektedir. Gizli katmanların ve bu katmanlardaki nöronların sayısının artırılması hesaplama karmaşıklığını ve süresini arttırmaktadır. Ancak bu işlem, aşırı doğrusal olmayan bir sistemin çözümlenmesinde ve elde edilen çıktıların tutarlılığında verimliliği arttırabilmektedir. Problemin yapısına bağlı olarak değişkenlik gösteren bu özelliğin tam tersinin olması durumu da söz konusudur.

**Çıkış Katmanı:** Gizli katmanlardan gelen bilgileri işleyerek ağın çıktılarını oluşturan katmandır. Bu katmanda üretilen çıktılar doğrudan kullanıcıya gönderilir. Bir yapay sinir ağı çeşidi olan ve bu tez çalışmasında benzetim çalışmaları içerisinde kullanılan geri beslemeli ağlarda ise bu katmanda üretilen çıktı kullanılarak ağın yeni ağırlık değerleri hesaplanmaktadır.

### 2.2.2. Yapay Sinir Ağ Eğitimi

Yapay sinir ağlarında, çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata değeri azaltılarak ideal çıkışa yakınsamaya çalışılır. Optimizasyon süresince yapay sinir ağının ağırlıkları, hata değeri azaltılarak ideal çıkışa yakınsayacak şekilde her bir çevrimde güncellenir. Arzu edilen sonlandırma kriterine ulaşıldığında ise ağırlık değerlerinin optimum şekilde elde edildiği ifade edilebilir. Ağırlıkların yenilenme sürecinde arzu edilen sonuca ulaşıncaya kadar geçen zamana öğrenme adı verilmektedir. Yapay sinir ağının öğrenme süreci gerçekleştirdikten sonra daha önce ağa gösterilmeyen girişler uygulanıp, sinir ağı çıkışıyla gerçek çıkış arasındaki fark yani hata değeri incelenir. Eğer yapay sinir ağı uygulanan yeni örnek değerler için de ideal sonuca yakınsıyor yani düşük hata değerleri üretiyor ise yapay sinir ağının öğrenme sürecinin başarılı bir şekilde tamamlandığı ifade edilebilir. Yapay sinir ağlarının öğrenme süreci genellikle elimizde bulunan mevcut örneklerin yaklaşık %70'i ağa verilerek gerçekleştirilir. Öğrenme süreci tamamlandıktan sonra ise örnek verilerin diğer %30'luk kısmı ağa uygulanarak ağ başarımı test edilir. Bu tez çalışmasında ağın eğitimi için, ilerleyen bölümlerde de detaylandırılacak olan,

deneysel sonuçlar neticesinde elde edilen 28848 adet verinin rasgele olarak belirlenen 20194 âdeti sisteme uygulanmıştır.

Bu çalışmada tornalama işlemi sırasında ivme analizi ile titreşim tespiti gerçekleştirilirken, yapay sinir ağları iki farklı öğrenme algoritması üzerinde çalıştırılmıştır. Bunlar, geri beslemeli bir ağ yapısına sahip olan İleri Kademeli Geri Yayılımlı (Cascade-Forward Backprop, CFB) algoritması ve radyal tabanlı bir ağ yapısına sahip olan Radyal Tabanlı (Radial Basis, RB) algoritmasıdır. YSA'nın farklı algoritmalarla gerçekleşen öğrenme kabiliyetini test etmek üzere kullanılmış olan yapılar ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağlarında giriş için 6 adet nöron ve çıkış için CNC Torna tezgâhı üzerinde oluşan titreşim bölgelerindeki eksenleri belirten 5 adet nöron kullanılmıştır. Giriş parametreleri, kesme esnasında tezgâh titreşimlerine etkisinden dolayı zaman dâhilinde mil dönme hızı, İlerleme miktarı, malzeme cinsi, talaş derinliği ve kesici uç cinsi olarak belirlenmiştir.

### 2.2.3. Radyal Taban Fonksiyonlu Yapay Sinir Ağları

Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (Radial Basis Artificial Neural Networks, RBANN), biyolojik sinir hücrelerinde görülen etki tepki davranışlarından esinlenilerek 1988 yılında geliştirilmiştir [24]. RBANN modelleri genel yapay sinir ağı mimarisine benzer şekilde giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere 3 katman halinde tanımlanmaktadır. Benzetim çalışmalarında kullanılan RBANN yapısı Şekil 2.7'de sembolize edilmiştir. Giriş katmanından ara katmana gerçekleşen dönüşüm, radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları ile doğrusal olmayan sabit bir dönüşümdür. Ara katmandan çıkış katmanına ise doğrusal bir dönüşüm gerçekleşmektedir. RBANN'nin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$\phi_j = \exp[-\|x - c_j\|/\sigma_j^2] \quad (2.1)$$

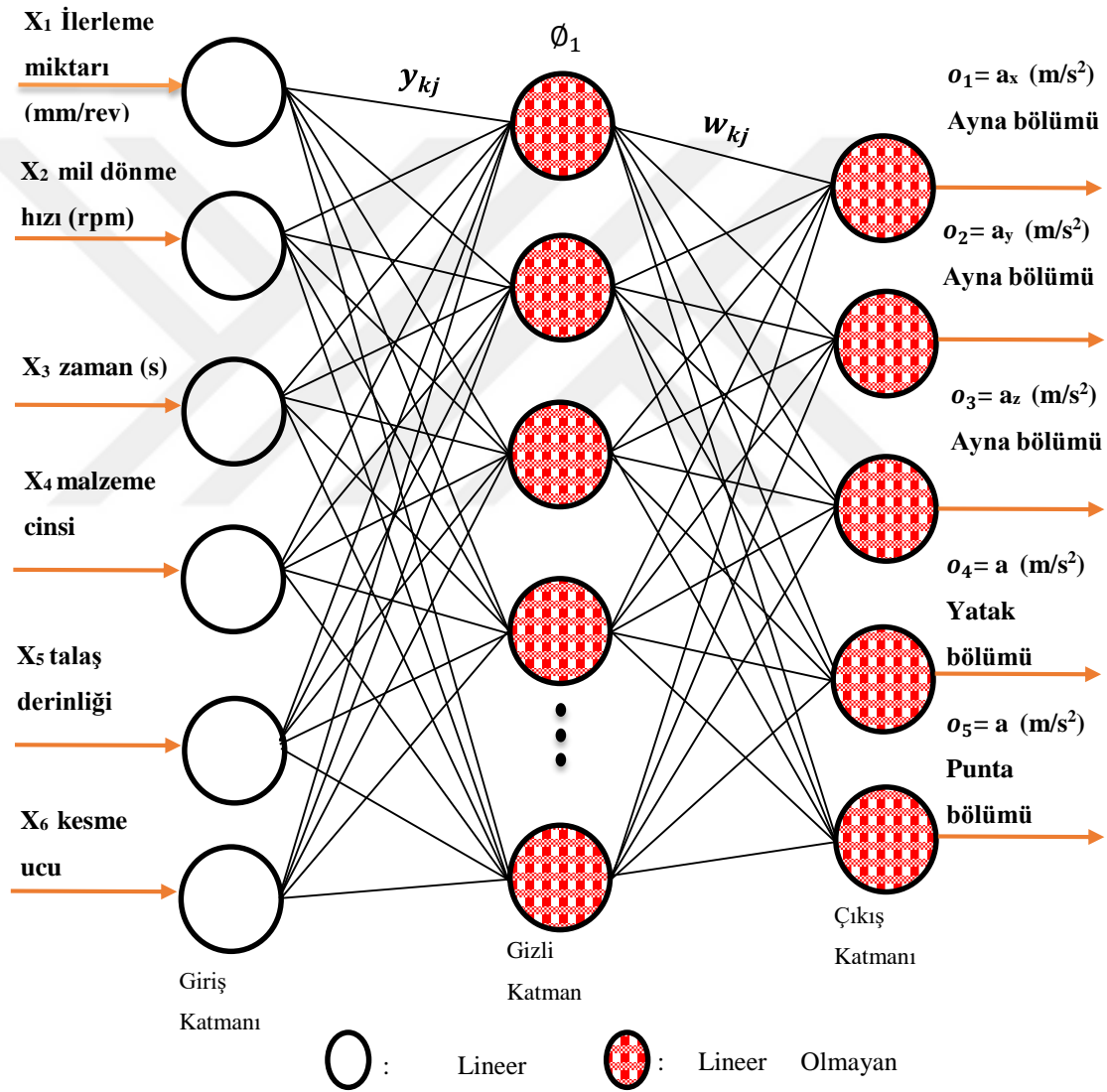
burada,  $x$  : giriş vektörünü,  $c_j$  :  $j$ . gaussian fonksiyonunun merkezini ve  $\sigma_j$  ise standart sapma değerini ifade etmektedir.  $\|x - c_j\|$  ifadesi ise  $x$  ve  $c_j$  vektörleri arasındaki Öklid mesafesini tanımlamaktadır. Ayrıca,  $j$ . ara düğümün aktivasyon seviyesi de  $\phi_j$ ' ye eşit olarak tanımlanmaktadır. Ara katman çıkışları;

$$y_{kj} = \prod \phi_j(x, c, \sigma) \quad (2.2)$$

şeklinde tanımlanırken,  $k$ . düğümün çıkışı denklemi (2.3) ile verilmektedir.

$$o_k = \sum_{j=1}^J w_{kj} y_{kj} \quad (2.3)$$

Burada  $w_{kj}$ ,  $k$ . çıkış düğümü ile  $j$ . ara katman düğümü arasındaki ağırlığı belirtmektedir.



Şekil 2.7. Benzetim çalışmalarında kullanılan RBANN yapısı



#### 2.2.4. Geri Yayılım Algoritmali Yapay Sinir Ağları

Geri Yayılım (Backpropagation-BP) algoritması, yapay sinir ağlarının eğitilmesi için kullanılan bir öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritma temel olarak, ileri beslemeli bir ağda bulunan hata miktarlarının gizli katmanda bulunan sinir hücrelerine geri beslenmesi ve eğitimin başarısının bu işlem süreciyle artırılması temeline dayanmaktadır. Eğitim sırasında ağa belirli sayıda giriş kombinasyonları uygulanır. Girişler sonucunda elde edilen çıkışlar, sistemin mevcut gerçek çıktıları ile karşılaştırılır. Yapay sinir ağlarının ürettiği cevap ve gerçek cevap arasındaki hata, ağ bağlantılarının ağırlıklarını güncellemek amacıyla kullanılır. Yani katmanlar arasındaki bağlantılardaki ağırlık değerleri, eğitimi tamamlanmış ağdan alınarak deneme safhasında kullanılmak üzere saklanır [25]. Bu güncelleme her bir ileri beslemeden sonra gerçekleştirilmektedir. BP algoritması, bir yapay sinir ağının ağırlıklarını güncelleyerek eğitimini gerçekleştirmesinde kullanılan en yaygın YSA algoritmalarından birisidir.

Giriş katmanı ve gizli katman arasındaki ağırlık değerleri aşağıda verilen (2.4) denkleminde elde edilmektedir,

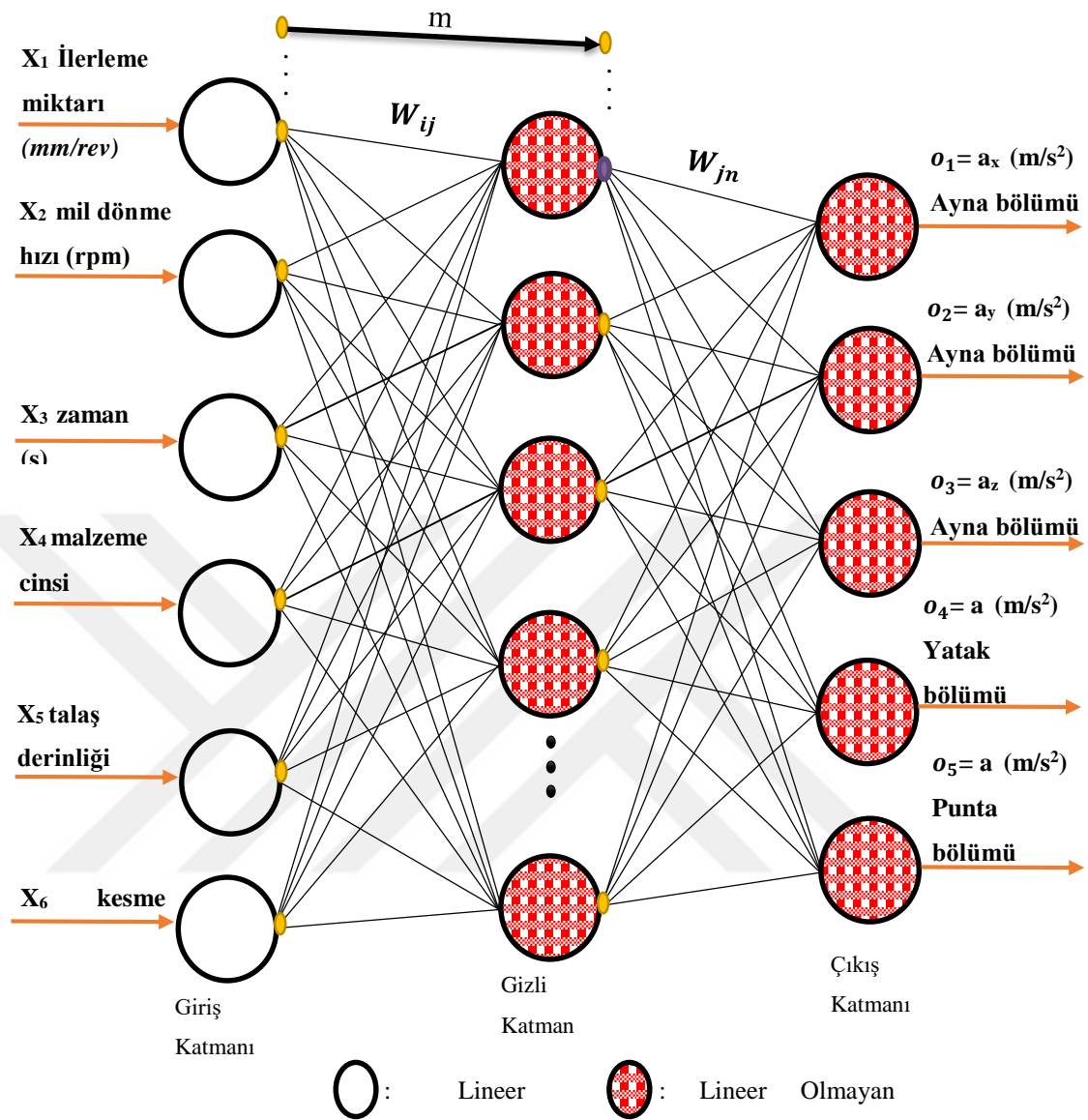
$$\Delta W_{ij}(t) = -\eta \frac{\partial E_2(t)}{\partial W_{ij}} + \alpha \Delta W_{ij}(t - 1) \quad (2.4)$$

Gizli katman ve çıkış katmanı arasındaki ağırlık değerlerinin hesaplanması için kullanılan denklem ise (2.5)'de verilmiştir.

$$\Delta W_{jn}(t) = -\eta \frac{\partial E_1(t)}{\partial W_{jn}} + \alpha \Delta W_{jn}(t - 1) \quad (2.5)$$

Bu formüllerde  $\eta$ , öğrenme oranı ve  $\alpha$ , hızlanma sabitidir.  $E_2(t)$ , gizli katman ve giriş katmanları arasındaki yayılım hatasıdır.  $E_1(t)$  ise deneysel sonuçlar ve yapay sinir ağlarının ürettiği çıkışlar arasındaki hatadır.

Bu çalışmada kullanılan ağ yapılarından diğeri ise geri yayılım algoritmali yapay sinir ağlarından olan CFB algoritmasıdır. Şekil 2.8'de; “ $m$ ” ışıını hariç olan yapı benzetim çalışmalarında kullanılan BP algoritmasının şematik yapısı iken, kademeyi sembolize etmek amaçlı kullanılmış olan “ $m$ ” ışıını dâhil edildiğinde CFB algoritmasının şematik yapısı tasvir edilmiş olmaktadır.



Şekil 2.8. Benzetim çalışmalarında kullanılan BP-CFB yapısı

## 2.2.5. Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Parametreler

### 2.2.5.1. Transfer Fonksiyonu

Bir nörona gelen net girdiyi hesaplayan ve YSA tabanlı modelleme işleminde yaygın olarak kullanılan transfer fonksiyonları; logaritma sigmoid (logsig), tanjant sigmoid (tansig) ve lineer (pureline) transfer fonksiyonlarıdır. Bu transfer fonksiyonlarının denklemleri, sırasıyla, aşağıda verilmiştir.

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.6)$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.7)$$

$$f(x) = x \quad (2.8)$$

Bu çalışmada kullanılan geri yayımlı YSA algoritmalarında transfer fonksiyonu olarak tanjant sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır.

#### **2.2.5.2. Giriş Parametreleri**

Tornalama işleminde tezgâh titreşimini etkileyen malzeme türü, ayna devri, talaş derinliği, İlerleme miktarı ve kesici uç cinsi faktörlerine göre saniyenin %7,5'i hassaslıkta her biri 45 saniyelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma şartları için veriler Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Yapay Sinir Ağlarında kullanılan deneysel giriş parametreleri

KOD	Çalışma Koşulları					
	Malzeme Cinsi	Kesici Uç	Ayna Dönme Devri (dev/dak)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Talaş Derinliği (mm)	SÜRE
A1,C1,P1	Alüminyum (A)	Sarı Uç	1000	0.1	1	0-45 saniye (birim zamanın %7,5 oranlı hassasiyeti ile)
A2,C2,P2				0.05		
A3,C3,P3				0.1	2	
A4,C4,P4				0.05		
A5,C5,P5			1500	0.1	1	
A6,C6,P6				0.05		
A7,C7,P7				0.1	2	
A8,C8,P8				0.05		
A9,C9,P9	Çelik (C)	Siyah Uç	1000	0.1	1	
A10,C10,P10				0.05		
A11,C11,P11				0.1	2	
A12,C12,P12				0.05		
A13,C13,P13	Plastik (P)	Siyah Uç	1500	0.1	1	
A14,C14,P14				0.05		
A15,C15,P15				0.1	2	
A16,C16,P16				0.05		

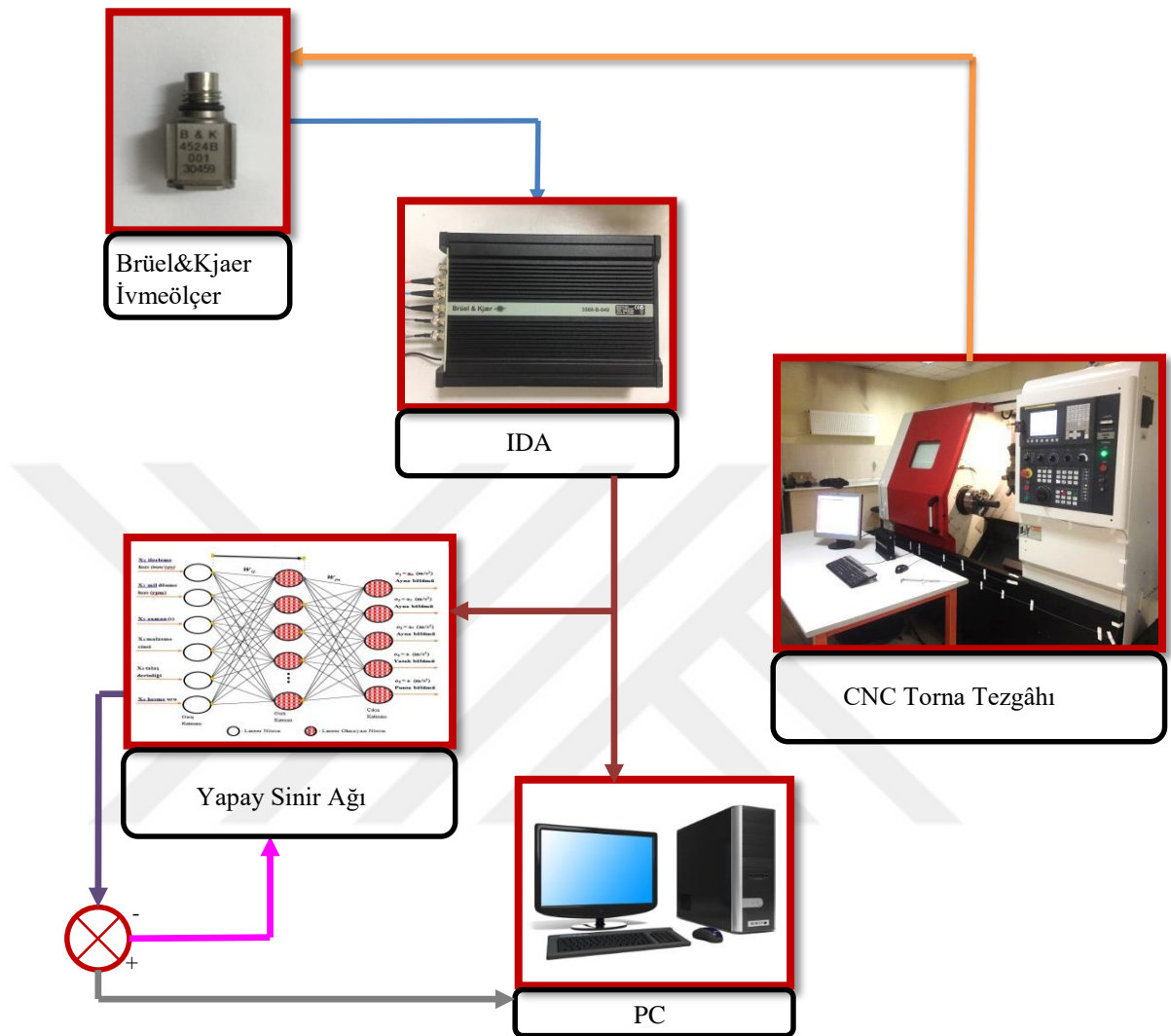
### 2.2.5.3. Ağ Parametreleri

Benzetim çalışmaları, MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olan denemeler sonucu elde edilen en uygun iki farklı ANN yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu ağların öğrenme parametreleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. YSA'nın öğrenme sürecinde kullanılan parametreler

ANN Tipi	Öğrenme Oranı ( $\eta$ )	Momentum Terimi ( $\alpha$ )	Gizli Hücre/Nöron Sayısı	Çevrim Sayıları (N)
CFB - ANN	0,25	0,4	1/100	$1 \times 10^5$
RB - ANN	0,25	0,4	1/100	$1 \times 10^5$

Gerçekleştirilmiş olan denemeler sonucunda, Bayesian Regularization (BR) eğitim algoritması kullanıldığında ağ yapılarının daha verimli çalıştığı gözlemlenmiş olup, öğrenme fonksiyonu olarak ise Learngdm (Gradient Descent With Momentum Weight and Bias Learning Function) fonksiyonunun daha iyi sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Bu parametreler dâhilinde elde edilen sonuçlar Bölüm 3'te detaylı bir şekilde verilmiş ve tartışılmıştır. Aynı zamanda, bu tez çalışmasının tüm sürecini özetleyen blok diyagramı aşağıda Şekil 2.9 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Tez çalışması sürecinin blok diyagramı

## 3. BÖLÜM

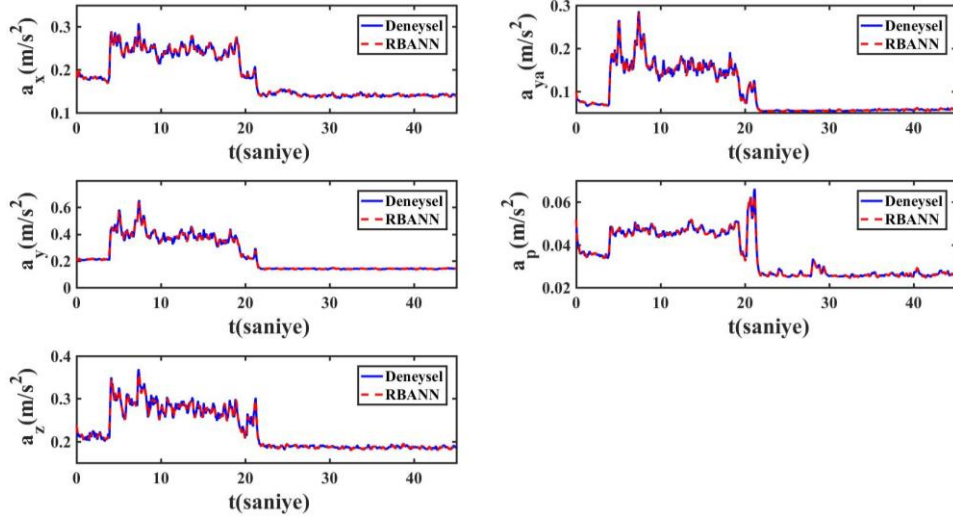
### BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneysel süreç ve deneysel verilerinin yapay sinir ağları kullanılarak modellenmesi Bölüm 2’de detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında alüminyum, çelik ve plastik malzemeler aynı işleme koşulları altında deneysel olarak analiz edilerek, elde edilen titreşim verileri yapay sinir ağları ile iki farklı öğrenme algoritması için modellenmiş ve öğrenme algoritmalarının performansları grafiksel ve sayısal olarak mukayese edilmiştir.

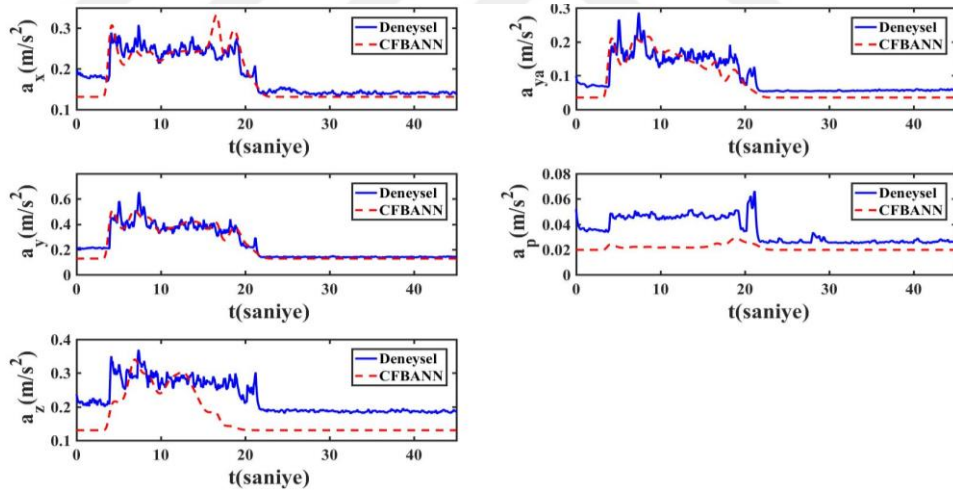
#### 3.1. Grafiksel Sonuçlar

Alüminyum malzeme için elde edilen deneysel sonuçlar ve yapay sinir ağı modelleme sonuçları Şekil 1 ve Şekil 32 arasında, çelik malzeme için elde edilen sonuçlar Şekil 33 ve Şekil 64 arasında ve plastik malzeme için elde edilen sonuçlar ise Şekil 65 ile Şekil 96 arasında iki farklı öğrenme algoritması için mukayeseli olarak verilmiştir.

