

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

**OTOMATİK KILAVUZ ÇEKME OPERASYONU
DİNAMİK ANALİZİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE
TİTREŞİM TAHMİNİ**

**Hazırlayan
Muhammed DEMİREL**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Emir ESİM**

Yüksek Lisans Tezi

**Şubat 2025
KAYSERİ**

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

**OTOMATİK KILAVUZ ÇEKME OPERASYONU
DİNAMİK ANALİZİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE
TİTREŞİM TAHMİNİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Muhammed DEMİREL**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Emir ESİM**

**Şubat 2025
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 DEMİREL

“Otomatik Kılavuz Çekme Operasyonu Dinamik Analizi ve Makine Öğrenmesi İle Titreşim Tahmini” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Muhammed DEMİREL

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Emir ESİM

Mekatronik Mühendisliği Başkanı

Prof. Dr. Şahin YILDIRIM

ÖNSÖZ

Tüm dünyada ileri teknolojilerde kullanılan yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi yöntemleri ile farklı sektörlerde hızlı bir şekilde gelişmektedir. Ayrıca özellikle olasılık ve veri işleme için sık kullanılan yeni yöntemlerden biridir. Endüstride kestirimci bakım olarak bilenen makinelerden veri toplayarak bakımları ve arızaları erkenden tespit edip planlı duruş yapılabilmesi için sık kullanılmaktadır. Ayrıca mekanik ürünlerde aşınma, çatlama, yer değiştirme gibi arızaları tespit etmek mümkün.

Bu çalışmada talaşlı imalat olarak kullanılan en yaygın yöntemlerden dış açma işlemi için kullanmayı hedeflenmiştir.

Lisans dönemindeki öğrenciliğimden bu yana kariyerimi sürdürmeme vesile olan ve tez çalışmam sırasında kıymetli tecrübeleri ile bilgi birikimiyle çalışmama farklı açılardan bakmamı sağlayan, her türlü yardımını, fedakarlığı ve destek olan değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Emir Esim'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca her defasında olumlu yaklaşımından dolayı Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik bölüm başkanı sayın Prof. Dr. Şahin Yıldırım'a teşekkür ederim.

Son olarak lisans ve yüksek lisans öğrencilik hayatımda her zaman yanımda olan ve aldığım her kararda destekleyen, cesaret ve moral veren, en çok sabır gösteren sevgili eşim Sebahat Demirel'e ve çocuklarıma sırasıyla Bera, Hafsa ve Efla'ya çok teşekkür ederim.

Muhammed DEMİREL

Şubat 2025, KAYSERİ

OTOMATİK KILAVUZ ÇEKME OPERASYONU DİNAMİK ANALİZİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TİTREŞİM TAHMİNİ

Muhammed DEMİREL

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2025
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emir ESİM

ÖZET

Titreşim, talaşlı imalat için üretim hassasiyetini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu titreşimler, harmonik, rezonans veya dış kaynaklı olabilir. Bu önemli titreşimlerin frekanslarını bilmek ve bu değerlerden uzak çalışmak, gürültüyü azaltır, hassasiyeti ve kesme takımlarının ömrünü etkilemektedir. Takım ve iş mili birlikte değerlendirildiği ve işleme esnasında tüm sistemin dikkate alındığı durumlar takım dinamiğini açıklamasında önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada takımın harmonik cevap analizleri takım dinamiğinin anlaşılması ve çalışma aralığı belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu çalışmanın ilk bölümünde, takım is milinin işlem esnasında tümünü dikkate alarak M10 kılavuz ile dikey matkabın statik ve dinamik analizleri sonlu elemanlar metodu ile analiz edilmiştir. Bu analizler Ansys Workbench kullanılarak bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Analizlerde farklı is mili uzunlukları ve ayrıca is milinin farklı materyaller kullanılması durumunda yapısal, modal ve harmonik analizleri yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise farklı materyaller dış açma esnasında meydana gelen titreşimlerin belirlenmesi amacıyla farklı malzeme, farklı çalışma hızlarında deneysel çalışma yapılmış ve titreşim verileri elde edilmiştir. Sonrasında, üç tür önerilen yapay sinir ağı, dış açma sistemlerinin pirinç, çelik ve alüminyum malzemelerinin her durumda da titreşim değişimini tahmin etmek için kullanılmıştır. Deneysel ve benzetim sonucu, radyal esaslı yapay sinir ağı, dikey matkap makineleri dış açma koşullarında titreşim tahmin edilmesinde üstün bir performansa sahip olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dikey matkap, Dış açma, Statik analiz, Dinamik analiz, Harmonik cevabı, Titreşim analizi, Yapay sinir ağı, Radyal tabanlı sinir ağı.

AUTOMATIC TAPPING OPERATION DYNAMIC ANALYSIS AND VIBRATION PREDICTION WITH MACHINE LEARNING

Muhammed DEMİREL

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, February 2025
Supervisor: Asst. Prof. Emir ESİM**

ABSTRACT

Vibration is one of the most important factors affecting the production accuracy for machining. These vibrations can be harmonic, resonant or external. Knowing the frequencies of these important vibrations and working away from these values reduces noise, affects the accuracy and life of cutting tools. When the tool and spindle are evaluated together and the entire system is taken into account during machining, it is important to explain the tool dynamics. Therefore, in this study, the harmonic response analyses of the tool contribute to the understanding of the tool dynamics and the determination of the working range. In the first part of this study, the static and dynamic analyses of the vertical drill with the M10 tap, taking into account the entirety of the