Yapay sinir ağı ile gerçekleştirilen modellemeler; *i.) İleri Kademeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı (Cascade-Forward Backpropagation Artificial Neural Network, CFBANN)* ve *ii.) Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (Radial Basis Artificial Neural Networks, RBANN)* öğrenme algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan CNC Torna tezgâhın AYNA bölümünden  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenleri için alınan 3 eksenli ivme ölçüm sonuçları  $a_x$ ,  $a_y$  ve  $a_z$  olarak, YATAK bölümünden alınan tek eksenli ivme ölçüm sonucu  $a_{ya}$  olarak ve PASİF PUNTA bölümünden alınan tek eksenli ivme ölçüm sonucu ise  $a_p$  olarak gösterilmiştir.



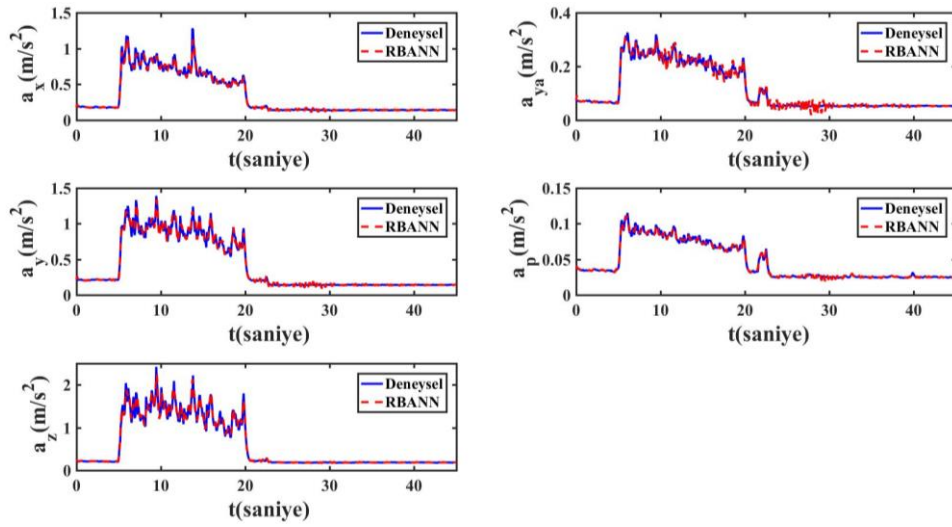
Şekil 3.1. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları



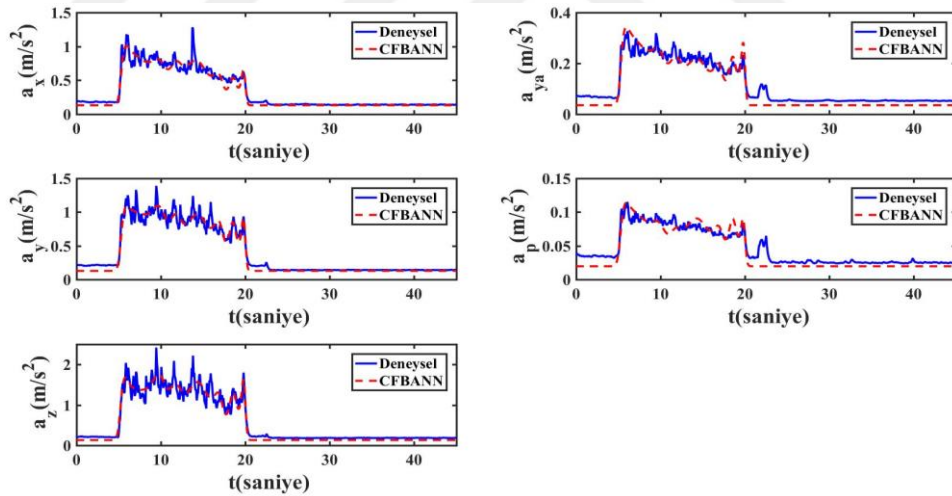
Şekil 3.2. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de belirtilmiş olan işleme şartları altında elde edilen deneysel sonuçlar ve YSA sonuçları mukayese edildiğinde, RBANN yapısının deneysel sonuçları takip etmede CFBANN yapısına göre daha iyi performans sergilediği görülmektedir.





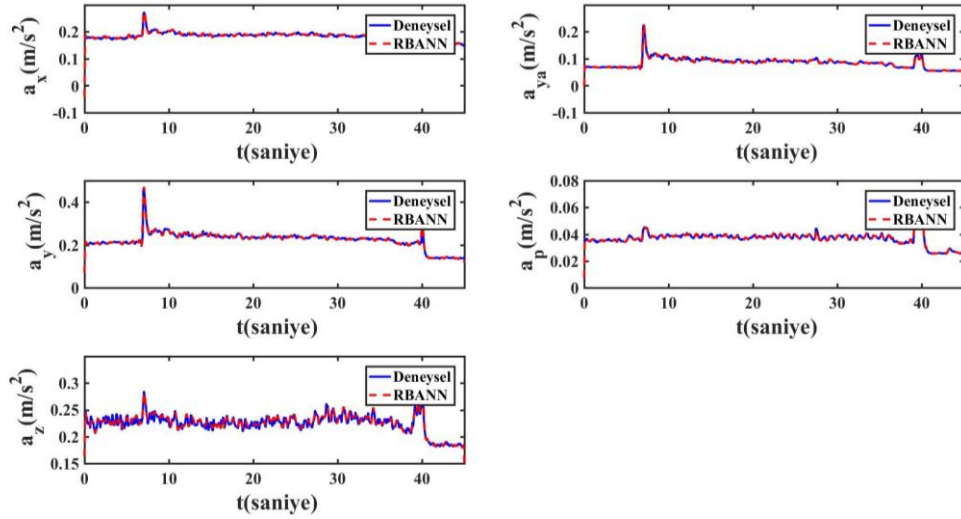
Şekil 3.3. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları



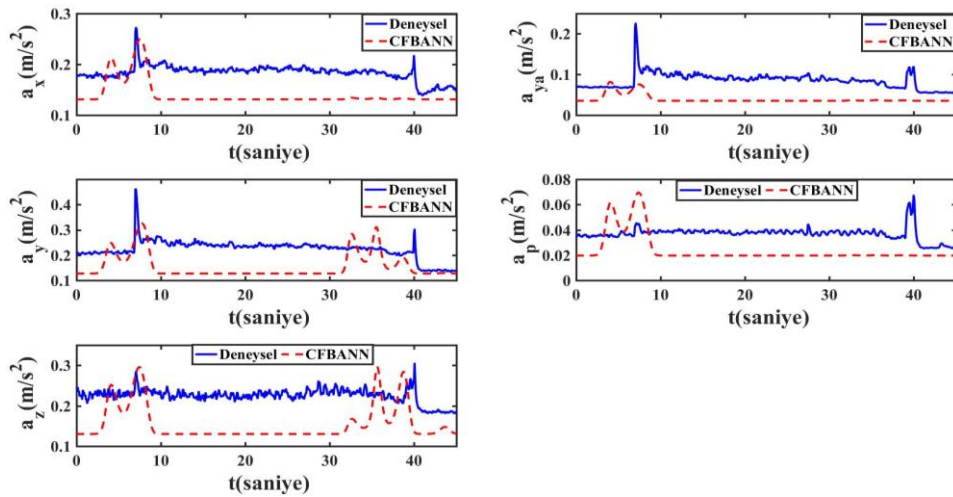
Şekil 3.4. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar CFBANN sonuçları

Şekil 3.3-3.4'de tanımlanmış olan işleme şartları için elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise Şekil 3.1-3.2'ye göre yarı değerine düşen İlerleme miktarının bütün bölge ve eksenlerde ivmelenme değerinde belirli bir artışa yol açtığı görülmektedir. İşleme şartlarına göre elde edilen deneysel verileri modellemede ise RBANN öğrenme

algoritmasının CFBANN öğrenme algoritmasına göre daha iyi performans gösterdiği anlaşılmaktadır.

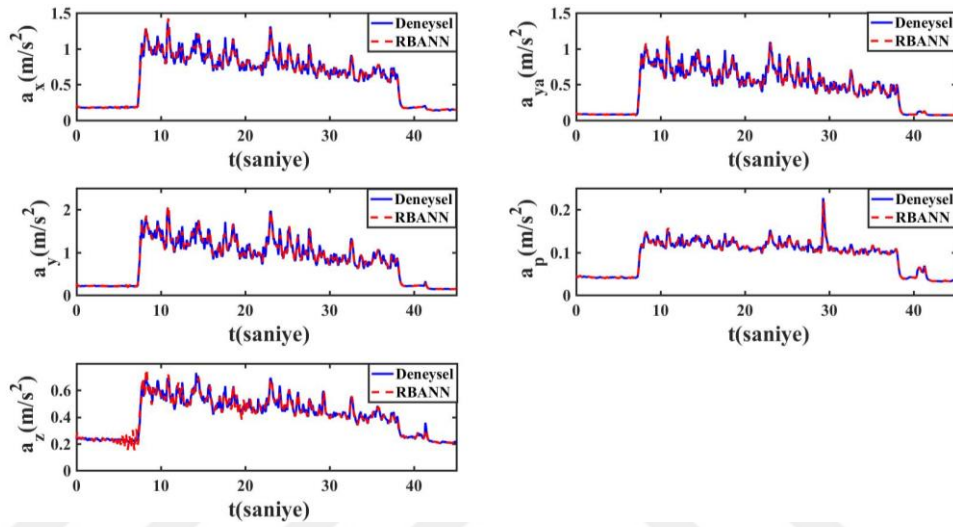


Şekil 3.5. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

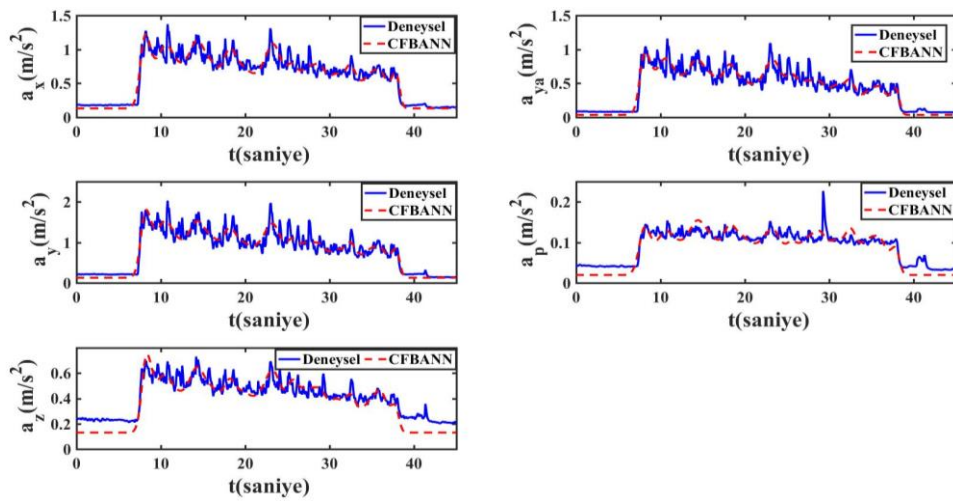


Şekil 3.6. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.5-3.6'da elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 3.1-3.2 ile karşılaştırıldığında talaş derinliğindeki iki katlık bir artışın, titreşim değerlerinde belirli bir artış veya azalışa yol açmazken, işlem süresini yaklaşık iki kat arttırdığı gözlemlenmiştir. YSA tabanlı modeller göz önüne alındığında ise CFBANN yapısının diğer ağ yapısına göre performansının daha kötü olduğu görülmüştür.

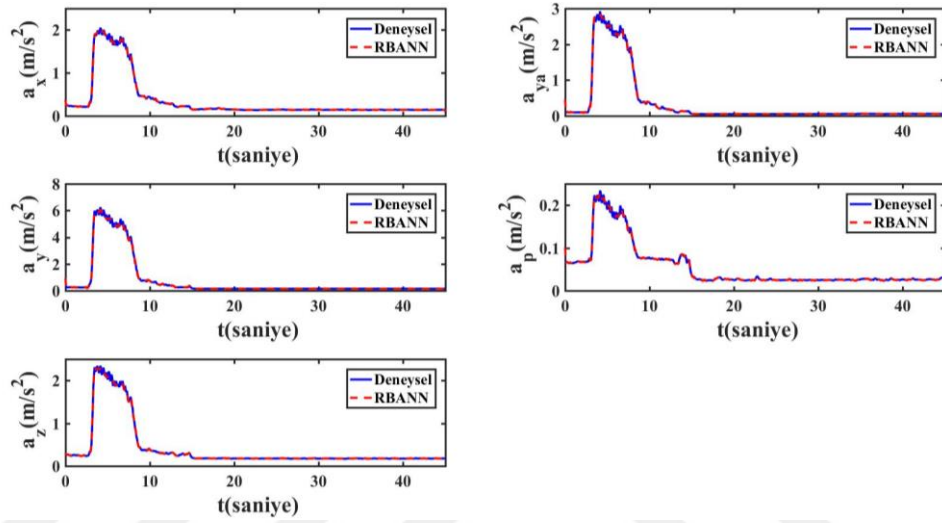


Şekil 3.7. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

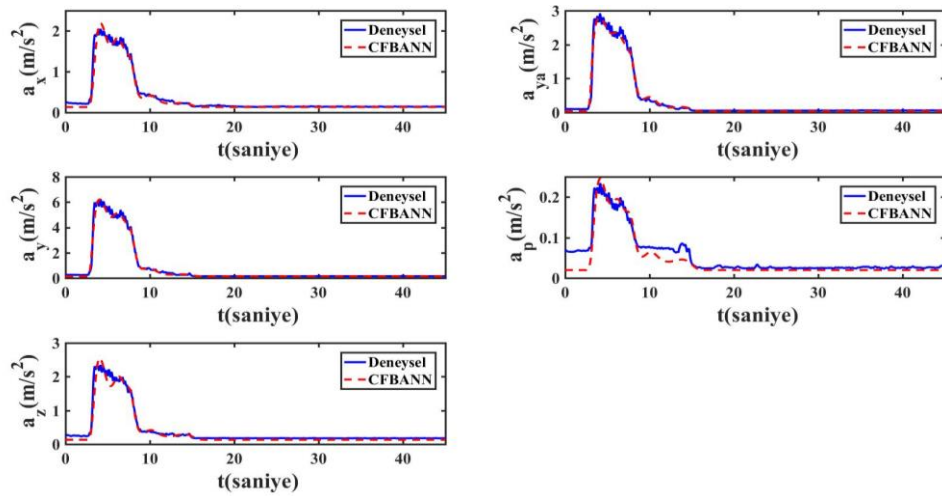


Şekil 3.8. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de verilmiş olan ilgili işleme şartları için elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 3.3-3.4 ile mukayese edildiğinde talaş derinliğindeki iki katlık bir artışın işlem süresini yaklaşık iki kat arttırdığı gözlemlenmektedir. YSA modellemeleri incelendiğinde ise RBANN yapısının diğer ağ yapısına göre daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür.

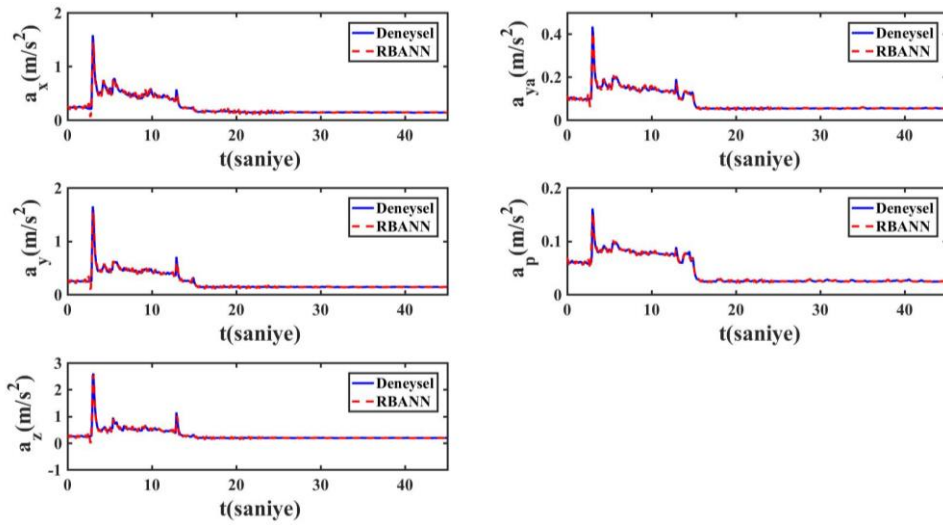


Şekil 3.9. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

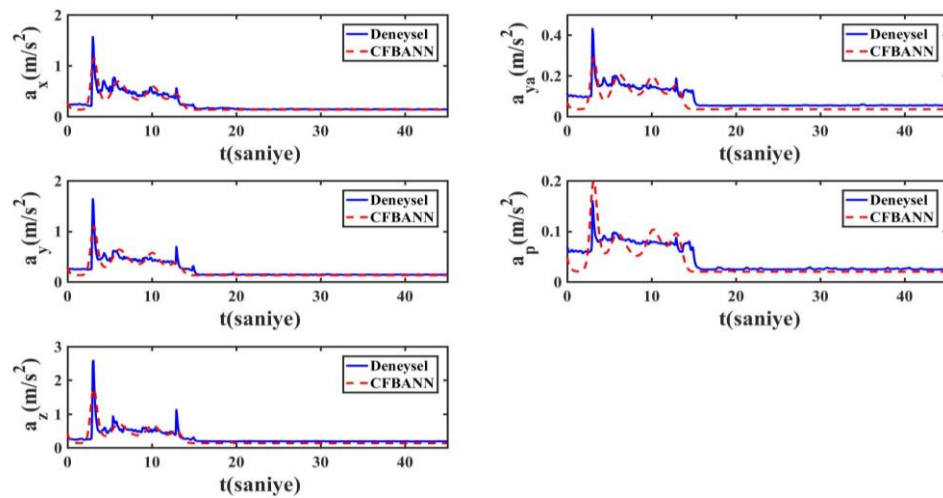


Şekil 3.10. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’da belirtilmiş olan işleme şartları altında elde edilen deneysel sonuçlar ve YSA sonuçları ile Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de elde edilen sonuçlar mukayese edildiğinde, ayna dönme devrindeki değişimin, ivme değerini arttırdığı ve işlem süresini azalttığı görülmüştür. Aynı zamanda, deneysel sonuçları tahmin etmede RBANN öğrenme algoritmasının başarımının oldukça iyi olduğu görülmektedir.

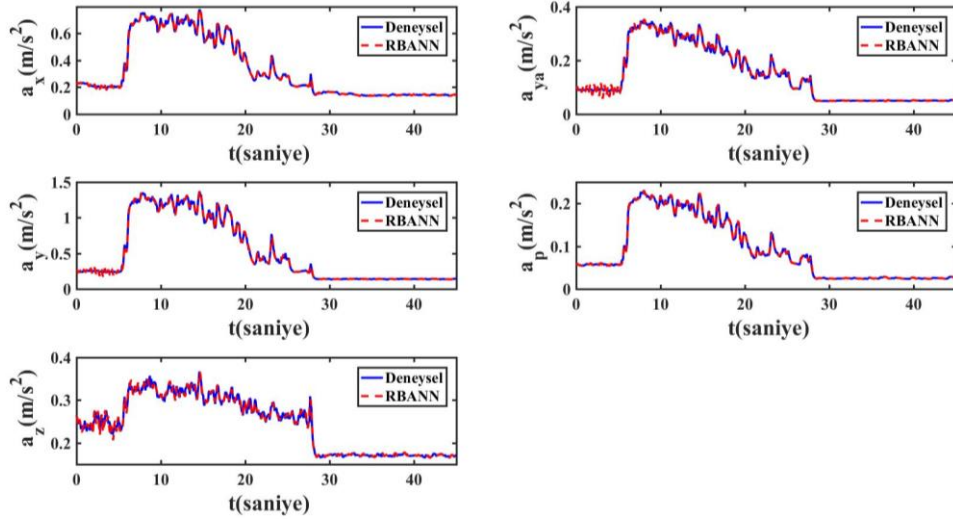


Şekil 3.11. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

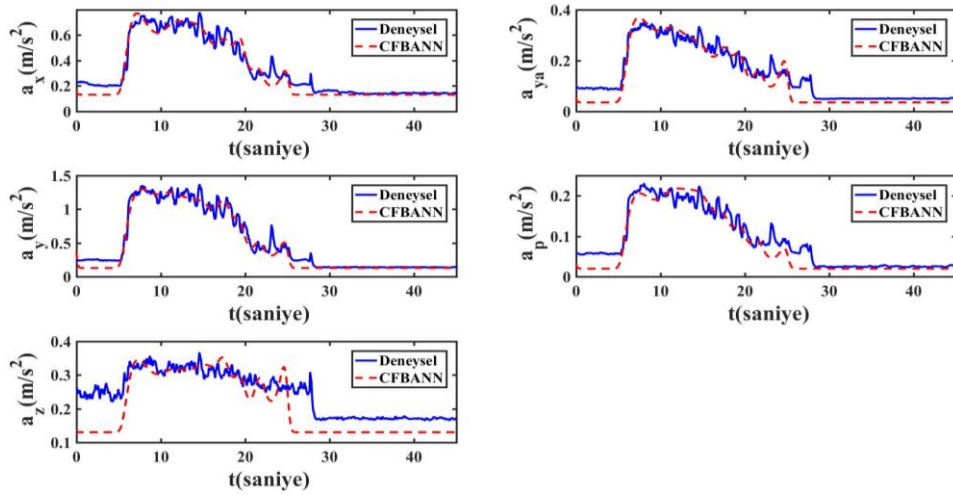


Şekil 3.12. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.11-3.12' de elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 3.3-3.4 ile kıyaslandığında ayna dönme devrinin 1.5 katlık artışı sonucunda ivme verilerinde belirli bir değişiklik görülmezken işlem süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Deneysel sonuçları tahmin etmede ise RBANN yapısı CFBANN yapısına göre daha iyi bir performans göstermiştir.

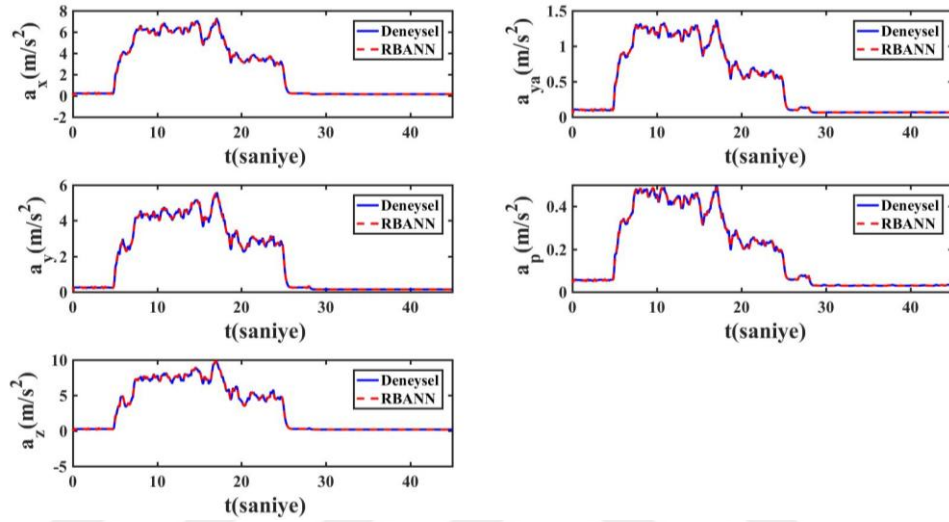


Şekil 3.13. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

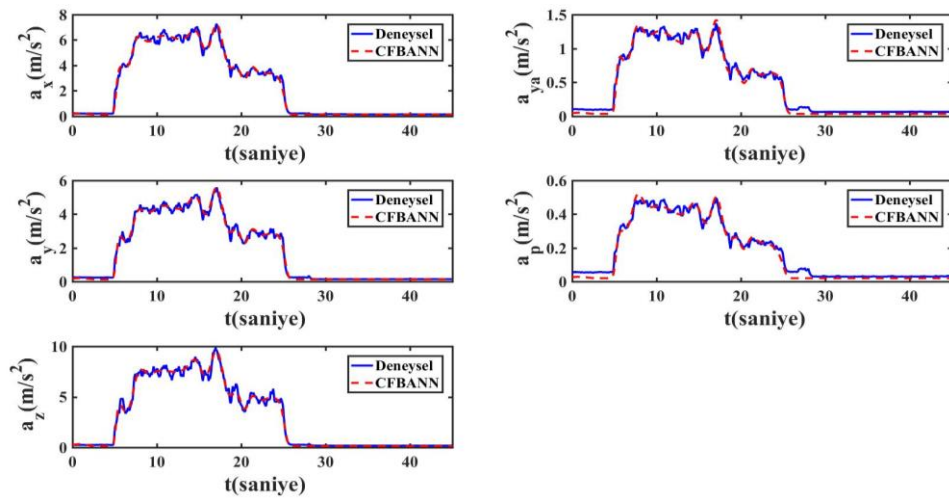


Şekil 3.14. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.13-3.14’da elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 ile kıyaslandığında ayna dönme devrindeki değişimin, bütün bölgelerde ve eksenlerde ivme değerini arttırdığı ve işlem süresini azalttığı görülürken, deneysel sonuçları modellemede RBANN yapısının CFBANN yapısına göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

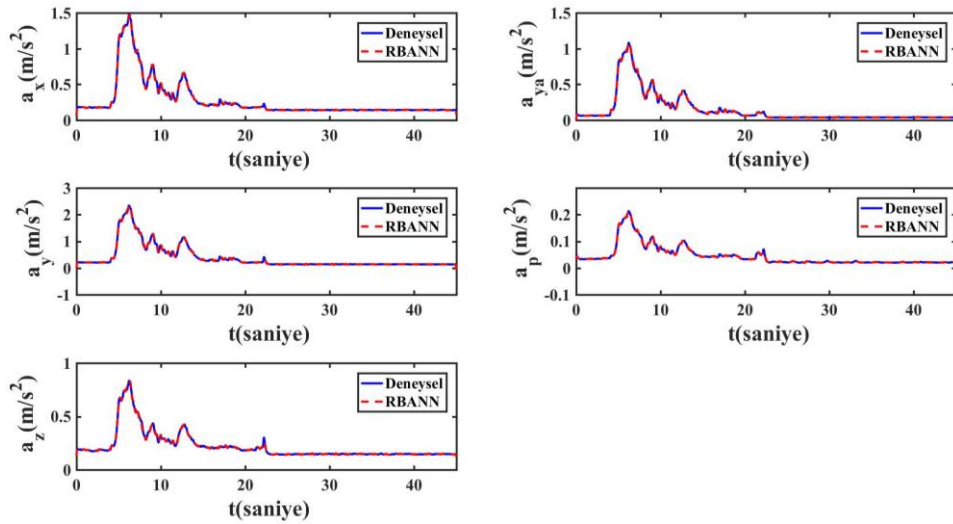


Şekil 3.15. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

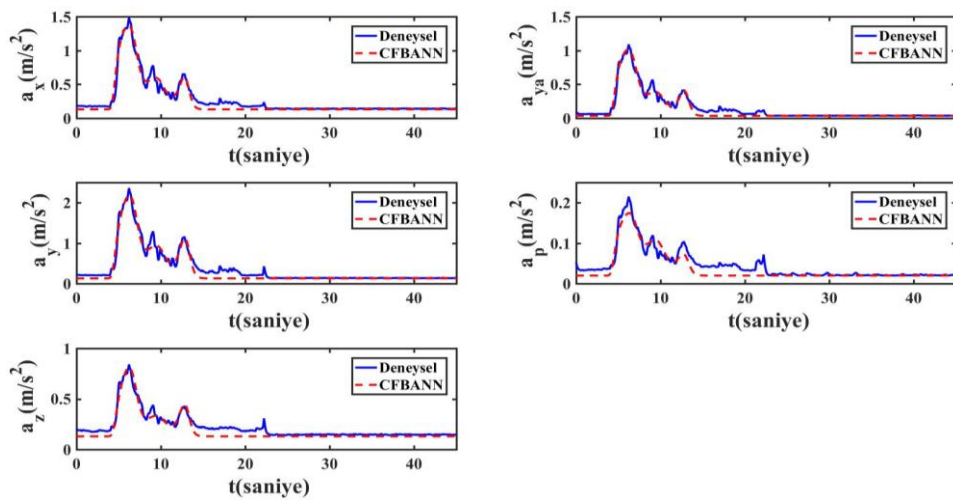


Şekil 3.16. Alüminyum malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da elde edilen deneysel veriler, sarı renkteki kesici uç ve alüminyum malzeme ile yapılmış diğer tüm deney verilerine göre en fazla titreşimin elde edildiği deneyler olmuştur. Sonuçları tahmin etmede ise hem RBANN hem de CFBANN öğrenme algoritmalarının benzer performanslar gösterdiği gözlemlenmiştir.



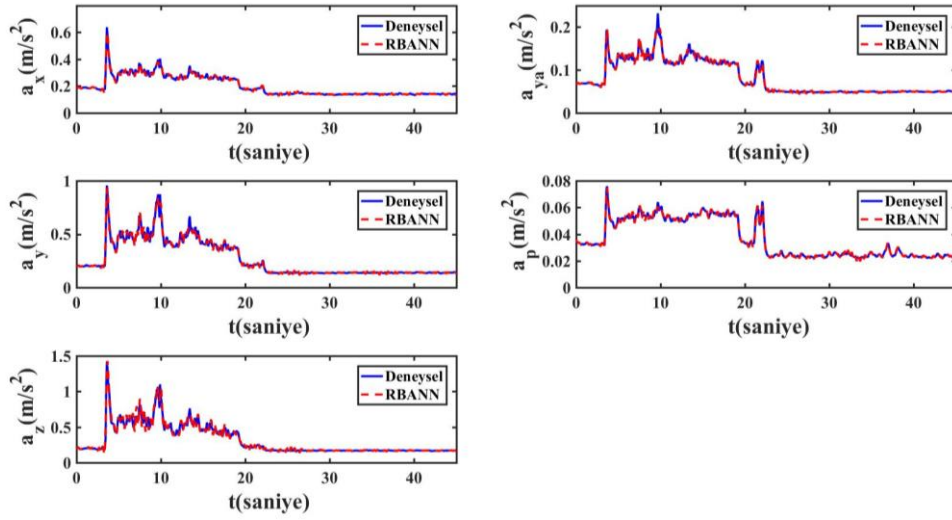
Şekil 3.17. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları



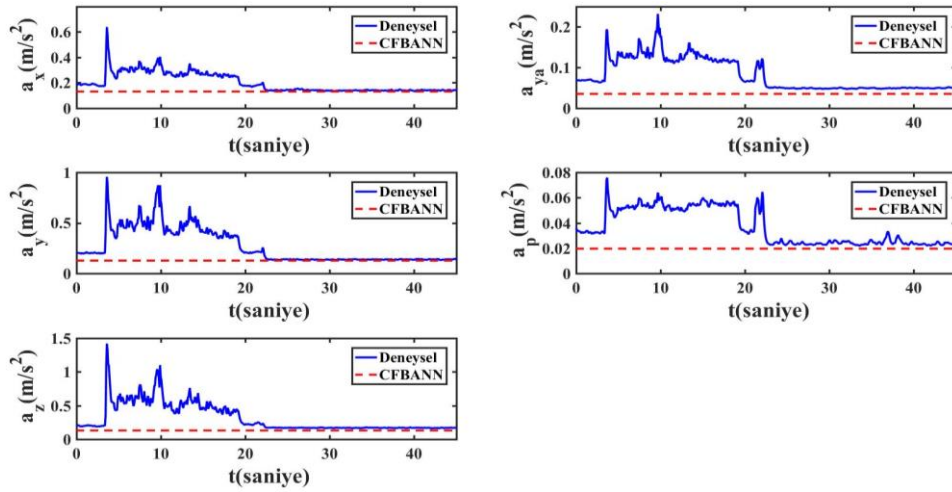
Şekil 3.18. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları



Şekil 3.17-3.18’de elde edilen veriler alüminyum malzeme için elmas ucun değiştirildiği ilk deney setidir. Şekil 3.1-3.2 ile mukayese edildiğinde tüm bölge ve eksenlerde titreşim değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Verilerin karakteristiğinde ivme genliğinin sürekliliğinde de azalma tespit edilirken, verileri tahmin etmede RBANN öğrenme algoritmasının diğer ağ yapısına göre daha iyi sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir.

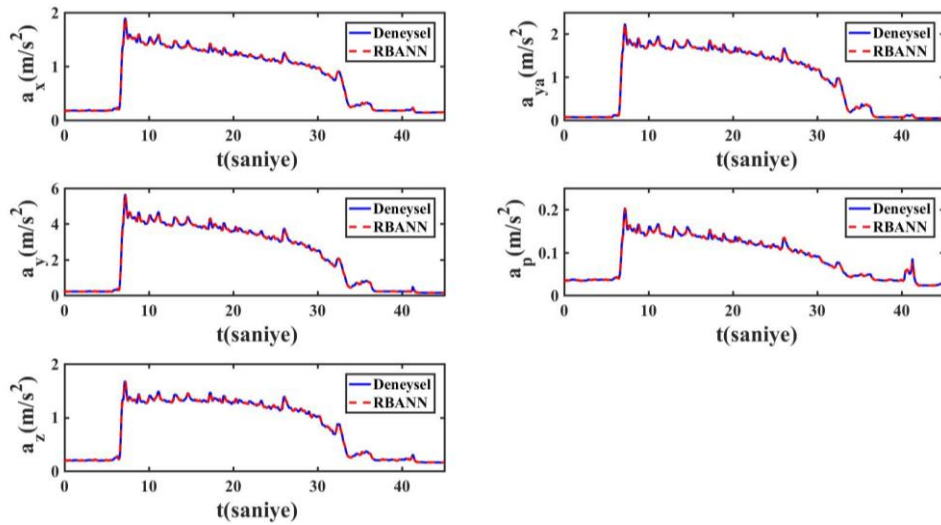


Şekil 3.19. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

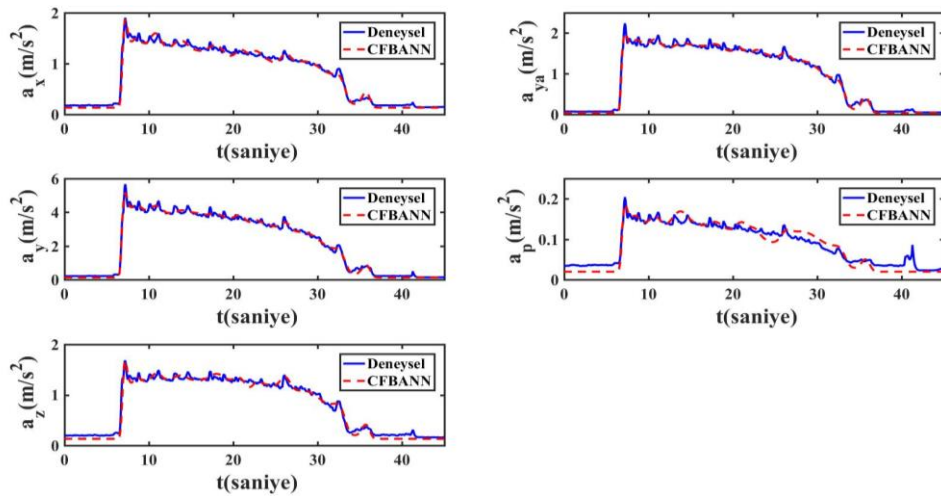


Şekil 3.20. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.19-3.20’de elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 3.3-3.4 ile karşılaştırıldığında titreşim süresinde bir değişim gözlenmezken, titreşim karakteristiğinde sürekliliğin bozulduğu görülmektedir. Bu deney şartları altında, deneysel sonuçları tahmin etmede CFBANN yapısı doğrusal cevaplar üreterek gerçek değerlerden oldukça uzak sonuçlar ortaya çıkarmıştır. RBANN algoritması ise yüksek başarılı bir öğrenme gerçekleştirmiştir.

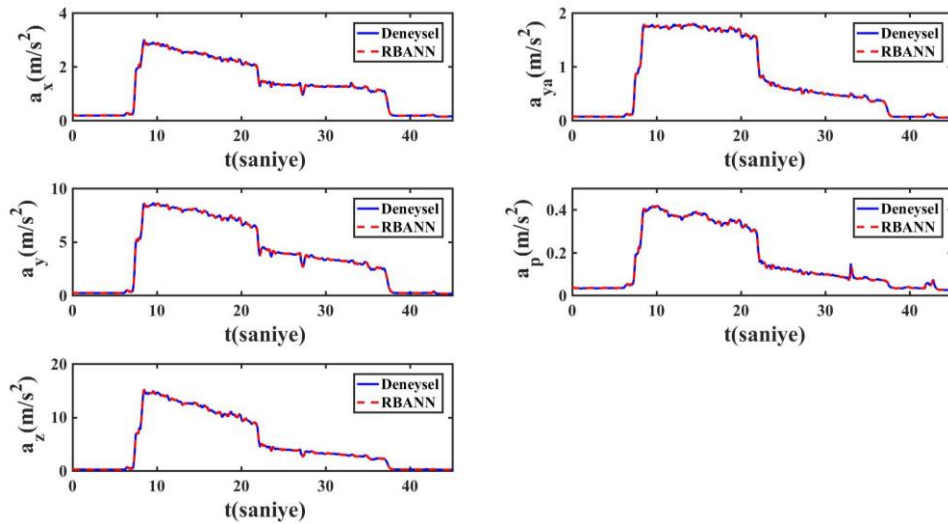


Şekil 3.21. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

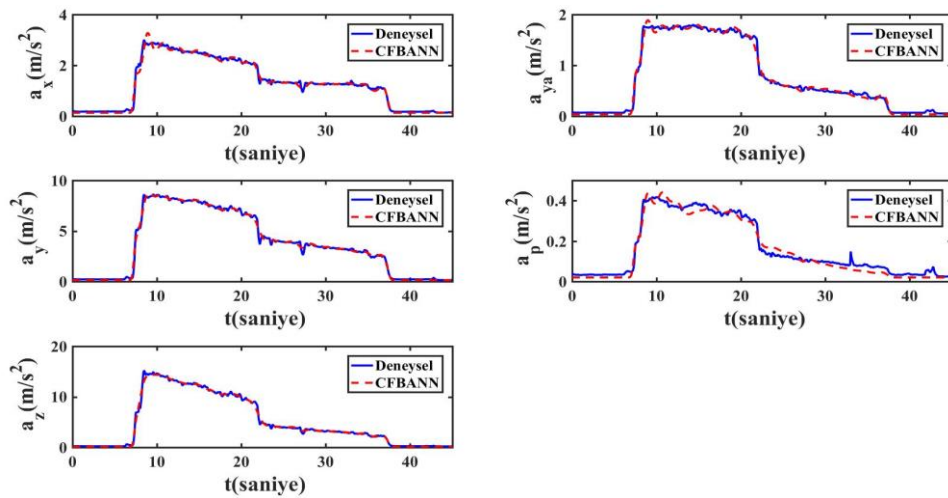


Şekil 3.22. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.17-3.18’de tanımlanmış olan işleme şartlarından sadece talaş derinliğinin iki katına çıkarılması sonucunda elde edilen titreşim verileri, Şekil 3.21-3.22’de verilmiştir. Görüldüğü gibi talaş derinliği iki kat artırıldığında, işlem süresinde ve ivme değerlerinin genliğinde bir artış olmamaktadır. Deneysel sonuçları modellemede ise RBANN ağ yapısının CFBANN ağ yapısına göre daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür.

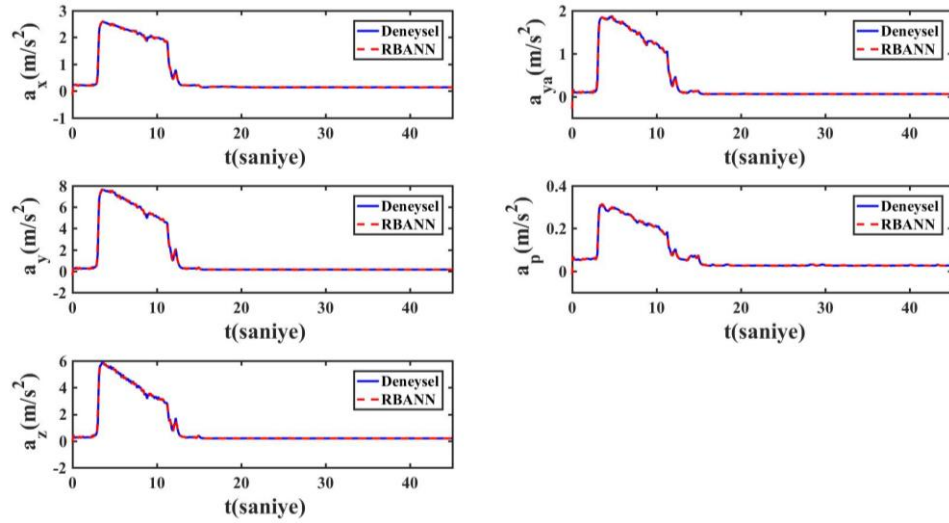


Şekil 3.23. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

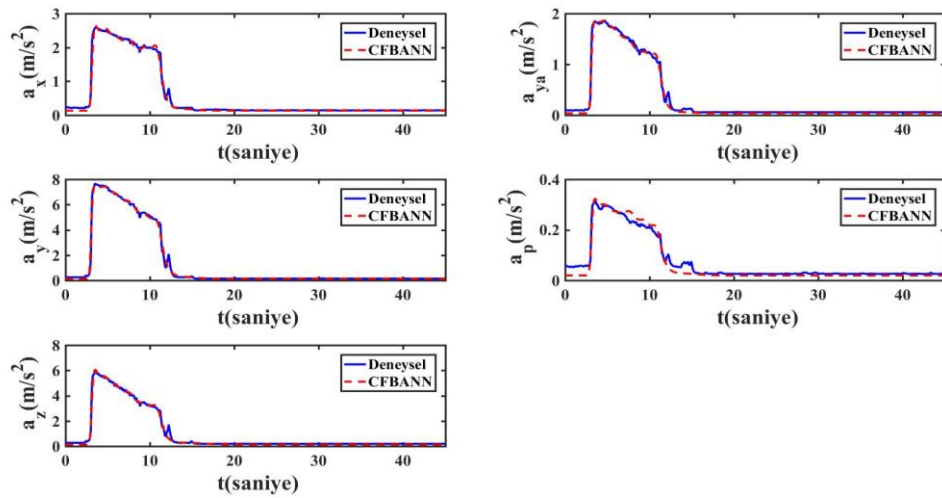


Şekil 3.24. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de elde edilen deneysel sonuçlar ile karşılaştırıldığında, İlerleme miktarının yarıya düşmesiyle titreşim değerinin ayna bölgesi y ve z eksenlerinde aşırı derecede arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen deneysel verilerin tahmin edilmesinde ise RBANN yapısı CFBANN yapısına göre daha iyi bir performans göstermiştir.

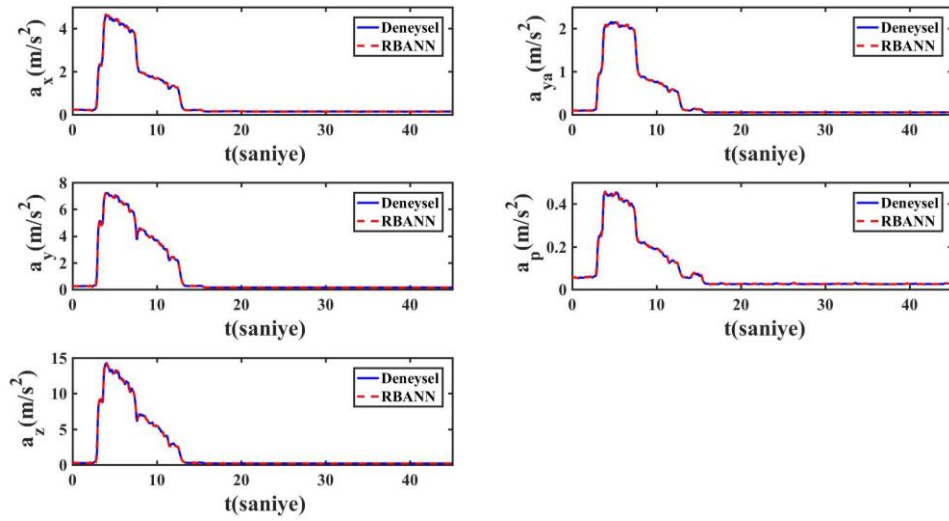


Şekil 3.25. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

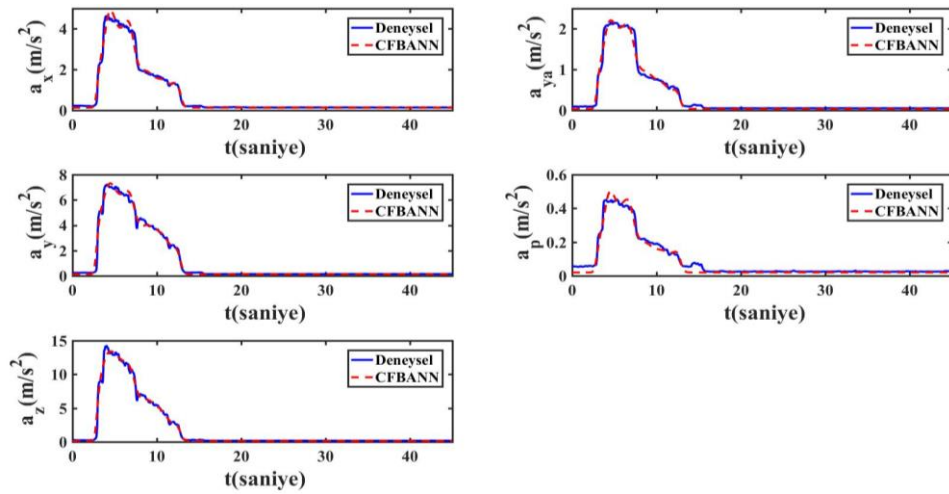


Şekil 3.26. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.25-3.26'da elde edilen veriler Şekil 3.9-3.10 ile kıyaslandığında kesici uçtaki değişimin tüm bölge ve eksenlerde ivme değerini ve işlem süresini arttırdığı gözlemlenmiştir. Elde edilen deneysel verilerin tahmin edilmesinde ise CFBANN yapısının iyi bir performans sergilediği görülmekle birlikte, RBANN öğrenme algoritmasının çıktıları ile gerçek değerlere daha yakın modellemelerin gerçekleştirilebildiği tespit edilmiştir.

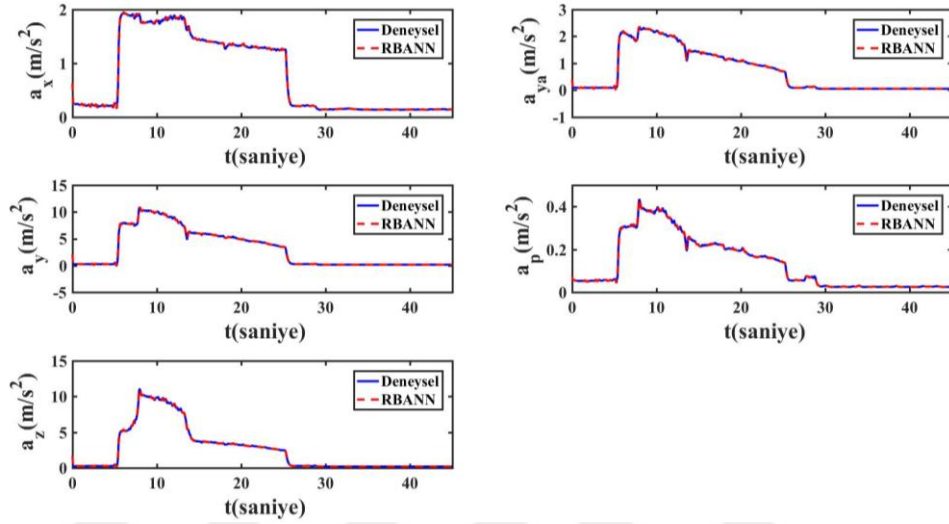


Şekil 3.27. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

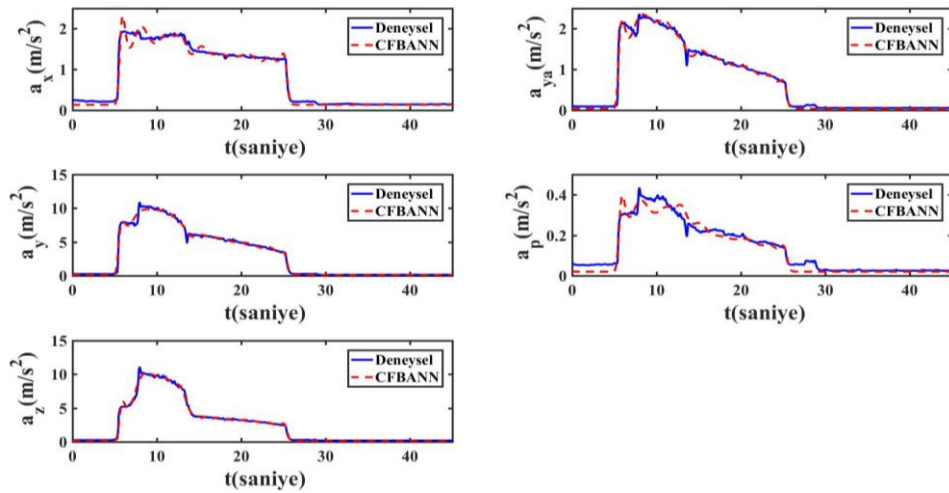


Şekil 3.28. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.27-3.28’de elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 3.11-3.12 ile mukayese edildiğinde kesici uç tipinin değiştirilmesi ile titreşimin arttırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, deneysel değerlerin tahmininde RBANN yapısının diğer ağ yapısına göre daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

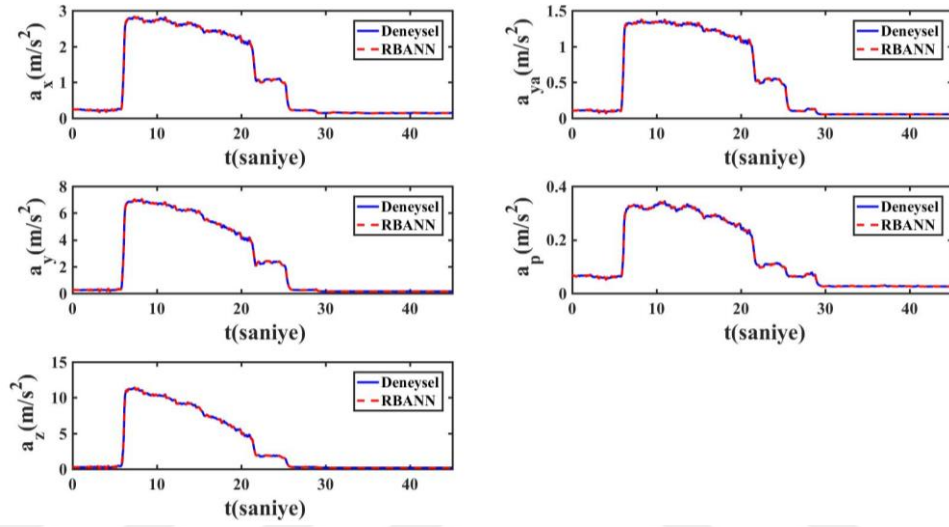


Şekil 3.29. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

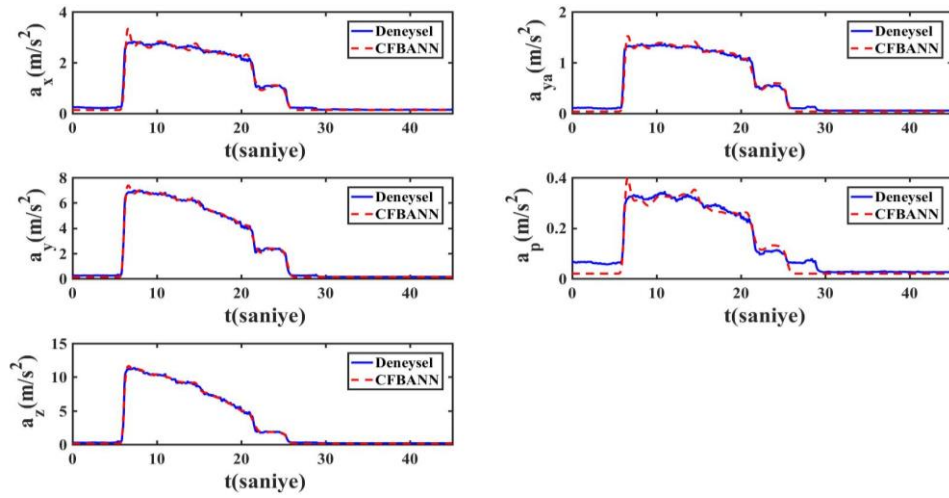


Şekil 3.30. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.29-3.30'da elde edilen deneysel veriler Şekil 3.21 ve Şekil 3.22' de elde edilen verilerle karşılaştırıldığında, artan ayna dönme devrinin işlem süresini kısalttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, ayna bölgesinde y ve z eksenlerindeki ivme değerlerinin genliğinde yüksek oranda artışların ortaya çıktığı da tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlardan, RBANN yapısının daha iyi bir modelleme performansı sergilediği görülmüştür.

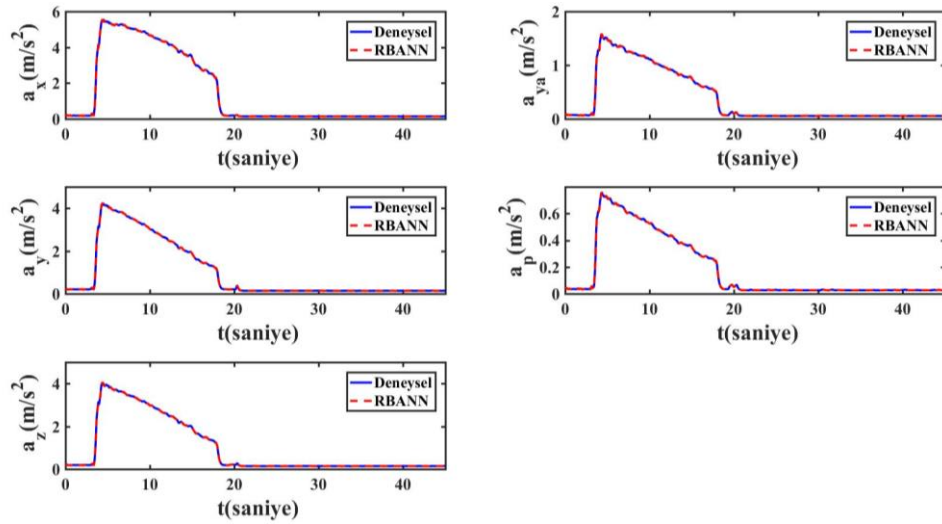


Şekil 3.31. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

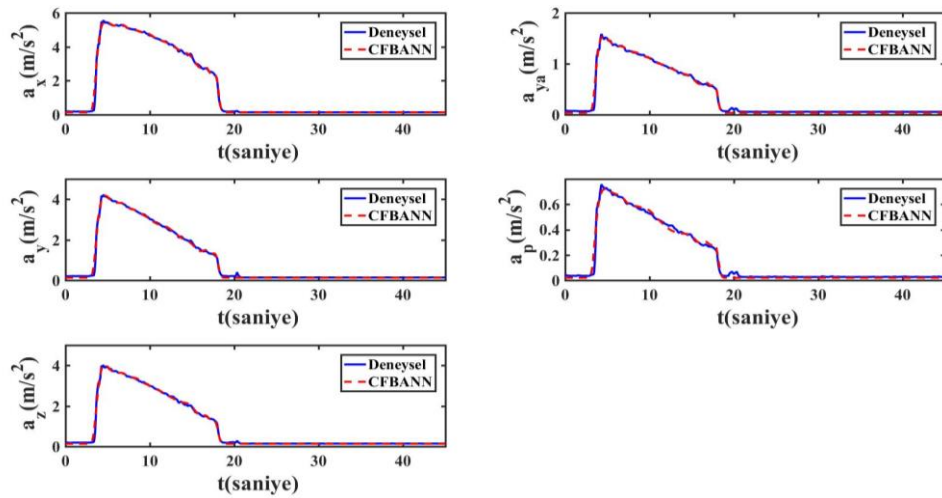


Şekil 3.32. Alüminyum malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.31-3.32’de alüminyum malzeme için son olarak elde edilen deneysel veriler sarı renkte kesici uç için aynı işleme şartlarını sağlayan Şekil 3.15-3.16 ile kıyaslandığında genel olarak ivme genliğinde daha düşük bir salınım gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca, deneysel sonuçların tahmininde CFBANN öğrenme algoritmasının RBANN öğrenme algoritmasına göre daha kötü bir performans gösterdiği de görülmektedir.



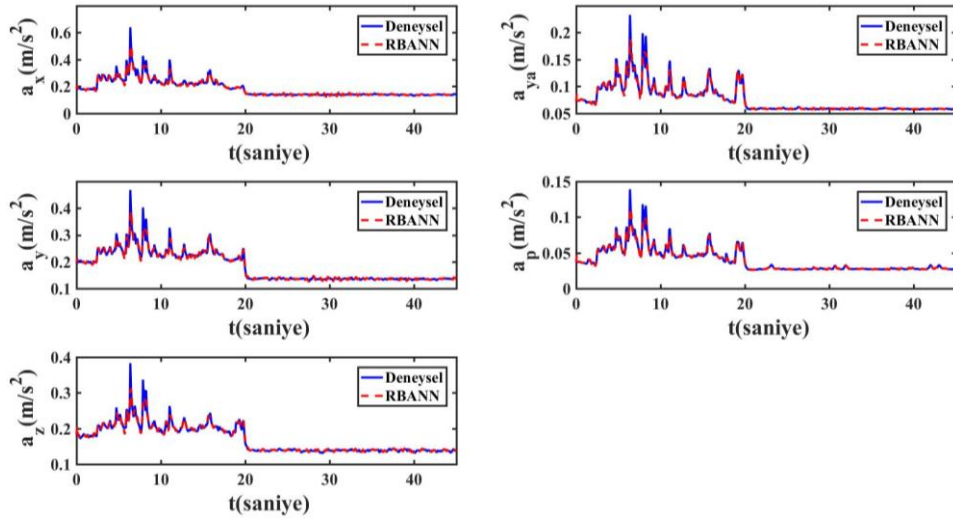
Şekil 3.33. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları



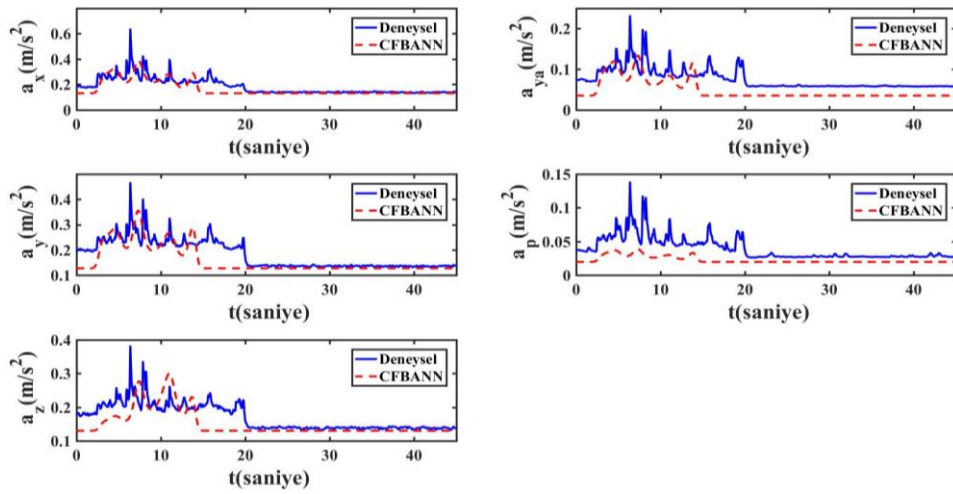
Şekil 3.34. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları



Şekil 3.33-3.34’de çelik malzeme için elde edilen veriler, aynı işlem şartlarında alüminyum malzemeye ait sonuçları gösteren Şekil 3.1-3.2 ile kıyaslandığında, tüm bölge ve eksenlerde daha fazla titreşim ortaya çıktığı görülmüştür. Bununla birlikte, Tablo 3.2’deki C1’in RMSE verisi incelendiğinde RBANN yapısının CFBANN yapısına benzer fakat biraz daha iyi bir modelleme performansı gösterdiği anlaşılmaktadır.

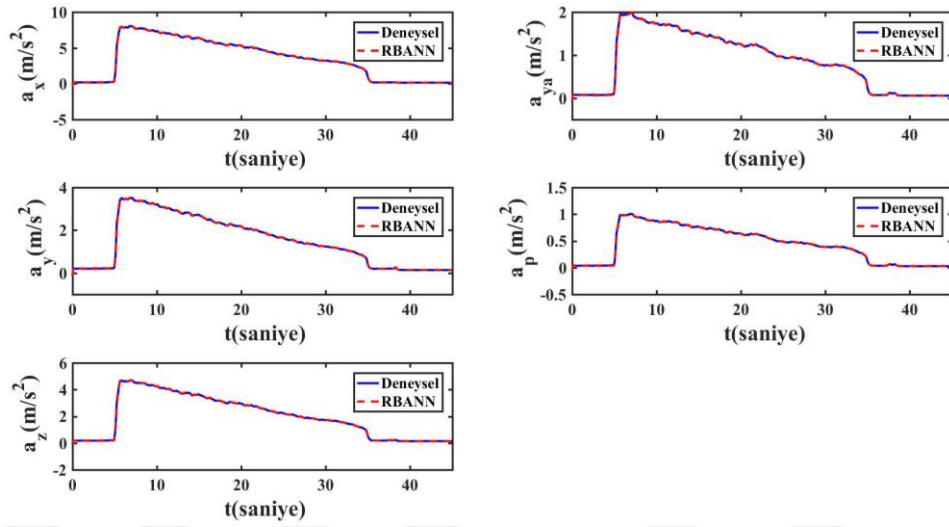


Şekil 3.35. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

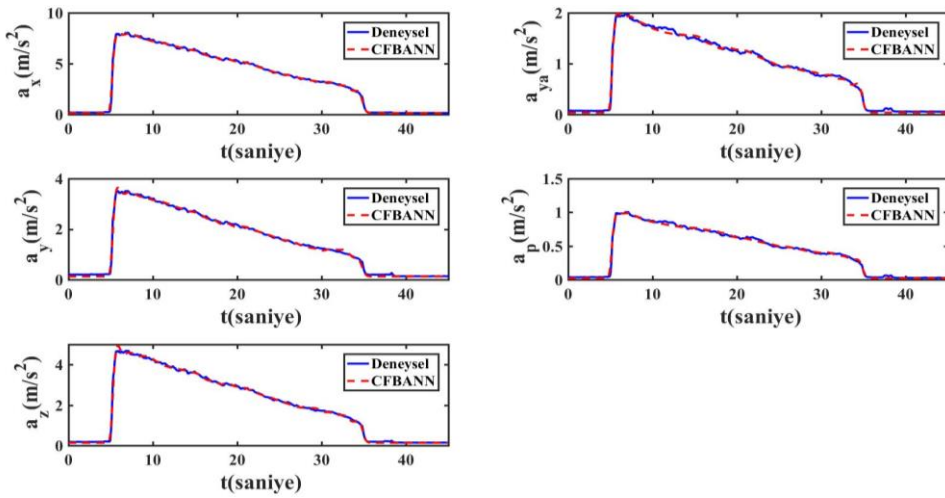


Şekil 3.36. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.35 – 3.36’da elde edilen sonuçlar Şekil 3.33-3.34 ile mukayese edildiğinde, yarıya düşen İlerleme miktarının titreşim kararlılığını olumsuz yönde etkilediği gözlemlense de ivmelenmenin tüm bölge ve eksenlerde azaldığı tespit edilmiştir. Deneysel sonuçların tahmin edilmesinde ise RBANN öğrenme algoritmasının modelleme performansının CFBANN algoritmasına göre daha iyi olduğu görülmektedir.

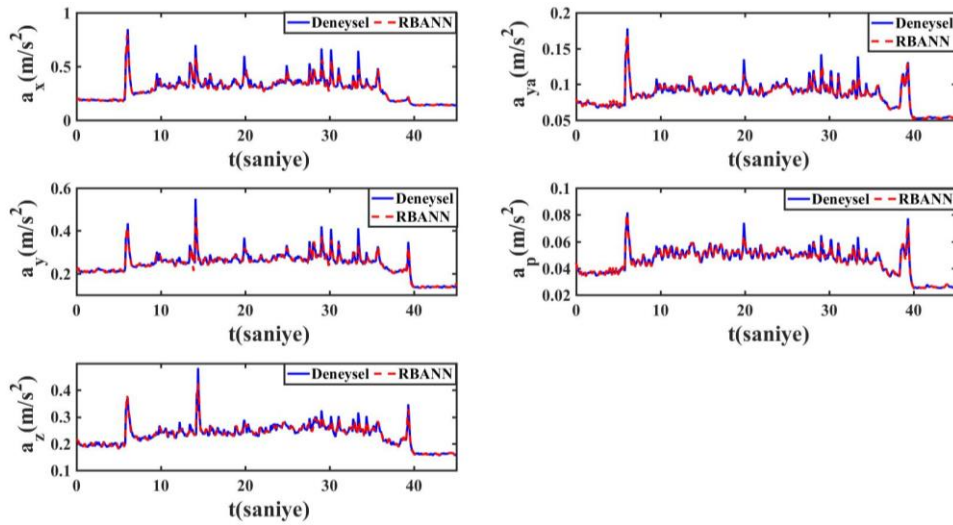


Şekil 3.37. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

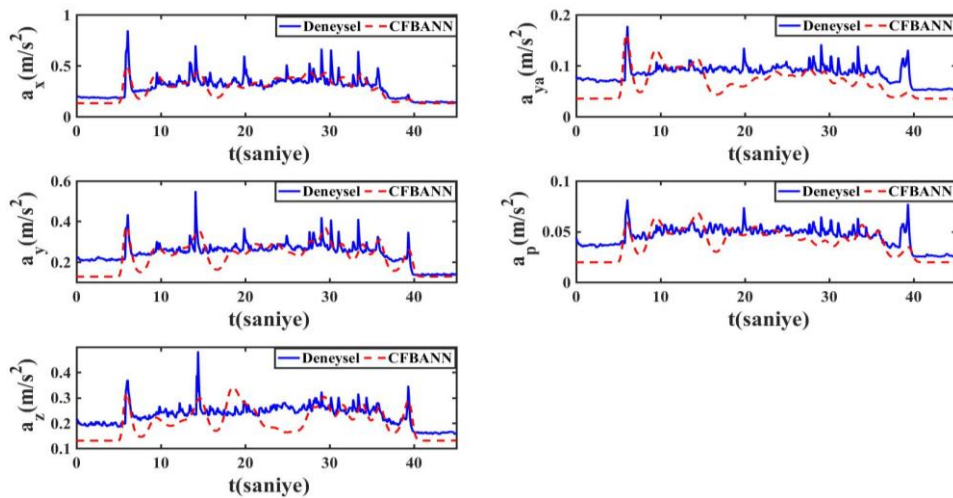


Şekil 3.38. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.37-3.38’de elde edilen deneysel çıktılar Şekil 3.33-3.34 ile kıyaslandığında talaş derinliğindeki artışın işlem süresini artırdığı görülmektedir. Ayrıca, aynı işleme şartları altında alüminyum malzeme ile karşılaştırıldığında ise titreşim genliğinde bir artışın ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. YSA tabanlı modelleme performansları Tablo 3.2 dikkate alınarak incelendiğinde, RBANN algoritmasının CFBANN algoritmasına göre yaklaşık üç kat daha iyi performans gösterdiği ifade edilebilir.

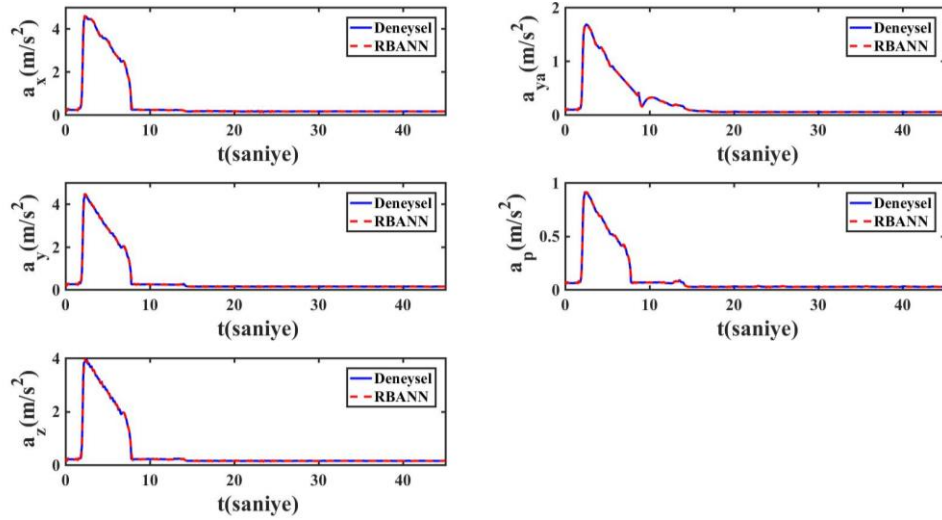


Şekil 3.39. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği:2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

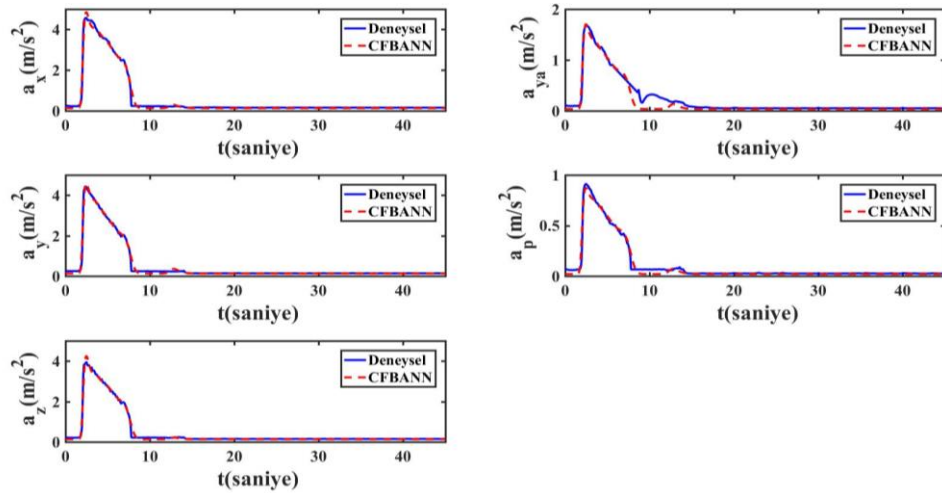


Şekil 3.40. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

Şekil 3.39-3.40'da elde edilen deneysel veriler Şekil 3.37-3.38'de elde edilen veriler ile mukayese edildiğinde yarıya düşen İlerleme miktarı değerinin titreşim kararlılığını etkilediği ve ivmelenme genliğini azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, elde edilen deneysel sonuçların tahmininde CFBANN yapısının diğer ağ yapısına göre daha düşük bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

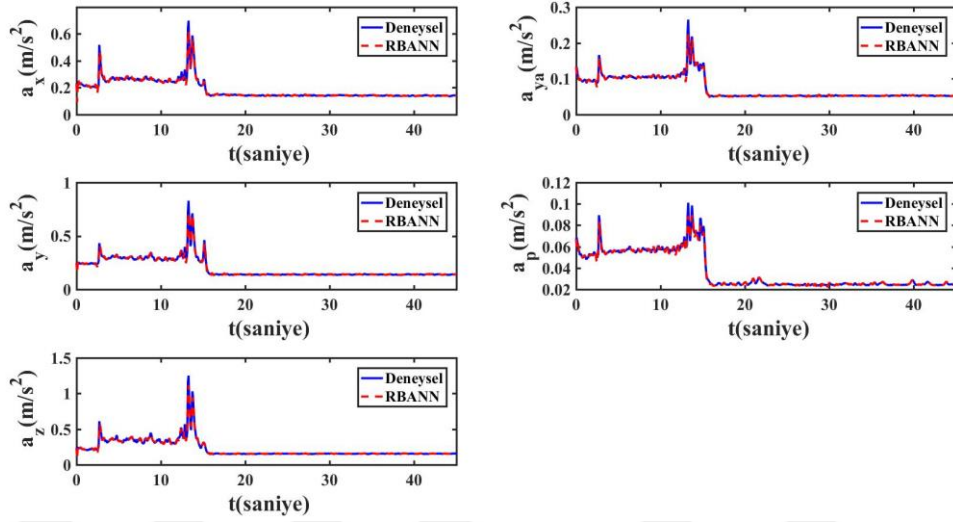


Şekil 3.41. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

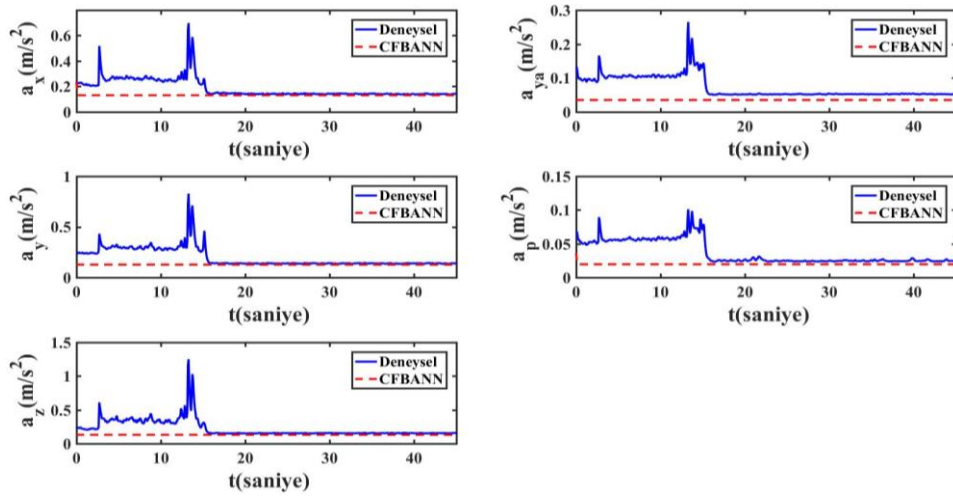


Şekil 3.42. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 41-42’de elde edilen deneysel veriler Şekil 33-34’de elde edilen verilerle kıyaslandığında 1.5 kat artan ayna dönme devrinin işlem süresini azalttığı gözlemlenmiştir. Deneysel verileri tahmin etmede kullanılan ağ yapılarından RBANN yapısının, Tablo 3.2’deki C5 verileri de dikkate alınarak, diğer ağ yapısından yaklaşık 3.5 kat daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

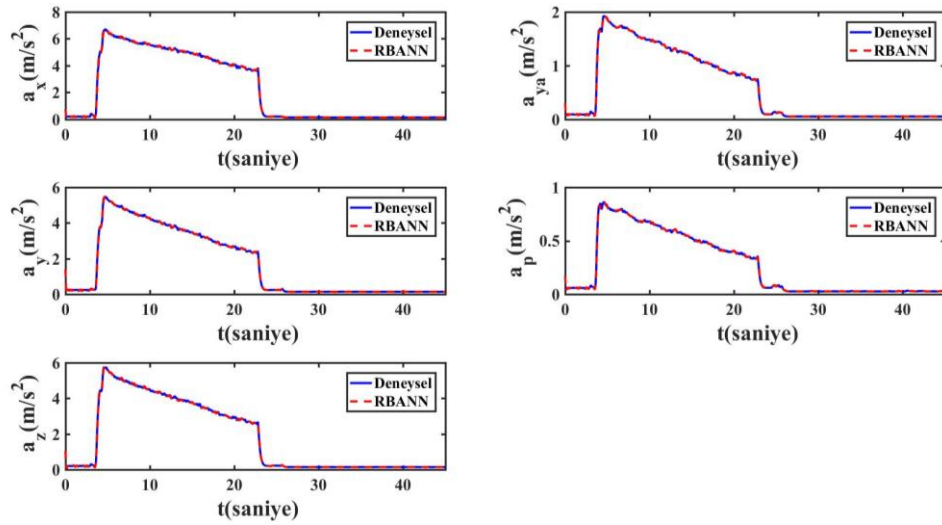


Şekil 3.43. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

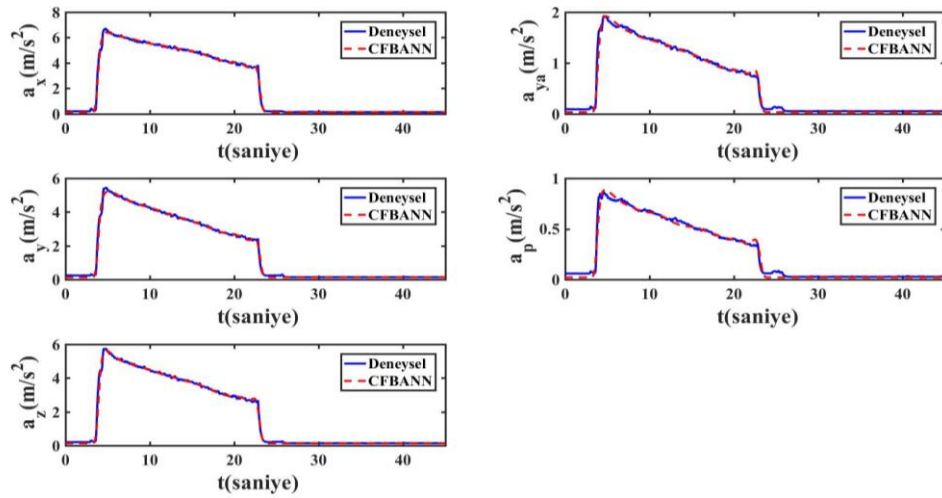


Şekil 3.44. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.43-3.44'te elde edilen deneysel veriler Şekil 3.41-3.42'de elde edilen verilerle kıyaslandığında yarıya düşen ivmelenme değerinin diğer çelik deneylerinde olduğu gibi titreşim karakteristiğini etkilediği ve azalttığı gözlemlenmiştir. Deneysel verileri modellemede kullanılan CFBANN ağ yapısının arzu edilenden oldukça uzak doğrusal bir tahminleme yaparak kötü bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

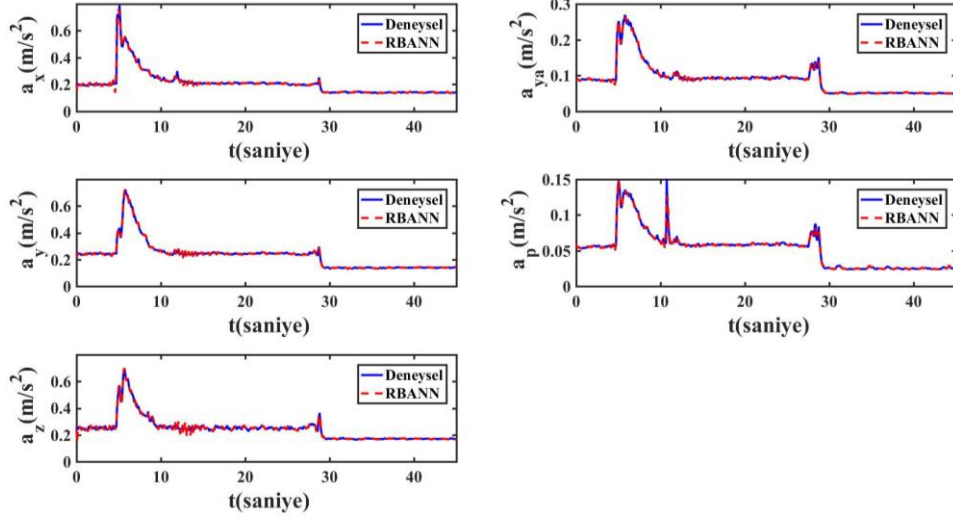


Şekil 3.45. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

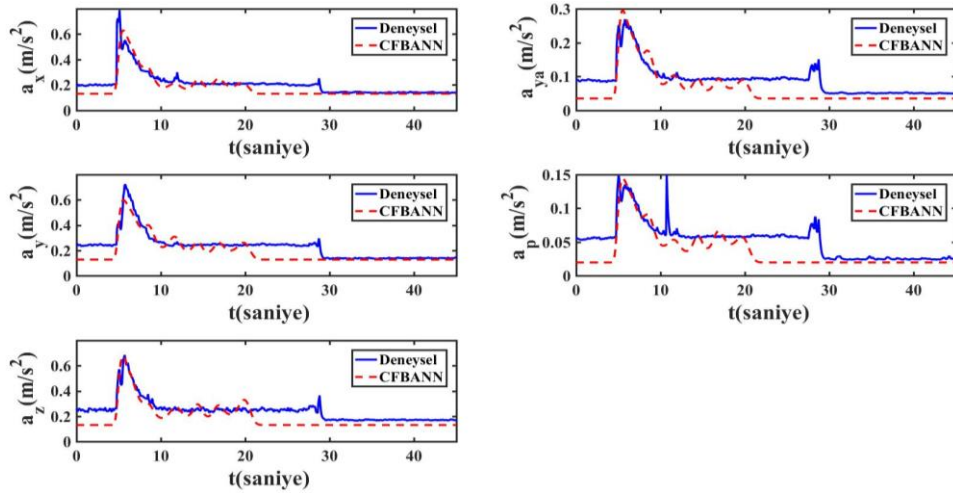


Şekil 3.46. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.45-3.46'da elde edilen deneysel veriler Şekil 3.41-3.42 ile mukayese edildiğinde 2 kat artan talaş derinliği, işlem süresinin yaklaşık 1.5 kat artmasına sebep olmuştur. Deneysel verileri tahmin etmek için kullanılan iki farklı YSA yapısından RBANN yapısının, Tablo 3.2'deki C7 değerleri de göz önünde bulundurulduğunda, diğer ağ yapısına göre yaklaşık 2 kat daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

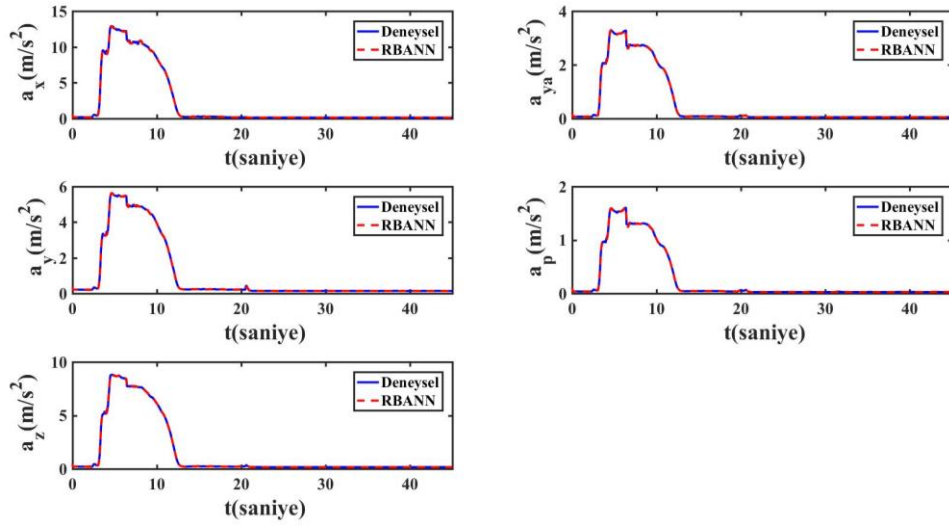


Şekil 3.47. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

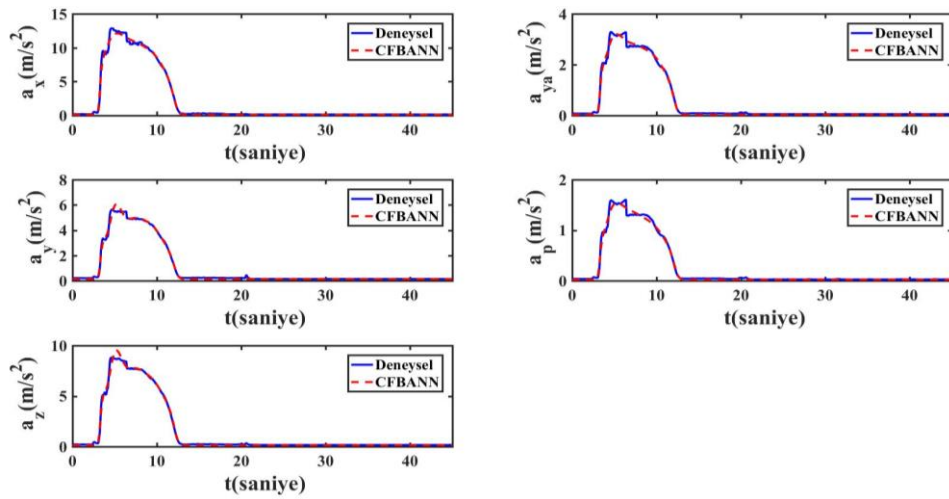


Şekil 3.48. Çelik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.47-3.48’de elde edilen deneysel veriler Şekil 3.45-3.46’da elde edilen deneysel verilerle kıyaslandığında yarıya düşürülen İlerleme miktarı değeri titreşim karakteristiğini etkileyerek ivmelenme genliğini önemli oranda azaltmıştır. Deneysel verilerin YSA tabanlı tahmin edilmesinde ise RBANN yapısının iyi bir performans, CFBANN yapısının ise kötü bir performans gösterdiği görülmüştür.



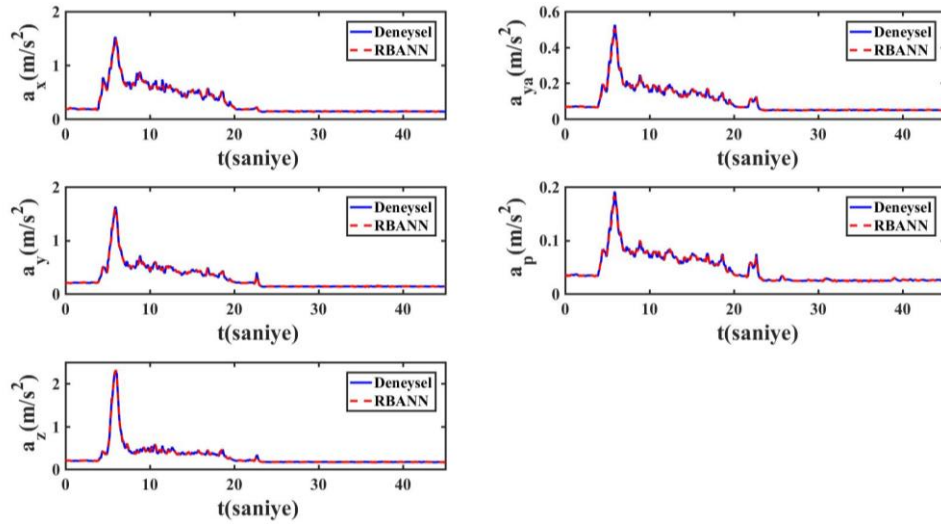
Şekil 3.49. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları



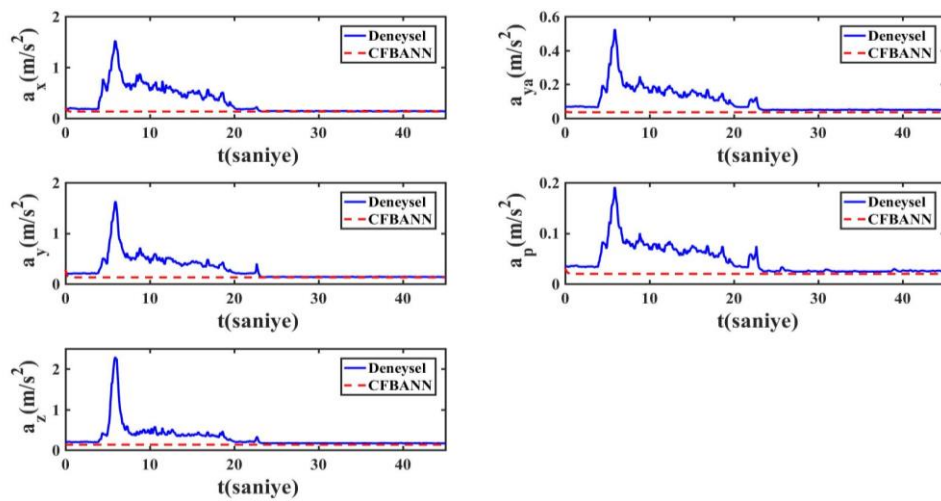
Şekil 3.50. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları



Şekil 3.49-3.50'de elde edilen deneysel veriler çelik malzemede farklı kesici uçta elde edilen ilk deneydir. Şekil 3.17-3.18'de aynı işleme şartlarında olan alüminyum malzeme ile kıyaslandığında malzeme değişikliğinden kaynaklı tüm bölge ve eksenlerde aşırı titreşim artışı gözlemlenmiştir. Deneysel verilerin tahmininde Tablo 3.2 yardımıyla da RBANN yapısının daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

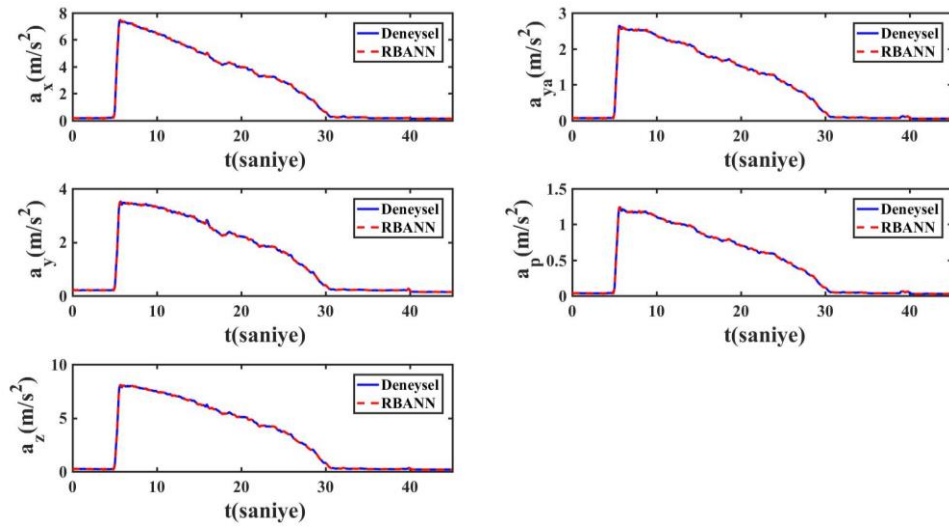


Şekil 3.51. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

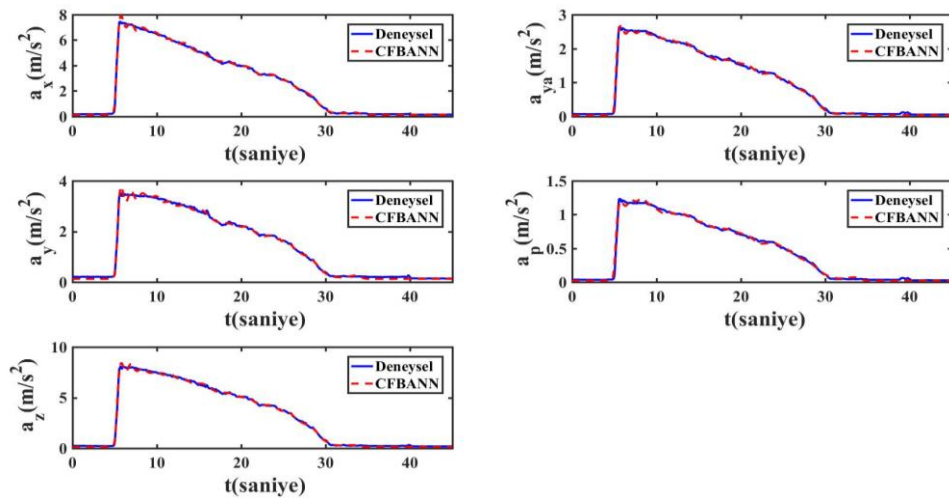


Şekil 3.52. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.51-3.52’de elde edilen deneysel veriler Şekil 3.35-3.36’da elde edilen deneysel verilerle kıyaslandığında ise değişen kesici ucun ivmelenme genliğinde azda olsa bir artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel verilerin tahmininde ise CFBANN yapısının doğrusal modellemeler yaparak kötü bir performans gösterdiği, RBANN yapısının ise ilgili işleme şartları altında iyi bir modelleme performansına sahip olduğu görülmektedir.

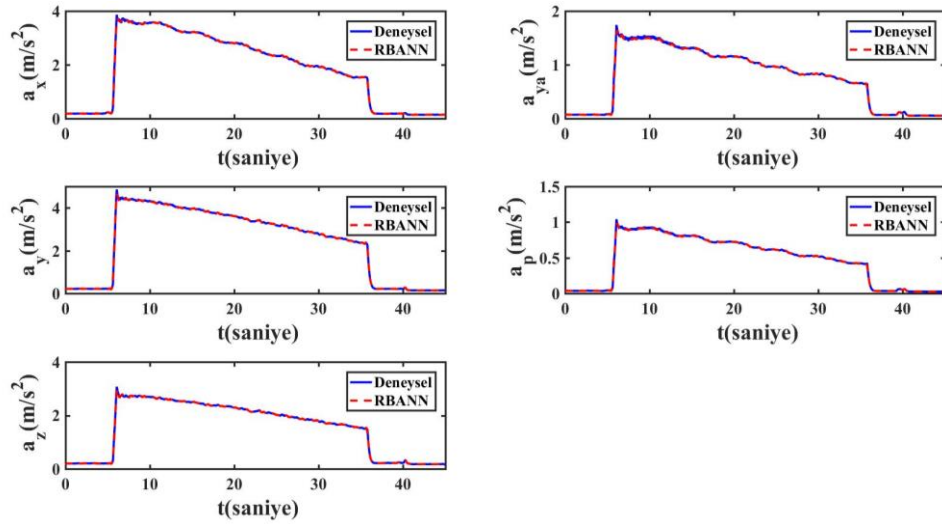


Şekil 3.53. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

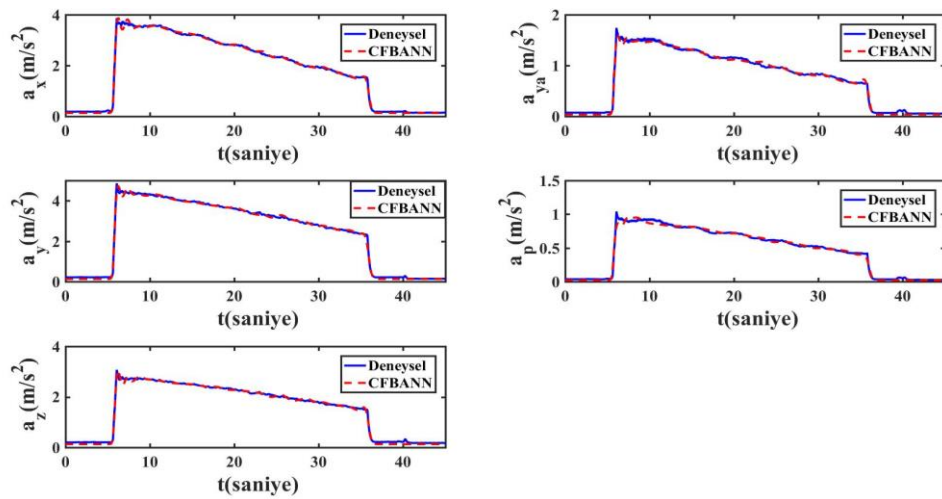


Şekil 3.54. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.53-3.54'de elde edilen deneysel veriler Şekil 3.49-3.50'de elde edilen deneysel verilerle kıyaslandığında iki katına çıkan talaş derinliği değerinin işlem süresini yaklaşık iki katına çıkardığı gözlemlenmektedir. Deneysel verileri tahmin etmede kullanılan RBANN yapısının, Tablo 3.2 aracılığıyla da desteklendiğinde, diğer ağ yapısından yaklaşık 4 kat daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

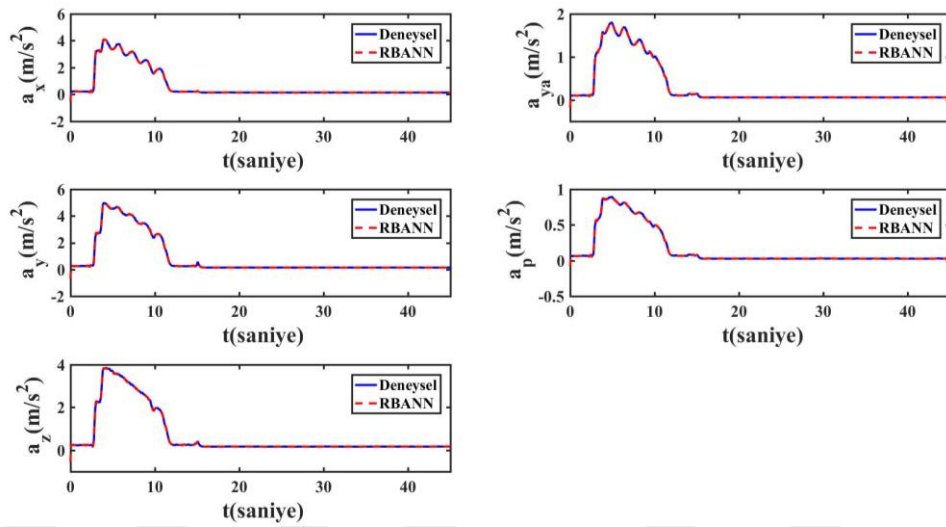


Şekil 3.55. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

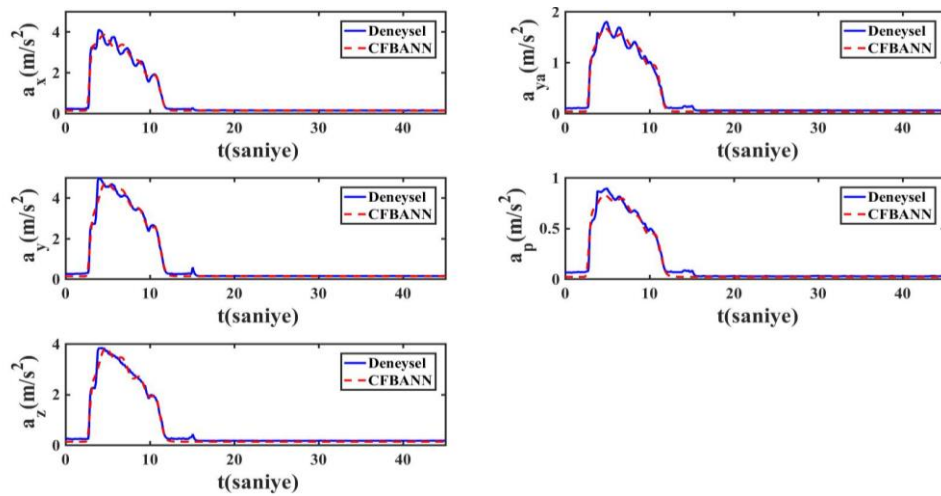


Şekil 3.56. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.55-3.56’da ilgili işleme şartlarında elde edilen titreşim verileri Şekil 3.53-3.54 ile elde edilen veriler ile mukayese edildiğinde, yarıya düşen İlerleme miktarı değerinin ivmelenme genliğinde önemli ölçüde düşüşe sebebiyet verdiği görülmüştür. Deneysel verilerin tahmininde RBANN yapısının diğer ağ yapısına göre daha iyi bir performans gösterdiği hem titreşim grafiklerinden hem de Tablo 3.2’den gözlemlenebilmektedir.

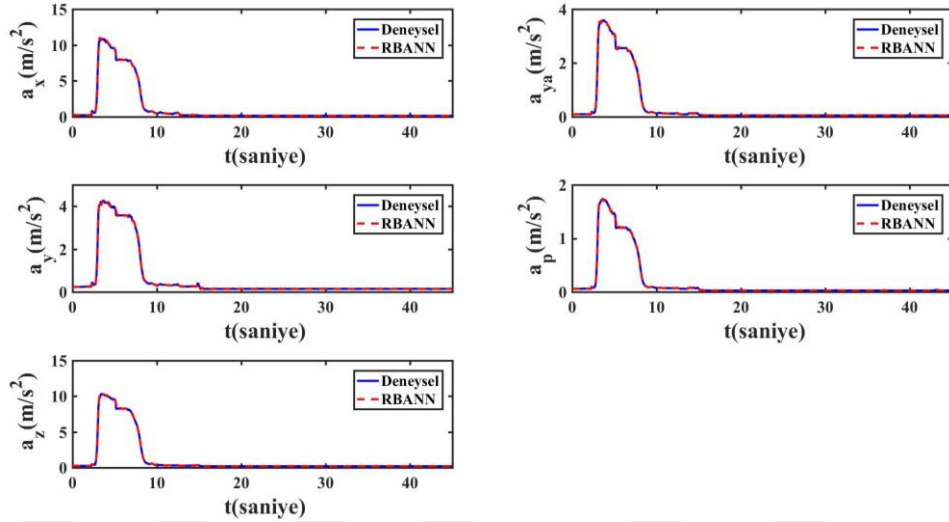


Şekil 3.57. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

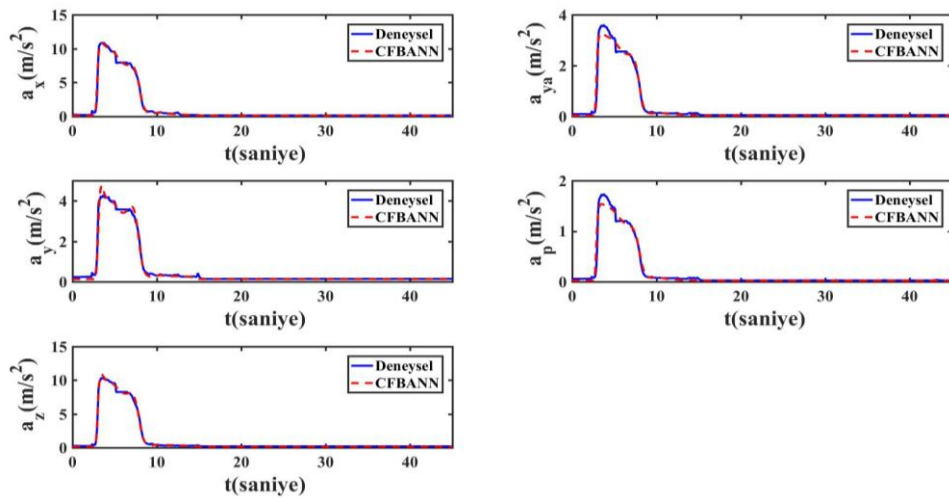


Şekil 3.58. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.57-3.58’ de elde edilen deneysel veriler Şekil 3.49-3.50’de elde edilen deneysel verilerle kıyaslandığında artan ayna dönme devrinin çelik malzeme için titreşimi azalttığı gözlemlenebilmektedir. Deneysel verileri tahmin etmede CFBANN yapısının diğer ağ yapısına göre Tablo 3.2’den de tespit edilebileceği üzere daha kötü bir performans gösterdiği ifade edilebilir.

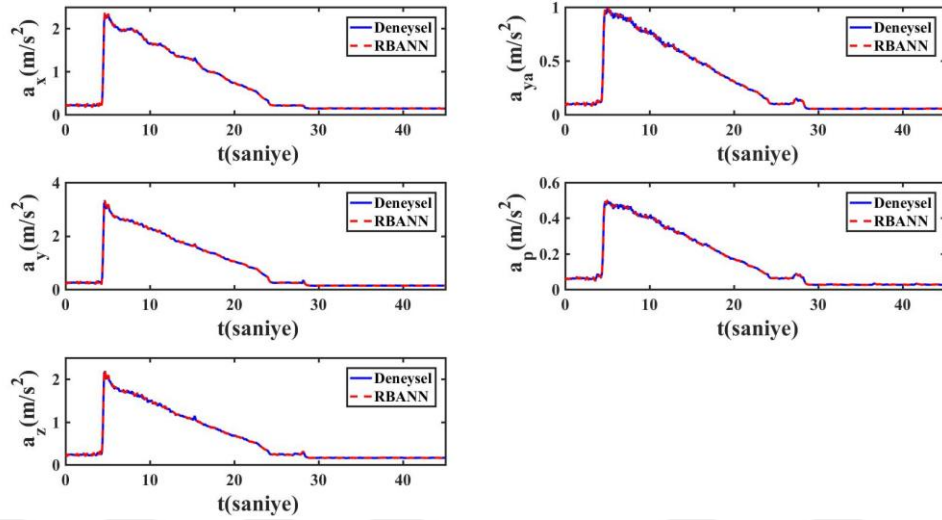


Şekil 3.59. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

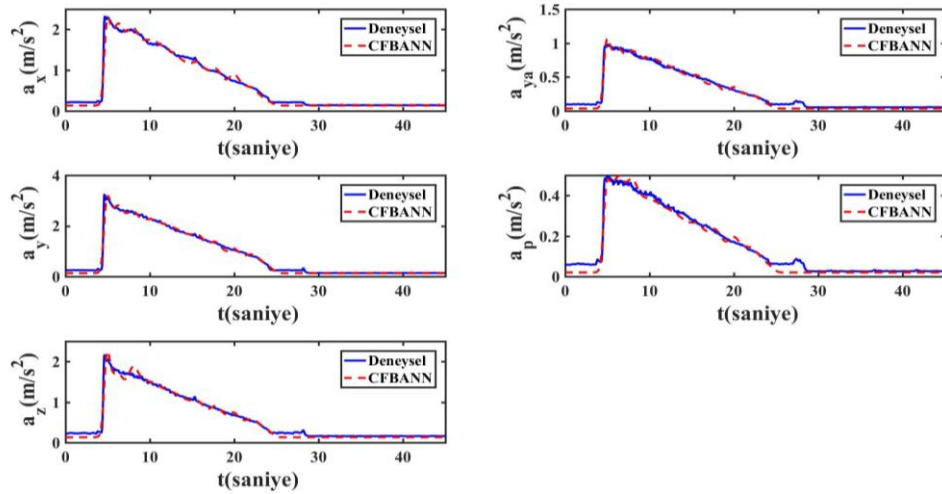


Şekil 3.60. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.59 ve Şekil 3.60’da elde edilen deneysel veriler Şekil 3.51-3.52’de elde edilen verilerle karşılaştırıldığında ise sadece ayna dönme devrinde gerçekleşen artışın tüm bölge ve eksenlerde ivmelenme genliğinde bir artışa sebep olduğu gözlemlenebilmektedir. İşlem süresinde de gözle görülür bir azalma söz konusudur. Deneysel verilerin tahmininde ise Tablo 3.2 destekli analiz sonucu RBANN yapısı oldukça iyi bir performans göstermiştir.

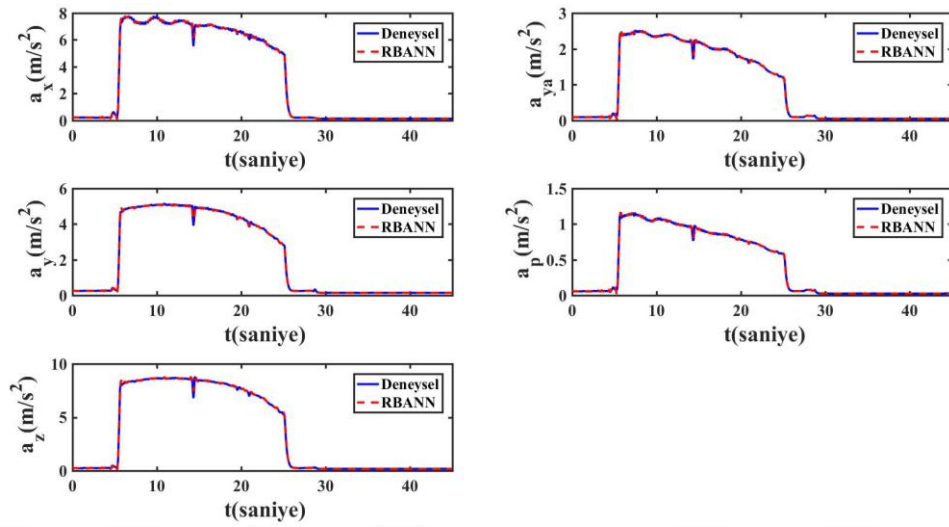


Şekil 3.61. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

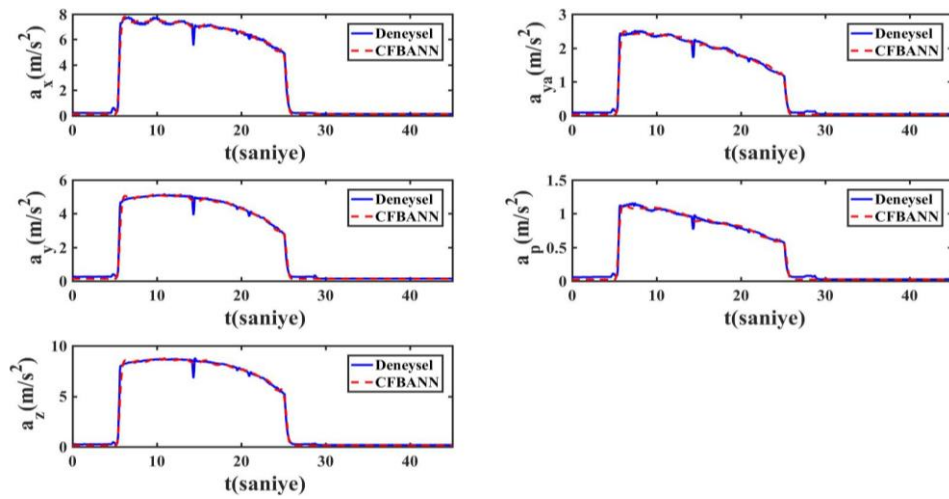


Şekil 3.62. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.61-3.62’de elde edilen deneysel veriler farklı kesici uçta aynı işleme şartları altında Şekil 3.45-3.46 ile kıyaslandığında ivmelenme genliği açısından tüm bölge ve eksenlerde önemli oranda bir düşüş gözlenmektedir. Yani bu işleme şartlarında siyah renkteki kesici uç daha az titreşim oluşturmuştur. Deneysel verileri tahmin etmede ise RBANN yapısının diğer ağ yapısına göre oldukça iyi bir performans gösterdiği gözlenmektedir.

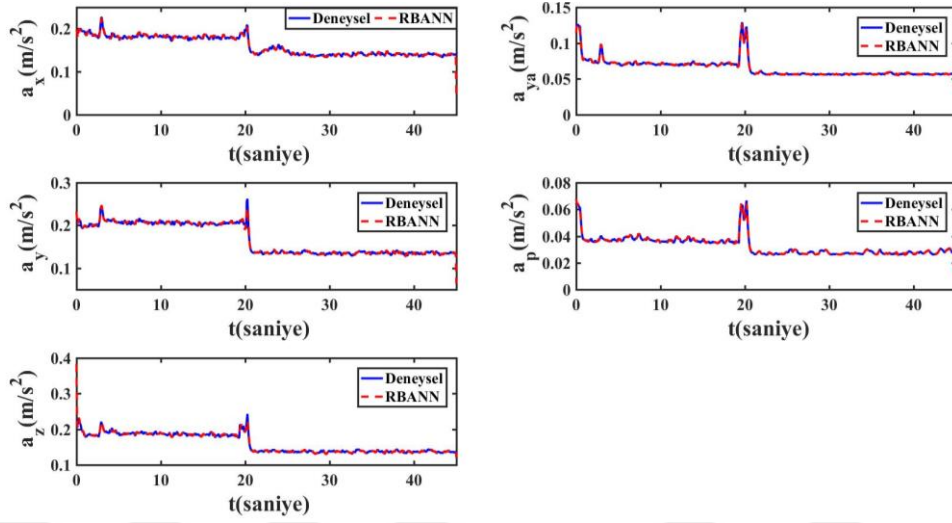


Şekil 3.63. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

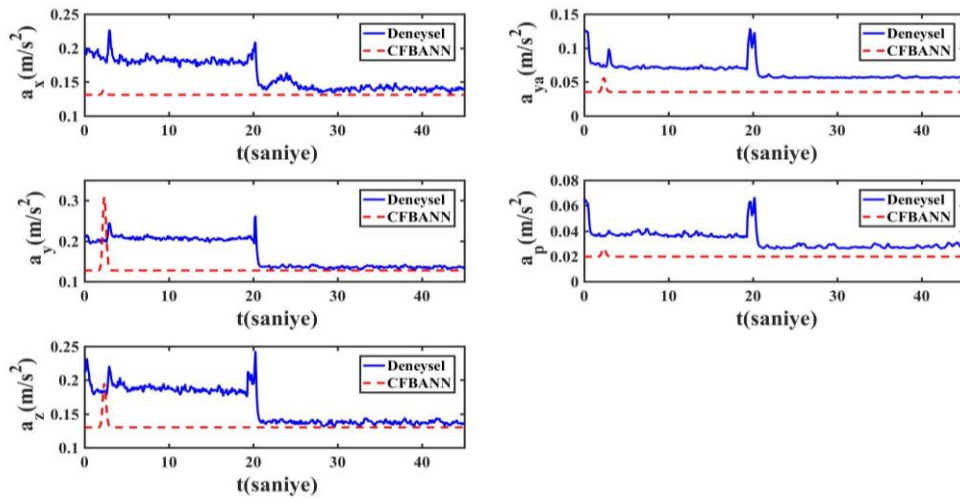


Şekil 3.64. Çelik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.63-3.64'te elde edilen deneysel veriler çelik malzeme için elde edilen son verilerdir. Aynı işleme koşullarında Şekil 3.31-3.32'deki alüminyum malzeme ile karşılaştırıldığında titreşim değerinde tüm bölge ve eksenlerde önemli bir artış gözlemlenmektedir. Elde edilen deneysel verileri tahmin etmede ise Tablo 3.2 destekli analiz sonucu CFBANN yapısının diğer ağ yapısına göre daha kötü bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.



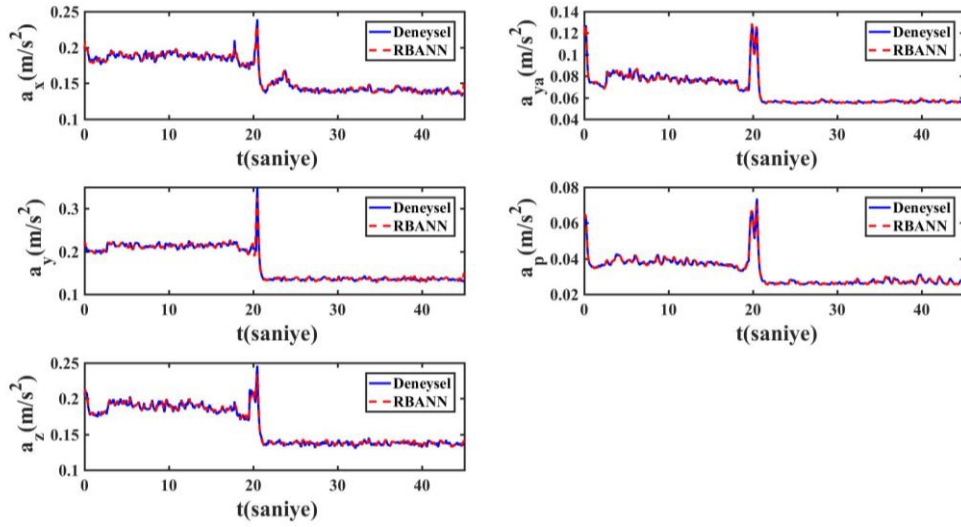
Şekil 3.65. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları



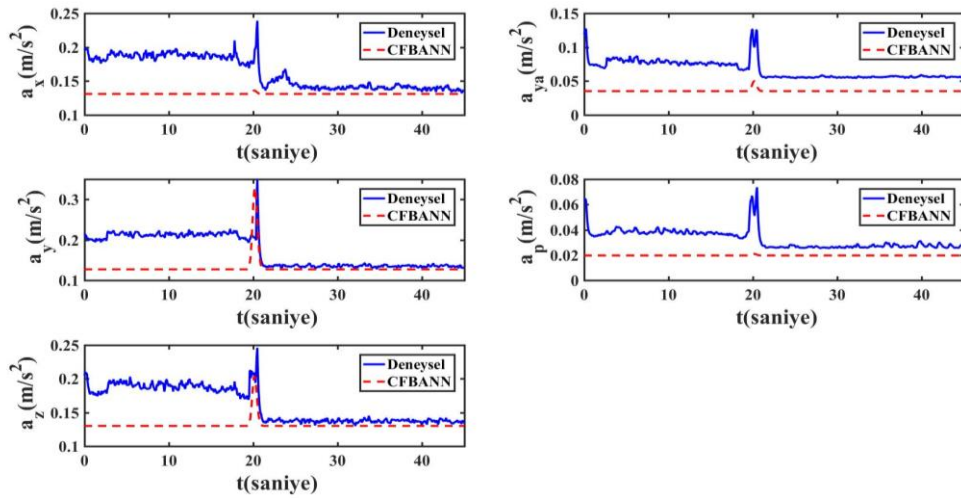
Şekil 3.66. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları



Şekil 3.65-3.66'da elde edilen deneysel veriler plastik malzeme için elde edilen ilk verilerdir. Bu işleme şartları alüminyum ve çelik malzeme ile kıyaslandığında plastik malzemenin her ikisine göre düşük titreşim ürettiği gözlemlenebilmektedir. Deneysel verileri tahmin etmede CFBANN yapısı doğrusal tahminleme yaparak kötü bir performans sergilerken RBANN yapısı başarılı bir modelleme gerçekleştirebilmektedir.

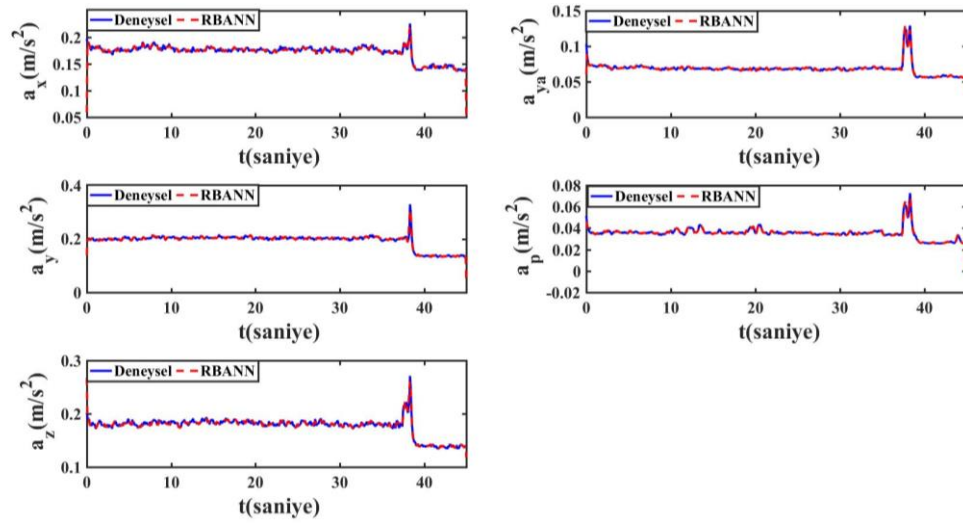


Şekil 3.67. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

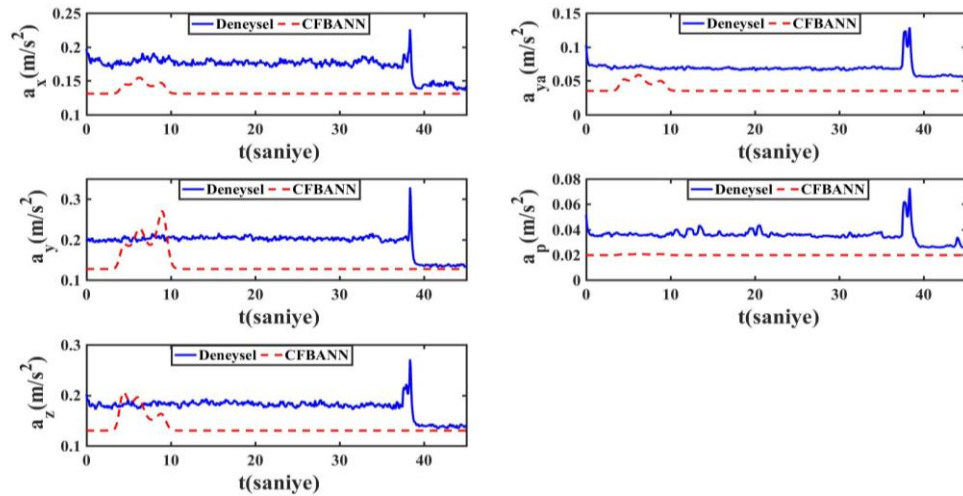


Şekil 3.68. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.67-3.68’de plastik malzeme için elde edilen deneysel veriler incelendiğinde alüminyum ve çelik malzemede gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre ivmelenme genliğinin oldukça az olduğu görülmektedir. Deneysel sonuçları tahmin etmede kullanılan YSA yapılarından RBANN yapısı diğer ağ yapısına göre oldukça iyi bir performans göstermiştir. Titreşim değerinin az olması CFBANN ağ yapısının performansını olumsuz yönde etkilemiştir.

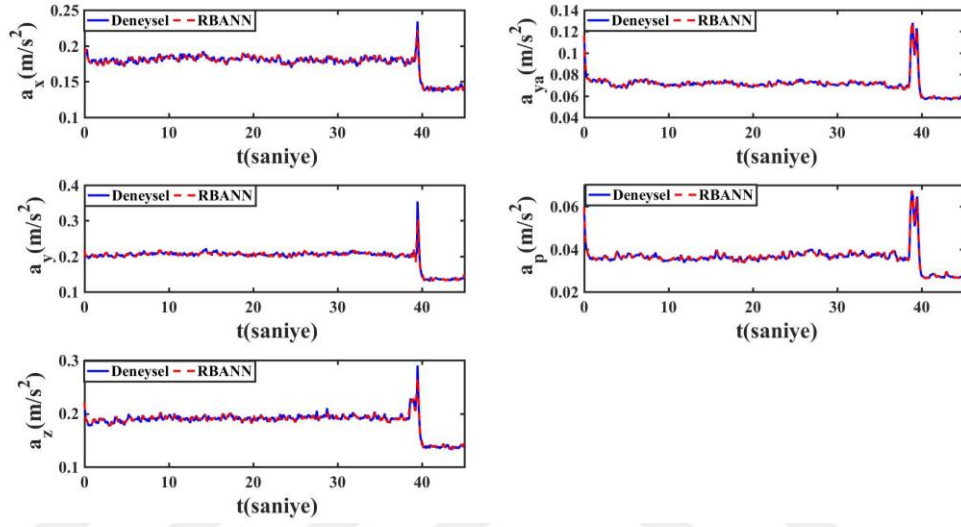


Şekil 3.69. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

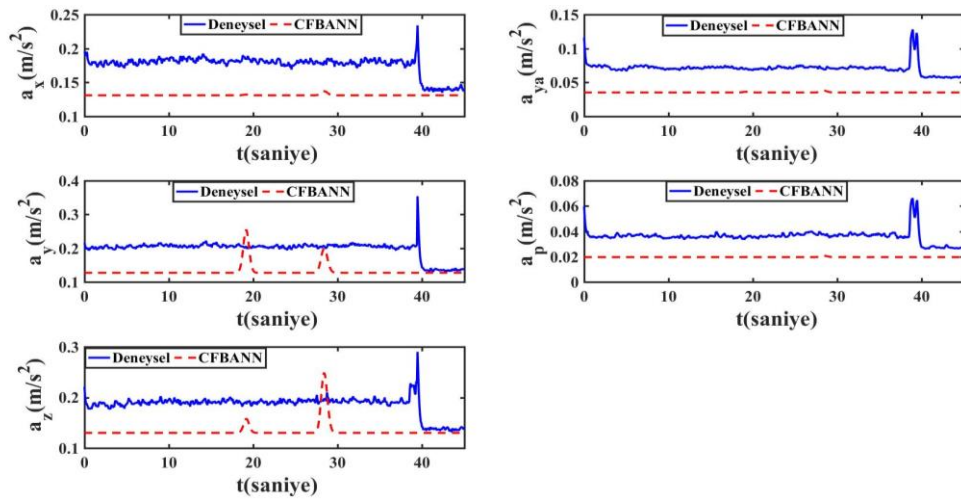


Şekil 3.70. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.69-3.70'de elde edilen titreşim verileri ile Şekil 3.65-3.66'da elde edilen veriler mukayese edildiğinde iki katına çıkan talaş derinliği değerinin işlem süresini yaklaşık iki kat arttırdığı gözlemlenirken, titreşim değerleri arasında belirgin bir fark bulunmadığı ortaya çıkmıştır. Deneysel verileri tahmin etmede CFBANN yapısı diğer ağ yapısına göre daha kötü bir modelleme performansı göstermiştir.

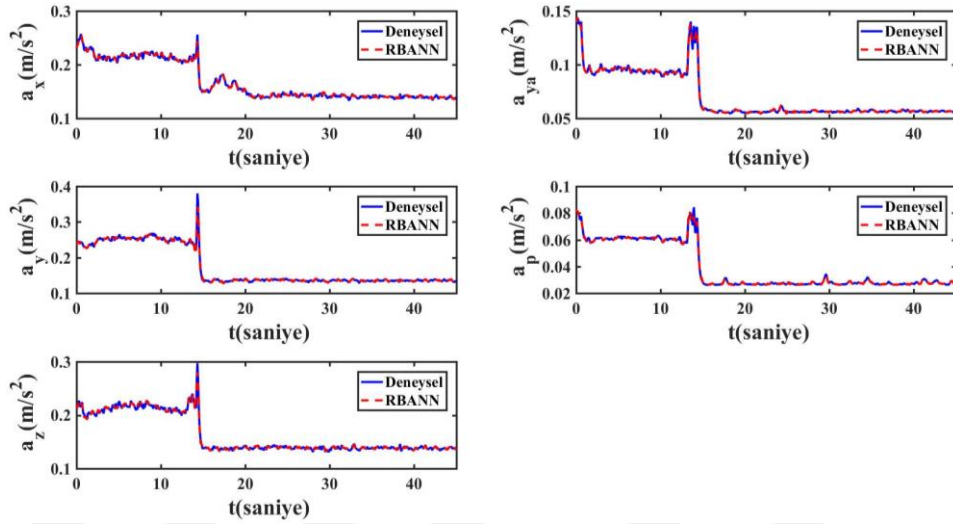


Şekil 3.71. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

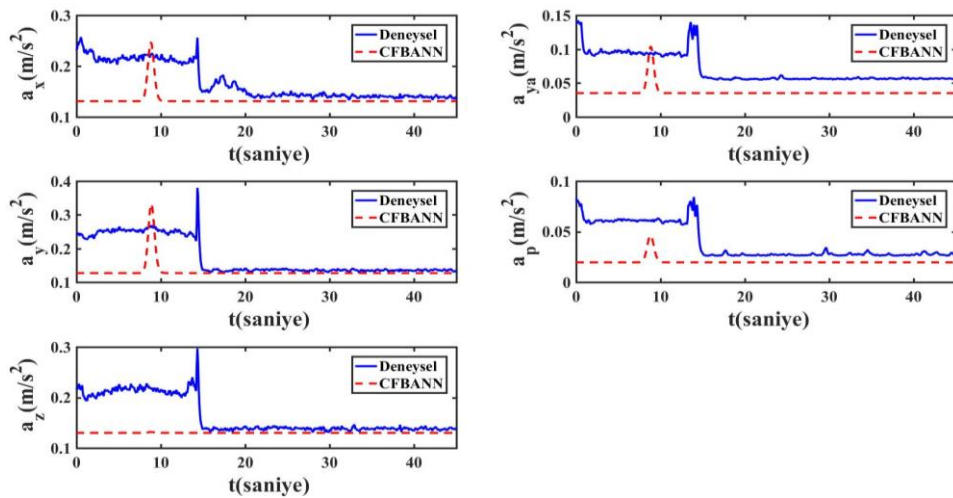


Şekil 3.72. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.71-3.72’de elde edilen deneysel veriler aynı işleme şartlarında diğer malzemelerin deneysel verileriyle kıyaslandığında ivmelenme genliğinin oldukça düşük olduğu gözlemlenmektedir. Deneysel verilerin tahmininde ise titreşim değerinin çok düşük olmasından dolayı CFBANN yapısının diğer ağ yapısına göre daha kötü bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

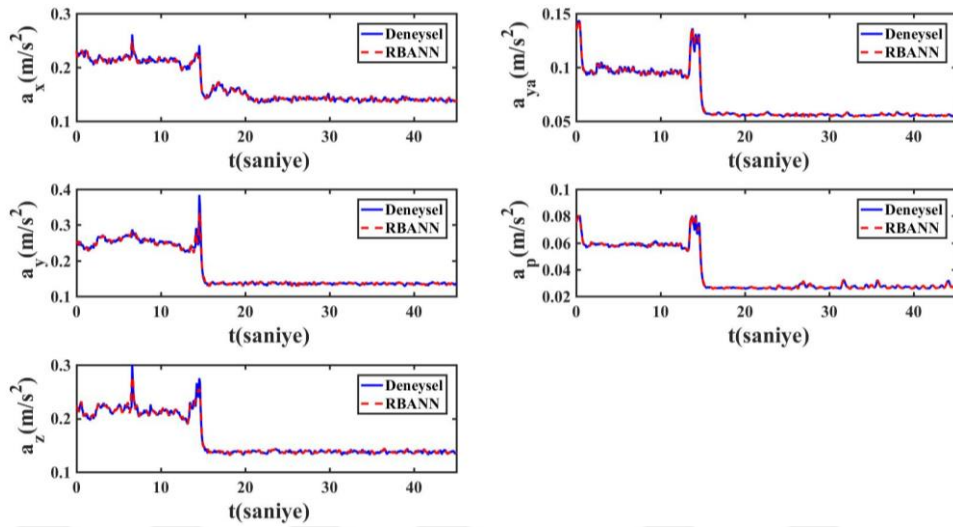


Şekil 3.73. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

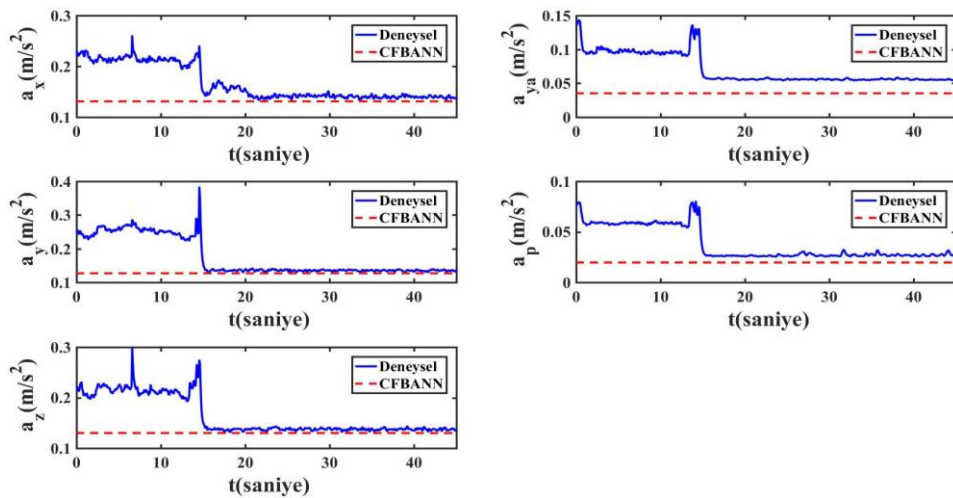


Şekil 3.74. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.73-3.74'te elde edilen deneysel veriler Şekil 3.65-3.66'da elde edilen veriler ile karşılaştırıldığında ise 1.5 kat artan ayna dönme devrinin titreşim üzerinde belirgin bir etki oluşturmamakla birlikte işlem süresinde bir azalmaya yol açtığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, ilgili işleme şartları altında, RBANN öğrenme algoritmasının modelleme performansının CFBANN öğrenme algoritmasına göre daha iyi olduğu da görülmüştür.

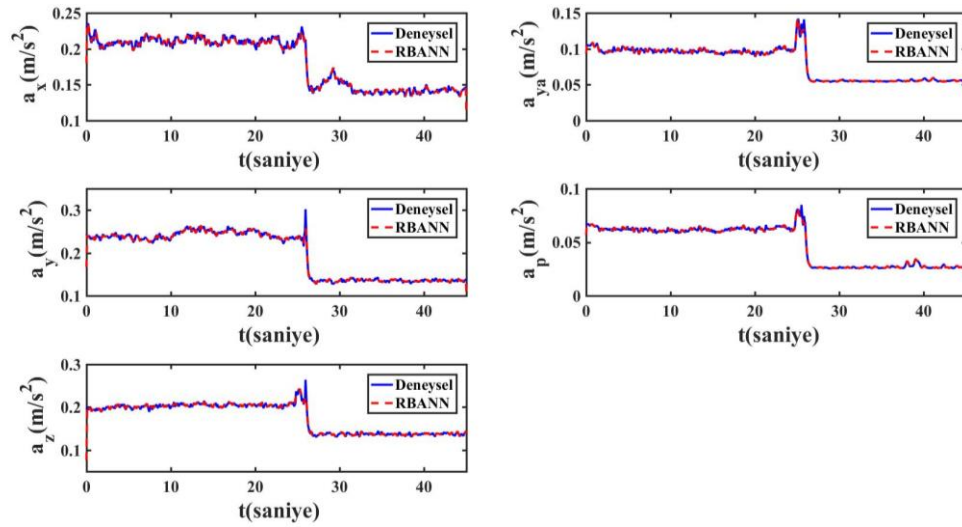


Şekil 3.75. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

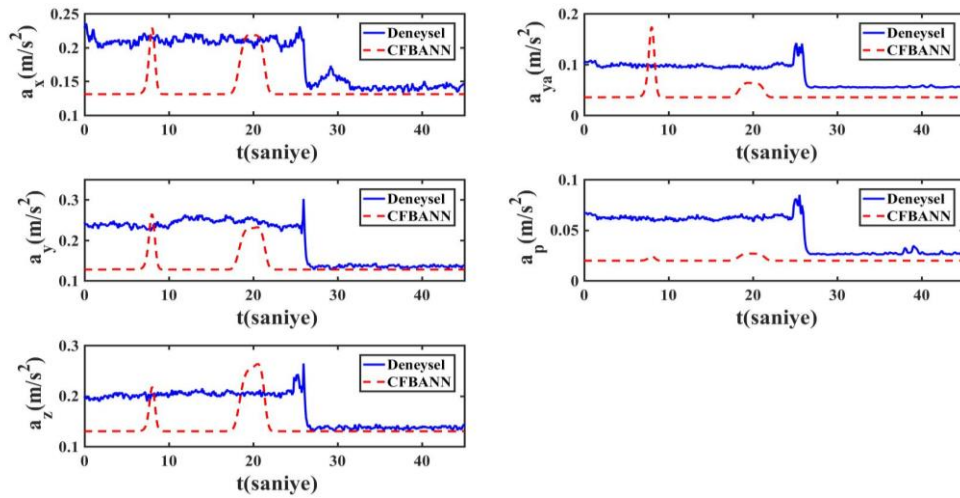


Şekil 3.76. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.75-3.76'da elde edilen deneysel veriler Şekil 3.73-3.74'te elde edilen verilerle kıyaslandığında, İlerleme miktarı değerinin yarı yarıya azaltılmasının işlem süresinde ve ivmelenme genliğinde belirgin bir değişikliğe yol açmadığı anlaşılmaktadır. Elde edilen deneysel verileri tahmin etmede işe düşük genlikli titreşim verilerine rağmen RBANN yapısı diğer ağ yapısına göre daha iyi bir performans göstermiştir.

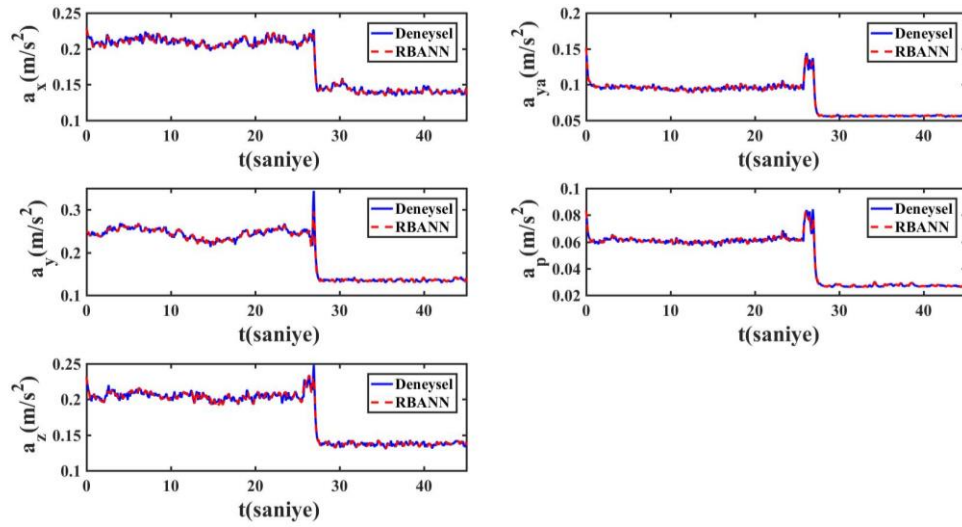


Şekil 3.77. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

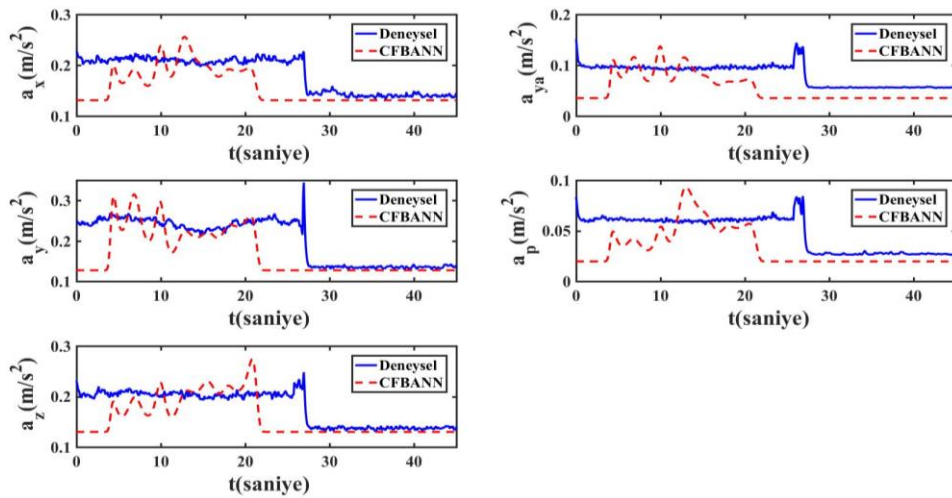


Şekil 3.78. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.77 ve Şekil 3.78’de elde edilen titreşim verileri, bundan önceki plastik deneylerinde elde edilen titreşim verileri ile mukayese edildiğinde belirgin bir titreşim farkının ortaya çıkmadığı görülmektedir. Özel olarak, Şekil 3.73-3.74 ile kıyaslandığında ise iki katına çıkan talaş derinliği değeri işlem süresinin artmasına sebep olmuştur. Deneysel verileri tahmin etmede RBANN yapısı diğer ağ yapısına göre iyi bir performans göstermiştir.

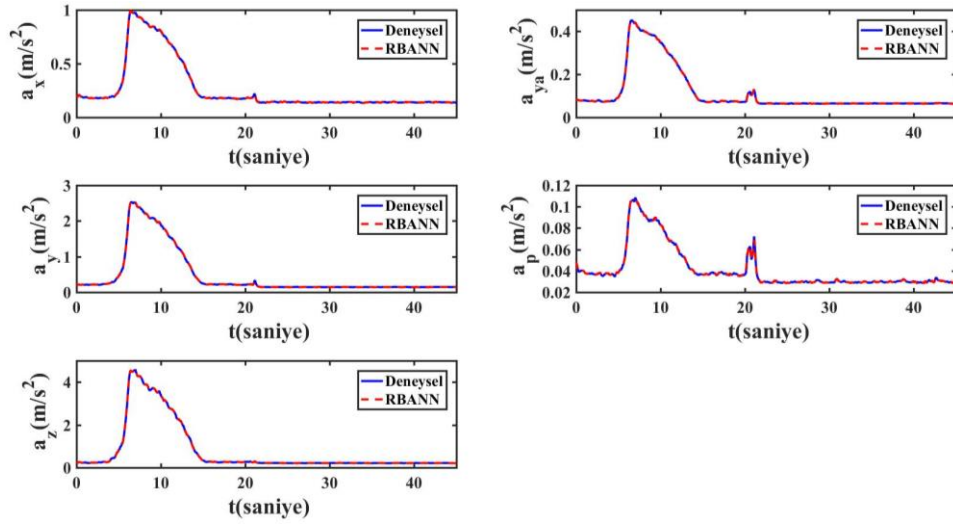


Şekil 3.79. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

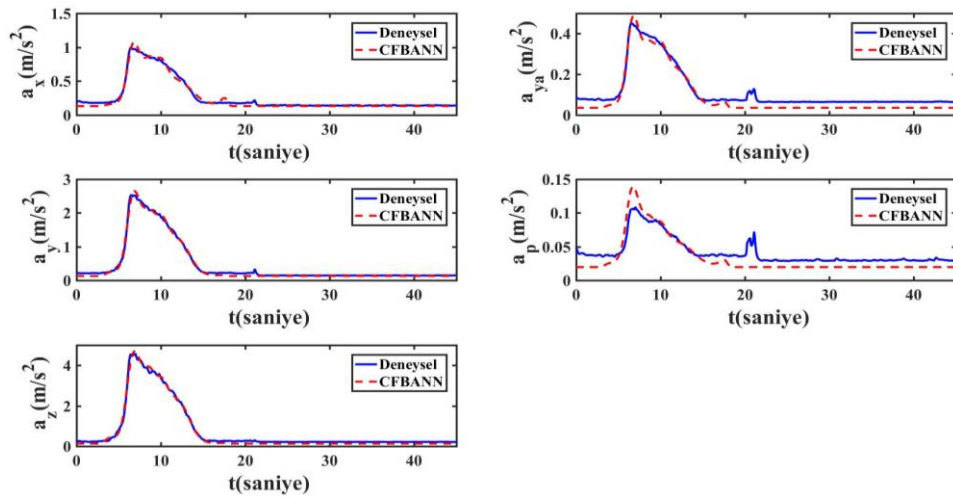


Şekil 3.80. Plastik malzeme, Sarı renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.79-3.80'de elde edilen deneysel veriler Şekil 3.75-3.76'da elde edilen deneysel veriler ile karşılaştırıldığında iki katına çıkan talaş derinliği değerinin titreşim üzerinde belirgin bir etki oluşturmamakla birlikte, işlem süresini belirli bir oranda arttırdığı gözlemlenmiştir. Deneysel verileri tahmin etmede ise RBANN yapısı diğer ağ yapısına göre oldukça iyi bir performans göstermiştir.



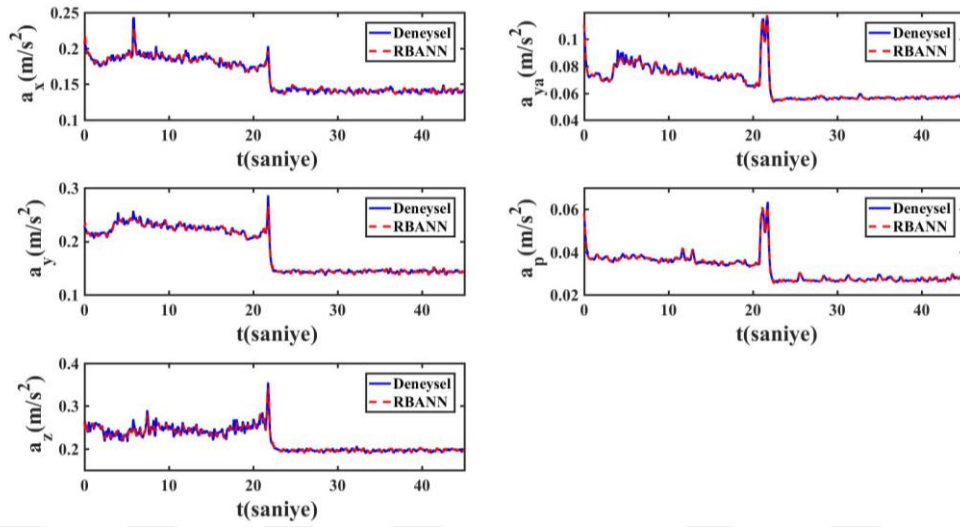
Şekil 3.81. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları



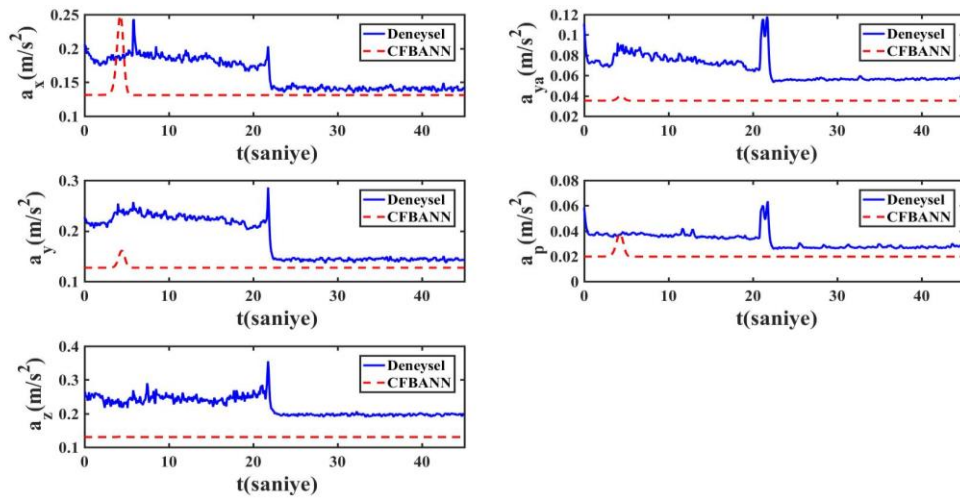
Şekil 3.82. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları



Şekil 3.81 ve Şekil 3.82’de elde edilen veriler plastik malzeme için farklı kesici uçta yapılan ilk deneylerin sonuçlarıdır. Bu sonuçlar Şekil 3.65-3.66 ile mukayese edildiğinde titreşim değerinde artış ve işlem süresinde azalma gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, Tablo 3.3’te verilmiş olan P9 değeri göz önüne alındığında ise deneysel verileri tahmin etmede RBANN yapısının diğer ağ yapısına göre yaklaşık 10 kat daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

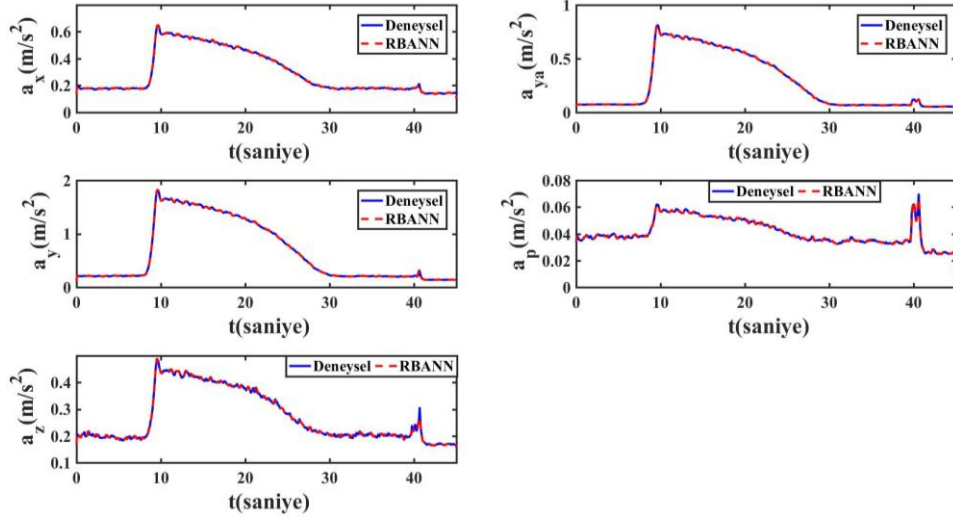


Şekil 3.83. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

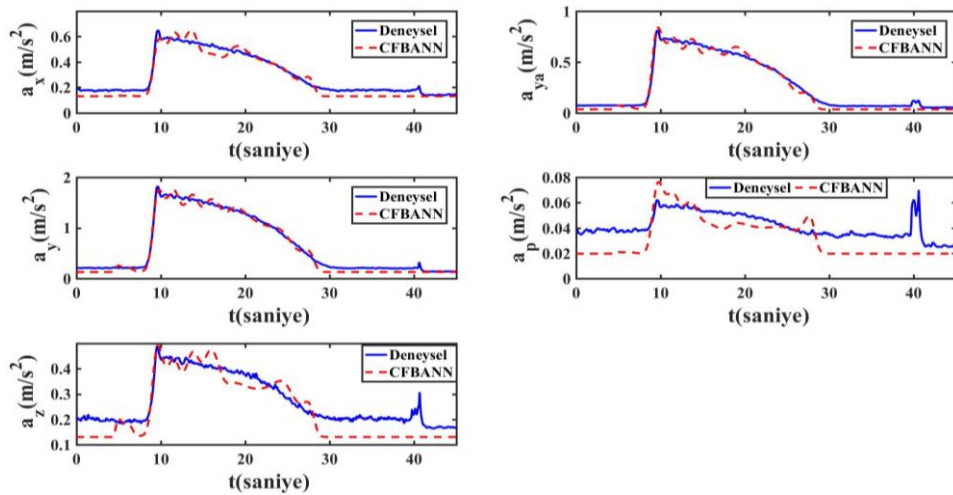


Şekil 3.84. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.83-3.84’de elde edilen deneysel veriler aynı işleme şartlarında diğer malzemeler için elde edilmiş olan veriler ile karşılaştırıldığında plastik malzeme için daha düşük ivmelenme genliğinin elde edildiği tespit edilmiştir. Deneysel verileri tahmin etmede ise CFBANN yapısı doğrusala yakın bir tahmin gerçekleştirdiği için diğer ağ yapısına göre oldukça kötü bir performans göstermiştir.

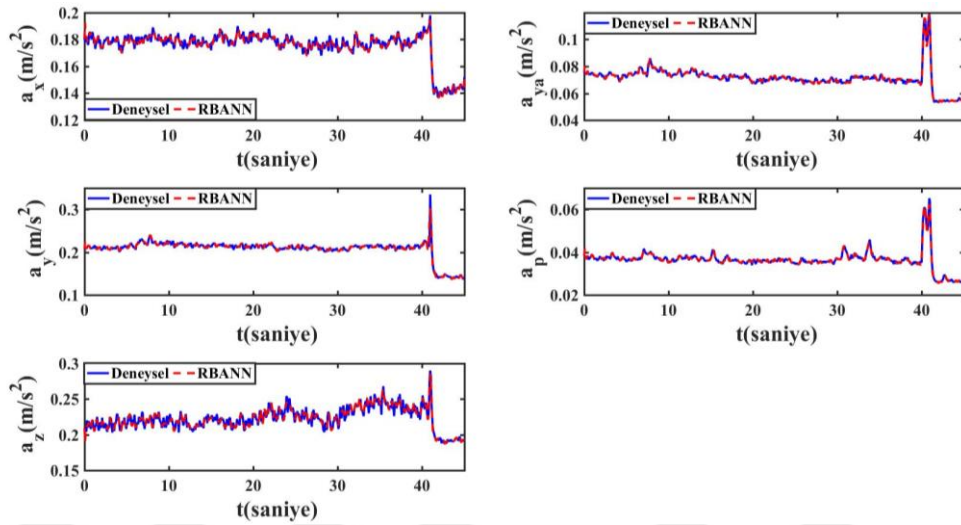


Şekil 3.85. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

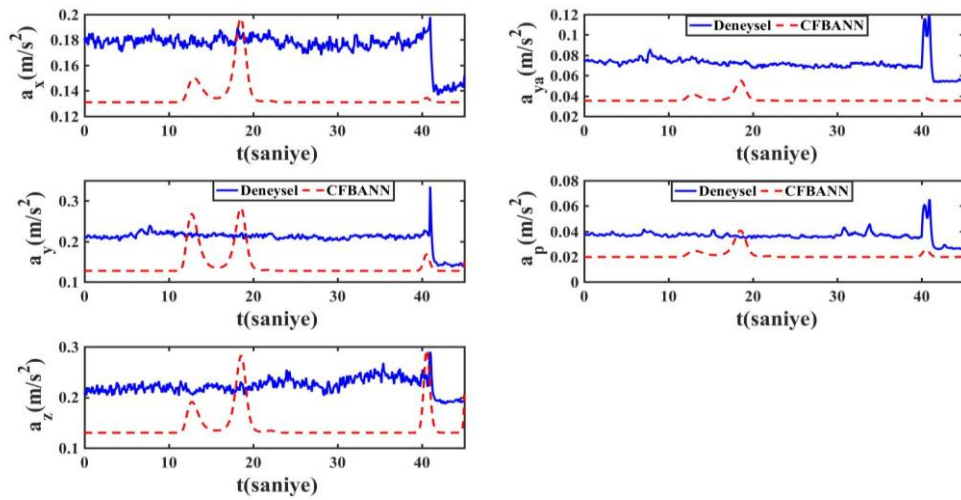


Şekil 3.86. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.85-3.86'da elde edilen deneysel veriler aynı işleme şartlarında diğer kesici uç için karşılaştırıldığında tüm bölge ve eksenlerde ivmelenme genliğinde artış ve işlem süresinde bir azalma tespit edilmiştir. Deneysel verileri tahmin etmede ise RBANN yapısının, Tablo 3.3'deki P11 verisi dikkate alındığında, diğer ağ yapısına göre yaklaşık 20 kat daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

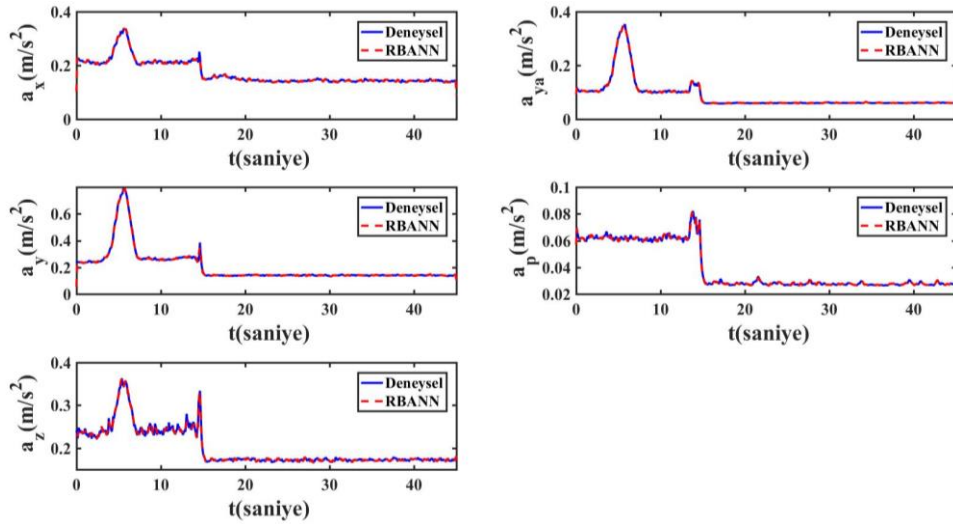


Şekil 3.87. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

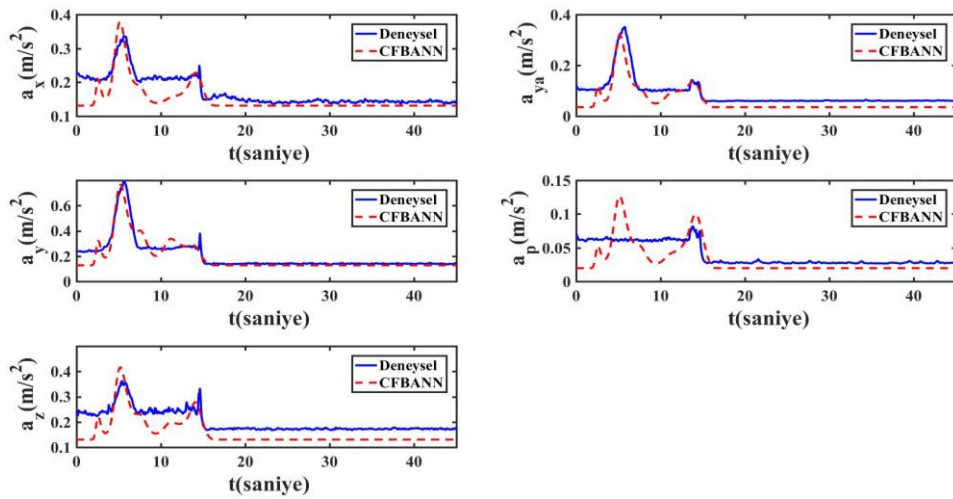


Şekil 3.88. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1000 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.87-3.88’de elde edilen deneysel veriler Şekil 3.85-3.86’da elde edilen deneysel verilerle kıyaslandığında ise yarıya düşen İlerleme miktarı değerinin işlem süresini yaklaşık iki kat arttırdığı tespit edilmiştir. Deneysel verileri tahmin etmede ise CFBANN öğrenme algoritmasının neredeyse doğrusal bir tahmin gerçekleştirmesinden dolayı diğer ağ yapısına göre oldukça kötü bir performans sergilediği gözlemlenmektedir.

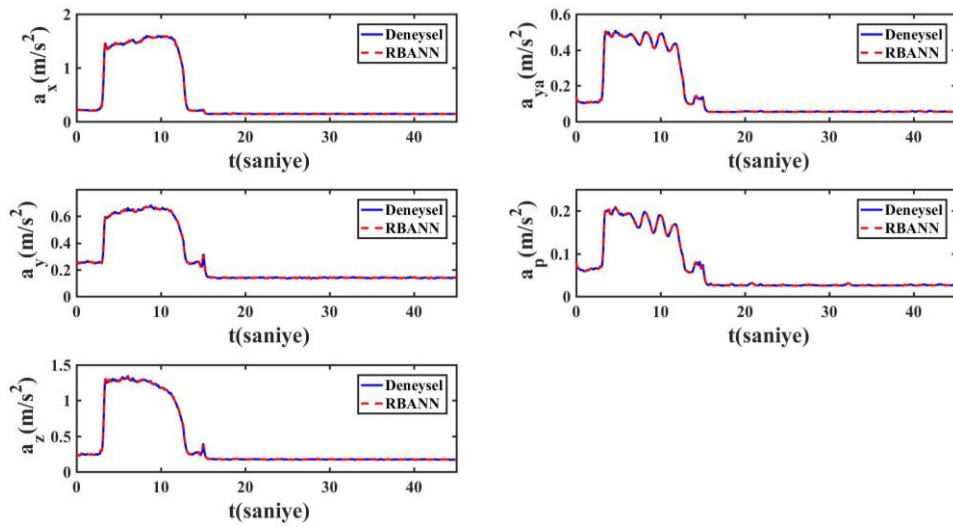


Şekil 3.89. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

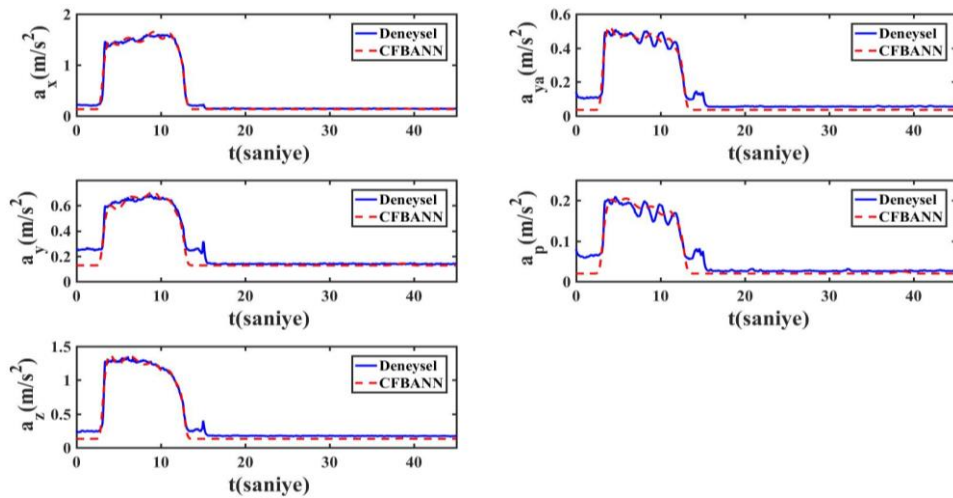


Şekil 3.90. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.89-3.90'da elde edilen titreşim verileri ile Şekil 3.81-3.82'de elde edilen titreşim verileri kıyaslandığında, artan ayna dönme devrinin işlem süresinde belirgin bir değişiklik oluşturmamasına rağmen ivmelenme genliğinde bir azalmaya yol açtığı gözlemlenmiştir. Elde edilen deneysel verileri tahmin etmede ise RBANN yapısının CFBANN yapısına göre daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

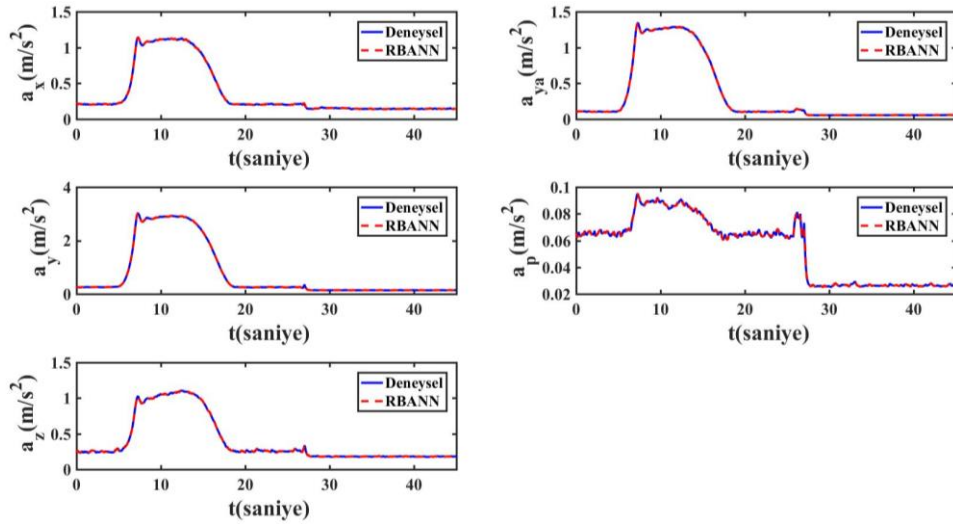


Şekil 3.91. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

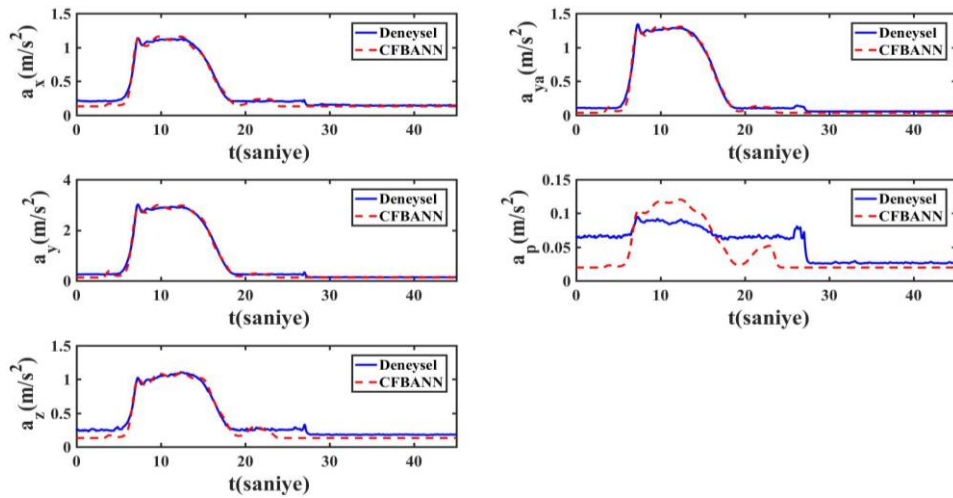


Şekil 3.92. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 1 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.91-3.92’de elde edilen deneysel veriler aynı işleme şartlarında diğer kesici uçla gerçekleştirilen Şekil 3.74-3.75’deki deneysel verilerle karşılaştırıldığında ivmelenme genliğinde bir artış olduğu ve bunun bir sonucu olarak yüksek genlikli titreşimlerin ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Deneysel verileri tahmin etmede ise RBANN yapısının diğer ağ yapısına göre daha iyi bir performans sergilediği görülmektedir.

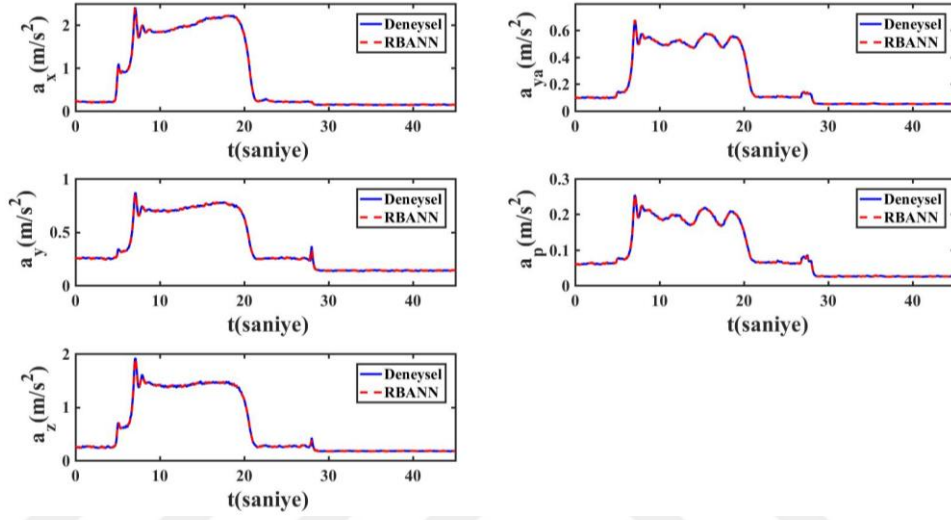


Şekil 3.93. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları

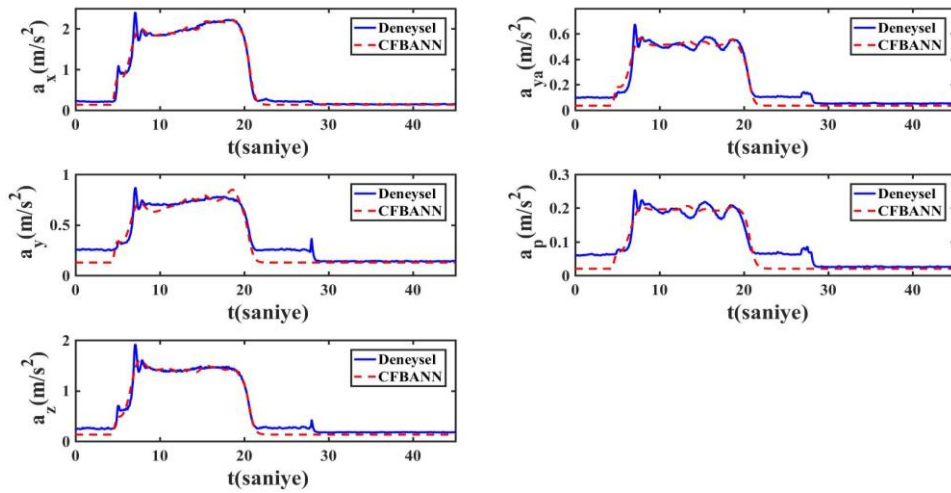


Şekil 3.94. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.1 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.93-3.94'te elde edilen veriler Şekil 3.89-3.90'da elde edilen deneysel verilerle karşılaştırıldığında ise iki katına çıkan talaş derinliğinin titreşimi artırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, deneysel sonuçları modellemede RBANN öğrenme algoritmasının CFBANN algoritmasına göre daha iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.95. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve RBANN sonuçları



Şekil 3.96. Plastik malzeme, Siyah renkte kesici uç, Ayna Dönme Devri: 1500 rpm, İlerleme miktarı: 0.05 mm/rev ve Talaş Derinliği: 2 mm olan işleme şartlarına göre elde edilen deneysel sonuçlar ve CFBANN sonuçları

Şekil 3.95-3.96’da plastik malzeme için elde edilen deneysel veriler aynı işleme şartlarında alüminyum ve çelik malzemeler için Şekil 3.31-3.32 ve Şekil 3.63-3.64’de elde edilen verilerle karşılaştırıldığında içlerinde en düşük titreşim oluşturan deney sistemi olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçları tahmin etmede ise diğer tüm deneylerde olduğu gibi RBANN yapısının diğer ağ yapısına göre oldukça iyi bir performans gösterdiği tespit edilmiştir.

### 3.2. Sayısal Sonuçlar

Bir önceki bölümde, deneyleri gerçekleştirilen 48 adet verinin her iki YSA yapısı için grafiksel yorumları ayrı ayrı yapılmıştır. Bu bölümde ise deneysel verilerin tahmininde kullanılan RBANN ve CFBANN yapılarının RMSE sonuçları dikkate alınarak sayısal performans mukayeseleri gerçekleştirilecektir. Tüm bölge ve eksenlerde ( $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ ,  $a_{ya}$  ve  $a_p$ ) gerçekleştirilen tahmin işlemine göre RMSE değerleri tek tek hesaplanarak [ RMSE ( $a_x$ ), RMSE ( $a_y$ ), RMSE ( $a_z$ ), RMSE ( $a_{ya}$ ) ve RMSE ( $a_p$ ) ] en sonunda her bir deney için elde edilen bu beş sonucun tekrar RMSE değeri alınarak Tablo (3.1,3.2 ve 3.3)’de verilmiş olan nihai RMSE değerleri hesaplanmıştır.

Alüminyum malzeme için gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalarda elde edilen RMSE değerleri Tablo 3.1 ile verilmiştir. Her bir çalışma şartı için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, RBANN ağ yapısının CFBANN ağ yapısına göre oldukça iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Örneğin, alüminyum malzeme için iki farklı YSA yapısının RMSE değerlerinin aritmetik ortalaması kıyaslandığında RBANN yapısının diğer ağ yapısına göre yaklaşık 3.55 kat daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür.

Tablo 3.2’de verilen RMSE değerleri ise çelik malzeme için gerçekleştirilmiş olan deneylere ait sonuçları göstermektedir. Her bir çalışma için sonuçlar incelenip genel bir yorum yapıldığında RBANN öğrenme algoritmasının CFBANN öğrenme algoritmasına göre yaklaşık 3.89 kat daha iyi bir modelleme performansı gösterdiği gözlemlenmiştir. Çelik malzemenin deneysel sonuçlarını modelleme de ise hem RBANN hem de CFBANN ağ yapıları alüminyum malzemenin deneysel sonuçlarına göre ortalama RMSE değerleri açısından daha iyi performans göstermişlerdir.



Tablo 3.3’de elde edilen RMSE değerleri ise deneyleri gerçekleştirilen Plastik malzemeye aittir. Her bir çalışma için RMSE sonuçları incelendiğinde, grafiklerden de görüldüğü gibi, RBANN yapısı diğer ağ yapısına göre oldukça iyi bir performans göstermiştir. RBANN ve CFBANN ağ yapılarının her ikisinin de plastik malzeme için deney sonuçlarını tahmin etme performanslarının, alüminyum ve elik malzemelere göre çok daha iyi olduğu grlmştir. Yani, plastik malzeme için her iki öğrenme algoritması da gerçek değerlere son derece yakın modellemeler gerçekleştirebilmiştir. Genel olarak hem grafiksel hem de sayısal sonuçlar mukayese edildiğinde ise RBANN yapısı CNC Torna tezgâhlarda farklı işleme şartlarında ve geniş titreşim genliğinde çalışmaya elverişli en iyi performans gösteren öğrenme algoritması veya ağ yapısı olarak belirlenmiştir. Bir geri yayılım ağı olan CFBANN yapısının ise geniş genlikli verilerin bulunduğu bu tür çalışmalarda verimli olamayacağı gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Alüminyum malzeme için elde edilen RMSE değerleri

<b>Çalışma Şartları</b>	<b>RMSE DEĞERLERİ</b>	
	<b>RBANN</b>	<b>CFBANN</b>
A1	0.0221	0.1808
A2	0.1361	0.3127
A3	0.0286	0.2892
A4	0.1758	0.4282
A5	0.1306	0.3893
A6	0.1053	0.3444
A7	0.0425	0.2607
A8	0.2265	0.6630
A9	0.0544	0.2617
A10	0.0736	0.6838
A11	0.0672	0.3278
A12	0.1399	0.6708
A13	0.1774	0.3941
A14	0.2044	0.7131
A15	0.2491	0.6783
A16	0.1506	0.4562
<b>ORTALAMA RMSE</b>	<i>0.1240</i>	<i>0.4409</i>

Tablo 3.2. Çelik malzeme için elde edilen RMSE değerleri

<b>Çalışma Şartları</b>	<b>RMSE DEĞERLERİ</b>	
	<b>RBANN</b>	<b>CFBANN</b>
C1	0.0614	0.2634
C2	0.0357	0.1944
C3	0.1087	0.2804
C4	0.0518	0.2098
C5	0.0968	0.3574
C6	0.0500	0.4379
C7	0.1729	0.3760
C8	0.0362	0.2586
C9	0.1317	0.6030
C10	0.0560	1.0413
C11	0.0879	0.3295
C12	0.0939	0.2644
C13	0.1366	0.4321
C14	0.1686	0.5207
C15	0.0628	0.3184
C16	0.2197	0.6116
<b>ORTALAMA RMSE</b>	<i>0.0982</i>	<i>0.3823</i>

Tablo 3.3. Plastik malzeme için elde edilen RMSE değerleri

<b>Çalışma Şartları</b>	<b>RMSE DEĞERLERİ</b>	
	<b>RBANN</b>	<b>CFBANN</b>
P1	0.0181	0.1779
P2	0.0102	0.1851
P3	0.0202	0.2026
P4	0.0102	0.2304
P5	0.0100	0.2299
P6	0.0122	0.2393
P7	0.0161	0.2684
P8	0.0110	0.2030
P9	0.0217	0.2287
P10	0.0112	0.2477
P11	0.0172	0.2164
P12	0.0115	0.2606
P13	0.0214	0.1797
P14	0.0222	0.1984
P15	0.0166	0.2552
P16	0.0249	0.3092
<b>ORTALAMA RMSE</b>	<i>0.0217</i>	<i>0.2270</i>

## 4. BÖLÜM

### SONUÇ ve ÖNERİLER

Üretim sürecinde temel amaç hammaddenin istenilen parçaya en yüksek hassasiyet ile ulaşmasıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan yüksek hassasiyetli üretim yöntemlerinden birisi, talaşlı bir üretim yöntemi olan tornalama yöntemidir. Bu yöntem en az iki ekseninde hareket eden sabit bir kesici uç vasıtasıyla, dönen malzemenin işlenmesi temeline dayanmaktadır. CNC Torna tezgâhları ile gerçekleştirilen tornalama işleminde en yüksek hassasiyetli sonuçların elde edilebilmesi için sistem üzerinde oluşan bozucu etkenlerin zayıflatılması veya tamamen yok edilmesi gerekmektedir.

CNC Torna tezgâhlarda malzemenin işlenmesi esnasında ortaya çıkan en önemli bozucu etkenlerden birisi titreşimdir. Kesme parametreleri, kesici takım, malzeme cinsi, ayna dönme devri, İlerleme miktarı, talaş derinliği gibi etkenlerin, titreşim ile yakından ilgili olması, en uygun kesme şartlarının belirlenmesini zorlaştırmaktadır.

Bu tez çalışmasında alüminyum, çelik ve plastik olmak üzere üç farklı malzeme üzerinde ayna dönme devri, İlerleme miktarı, kesici takım cinsi, kesici takım geometrisi ve talaş derinliği değerleri dikkate alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlarda titreşimi etkileyen parametreler bölgesel olarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Tornalama işlemi için elde edilen deneysel titreşim verileri radyal tabanlı yapay sinir ağı ve ileri kademeli geri yayımlı yapay sinir ağı olmak üzere iki farklı öğrenme algoritması kullanılarak eğitilmiş ve doğrusal olmayan sistem için en iyi ağ sonuçları modellenmiştir. Ayrıca, elde edilen deneysel sonuçlar ve benzetim sonuçları literatürdeki ilgili diğer çalışmalar ile mukayese edilmiştir.

Tez kapsamında, deneysel çalışmalarda kullanılan CNC Torna tezgâh tanıtıldıktan sonra tornalama işlemi sırasında meydana gelen titreşimlerin nedenleri ve tezgâh üzerindeki

etkileri detaylı bir literatür taraması ile sunulmuştur. Daha sonra, yapay sinir ağlarının ve bu ağların tahmin yeteneklerinin incelendiği detaylı bir literatür taraması verilmiştir.

Tez çalışmasının sonraki bölümünde deneysel süreç hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. CNC Torna tezgâhı üzerinde farklı noktalardan ivme sensörleri ile alınan ve yüksek frekanslı karmaşık dalga formları şeklinde ortaya çıkan titreşim sinyalleri, ivme ölçümü ile titreşim analizi yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu bölümde ayrıca deneysel çalışmalarda kullanılan donanım ve malzemeler, yapay sinir ağları ve tez çalışması kapsamında kullanılmış olan öğrenme algoritmaları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında, giriş parametreleri için 6 adet ve çıkış parametreleri için 5 adet nöron tanımlanarak gerçekleştirilmiş olan yapay sinir ağlarında toplamda 28848 adet verinin rasgele seçilmiş olan 20194 tanesi (toplam verinin %70'i) ağ eğitiminde kullanılarak ağ eğitimi gerçekleştirilmiştir. Ağın öğrenmedeki performansını belirlemek amacıyla YSA yapısına daha önce gösterilmeyen 8654 adet veri test kısmında kullanılmıştır. Daha sonra oluşturulan optimum ağ yapısı kullanılarak her bir deney sonucunda elde edilen gerçek zamanlı 606 adet ivme verisi YSA tarafından tahmin edilmesi sağlanmıştır.

CNC Torna tezgâhı üzerinde gerçek zamanlı olarak elde edilen ve titreşimi etkileyen parametrelerin analizi ve tahmini için önerilen yapay sinir ağı modelleri kullanılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Deneyler sonucunda tüm eksen ve bölgelerde en yüksek titreşimin çelik malzemede olduğu gözlemlenirken, plastik malzeme için oluşan titreşimlerin alüminyum malzeme için meydana gelen titreşimlere göre daha az seviyede olduğu görülmüştür. Kesici uç geometrisi ve kesici ucun malzeme özellikleri ise her bir malzemenin kendi karakteristik yapısına göre titreşim genliğinde belirgin bir etki oluşturmuştur. Tornalama işlemi esnasında ölçülen İlerleme miktarı parametresinin ise tüm malzemelerde ve ölçüm alınan bölge ve eksenlerde titreşimin genliği üzerinde bir etki oluşturduğu tespit edilmiştir. Titreşim üzerindeki etkisi incelenen bir diğer parametre ise ayna dönme devridir. Bu parametrenin alüminyum, çelik ve plastik malzemeyi ayırt etmeden aynı zamanda kesici ucun farklılığından etkilenmeden tornalama işlem süresini arttırdığı gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen bir diğer analizde ise farklı malzemelerin ve kesici uçların kendi karakteristik özelliklerine göre işlem sırasında meydana gelen ivme genliklerinde belirgin bir değişikliğe yol açtığı görülmüştür. Bölgesel ve eksenel titreşim

analizlerinde, talaş derinliğinin tornalama işlem süresini arttırdığı tespit edilmiştir. Alüminyum malzeme için talaş derinliğinin artması titreşimin genliğinde önemli bir değişikliğe yol açmazken, çelik malzeme için talaş derinliğinin artması titreşimin genliğinde artışlara sebep olmuştur. Plastik malzeme içinse talaş derinliğinin artmasının veya azalmasının titreşim genliğinde tüm bölge ve eksenlerinde belirgin bir değişikliğe yol açmadığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, talaş derinliğindeki artışın işlem süresini arttırdığı göz önünde tutulduğunda, bölgesel ve eksenel titreşim süreleri uzayacağından, bu parametrenin tezgâh yapısına negatif yönde bir etkisinin olacağı ifade edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasının benzetim kısmında ise yapay sinir ağları kullanılarak iki farklı öğrenme algoritması ile ivme ve titreşim analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, RBANN ve CFBANN öğrenme algoritmalarının her ikisinin de kendi yapılarına göre farklı koşullar altında farklı performanslar gösterdikleri görülmüştür. Tahmin etme sürecinde ortaya çıkan hata değerlerini gösteren RMSE tabloları incelendiğinde alüminyum malzeme için her iki öğrenme algoritmasının da yüksek hata değerleri ürettikleri ve performanslarının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Alüminyum malzeme için ortalama RMSE değerlerinin diğer malzemelere göre yüksek çıkmasının sebebi, tornalama işlemi sırasında meydana gelen ve büyük oranda doğrusal olmayan titreşim karakteristikleridir. Bununla birlikte, alüminyum malzemede RBANN yapısının RMSE hata performansının CFBANN yapısına göre yaklaşık 3.55 kat daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Çelik malzeme için elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise titreşim karakteristiğinin daha kararlı olmasından dolayı alüminyum malzemeye göre daha düşük RMSE değerleri elde edilirken, yüksek titreşim genlikli sonuçlardan dolayı da plastik malzemeye göre daha yüksek RMSE değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, çelik malzeme için öğrenme algoritmalarının hata performansları mukayese edildiğinde ise RBANN yapısının 3.89 kat daha iyi bir hata performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Son olarak, plastik malzeme için elde edilen benzetim sonuçları incelendiğinde ise düşük genlikli ve kararlı ivme çıktılarında dolayı RMSE değerlerinin diğer iki malzemeye göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Plastik malzeme için öğrenme algoritmalarının hata performansları mukayese edildiğinde ise CFBANN yapısının yaklaşık olarak 10.46 kat daha kötü bir performans sergilediği tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalar ve benzetimler sonucunda, RBANN öğrenme algoritmasını temel alan yapay sinir ağlarının doğrusal olmayan sistemleri gerçek zamanlı olarak modellemede başarılı bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.





## KAYNAKÇA

1. MEGEP, CNC Torna Tezgahları. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı, 3-4/92.
2. Kalyoncu M., titreşim analizi ile makina elemanları arızalarının belirlenmesi, Mühendis ve Makine, Cilt 47: 28
3. Siddhpura, M., Paurobally, R., 2012. a review of chatter vibration research in turning. **International Journal of Machine tools and manufacture**, 61, 27-47.
4. Catania, G., & Mancinelli, N. 2011. theoretical–experimental modeling of milling machines for the prediction of chatter vibration. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**. 51(4), 339-348.
5. Bharilya, R. K., Malgaya, R., Patidar, L., Gurjar, R. K., Jha, A. K., 2015. study of optimised process parameters in turning operation through force dynamometer on CNC machine. *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 2300-2305.
6. Alan, S., Budak, E., & Özgüven, H. N., 2010. analytical prediction of part dynamics for machining stability analysis. **International Journal of Automation Technology**. 4(3), 259-267.
7. Okonkwo Ugochukwu, C., Nwoke Obinna, N., Okokpujie Imhade, P., 2018. comparative analysis of chatter vibration frequency in CNC turning of AISI 4340 alloy steel with different boundary conditions. **Journal of Covenant Engineering Technology (CJET)** Vol, 1(1), 13-30.
8. Ulas, H. B., Ozkan, M. T., Malkoc, Y., 2018. vibration prediction in drilling processes with HSS and carbide drill bit by means of artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 31(9), 5547-5562.
9. Çayiroğlu İ., yapay sinir ağları, ileri algoritma analizi. (Web sayfası: <http://www.ibrahimcayiroglu.com/dokumanlar/ilerialgoritmaanalizi/ilerialgoritmaanalizi-5.hafta-yapaysiniraglari.pdf>) (Erişim Tarihi: Ocak 2020)
10. Hossain, M. S., Ong, Z. C., Ismail, Z., Noroozi, S., Khoo, S. Y., 2017. artificial neural networks for vibration based inverse parametric identifications: A review. *Applied Soft Computing*, 52, 203-219.
11. Eski, İ., 2012. vibration analysis of drilling machine using proposed artificial neural network predictors. **Journal of mechanical science and technology**, 26(10), 3037-3046.

12. Esim, E., Yıldırım, Ş., 2017. drilling performance analysis of drill column machine using proposed neural networks. **Neural Computing and Applications**, 28(1), 79-90.
13. Garg, S., Pal, S. K., Chakraborty, D., 2007. evaluation of the performance of backpropagation and radial basis function neural networks in predicting the drill flank wear. **Neural Computing and Applications**, 16(4-5), 407.
14. Rao, K. V., Murthy, P. B. G. S. N., 2018. modeling and optimization of tool vibration and surface roughness in boring of steel using RSM, ANN and SVM. **Journal of intelligent manufacturing**, 29(7), 1533-1543.
15. Shrivastava, Y., Singh, B., 2018. possible way to diminish the effect of chatter in CNC turning based on EMD and ANN approaches. **Arabian Journal for Science and Engineering**, 43(9), 4571-4591.
16. E. Ayaz., 2014. autoregressive modeling approach of vibration data for bearing fault diagnosis in electric motors, **Journal of Vibroengineering**, 16(5), 2130-2138.
17. S. Nandi, H. Toliyat, X. Li., 2005. condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors - A review, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 20(4), 719-729.
18. Materka A., Strzelecki, M., 1996. parametric testing of mixed-signal circuits by ANN processing of transient responses, **Journal of Electronic Testing, Theory and Applications**. 9: 187-202.
19. Li B., Chow M., Tipsuwan Y., Hung J., 2000. neural-network-based motor rolling bearing fault diagnosis, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 47(5), 1060-1069.
20. Pietrowski W., 2011. application of radial basis neural network to diagnostics of induction motor stator faults using axial flux, *Electrical Review*, 87(6), 190-192.
21. MC, K. R., Malghan R. L., Shettigar A. K., Rao, S. S., & Herbert, M. A., 2020. application of back propagation algorithms in neural network based identification responses of AISI 316 face milling cryogenic machining technique. **Australian Journal of Mechanical Engineering**, 1-8.
22. Khodja, A. Y., Guersi, N., Saadi, M. N., Boutasseta, N., 2020. rolling element bearing fault diagnosis for rotating machinery using vibration spectrum imaging and convolutional neural networks. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 106(5-6), 1737-1751.

23. Ergezer, H., Dikmen M. Özdemir E., 2003. yapay sinir ağları ve tanıma sistemleri. Pivolka. 2(6), 14-17.
24. Broomhead, D. S., Lowe, D., 1988. multivariable functional interpolation and adaptive networks. Complex Systems. 2: 321-355.
25. Demuth, H. B., Beale, M. H., De Jess, O., Hagan, M. T., 2014. Neural Network Design. Martin Hagan. 802.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı:** Muhammed İŞÇİ  
**Uyruğu:** Türkiye (T.C)  
**Doğum Tarihi ve Yeri:** 12.05.1995 - Çorum  
**Medeni Durum:** Bekâr  
**e-mail:** misci7154@gmail.com  
**Yazışma Adresi:** Köşk Mah. Köşk Cad. Beta sitesi Kat:6/11 No:55  
 Melikgazi/KAYSERİ

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği	-
Pedagojik Formasyon	Erciyes Üniversitesi, Eğitim Fakültesi	2020
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Matematik	2019
Erasmus	Tomas Bata University	2018
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği	2018
Lise	Kayseri Lisesi	2013

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2018-2019	Dener Makina	Ar-Ge Mühendisi Matematikçi

### YABANCI DİL

İngilizce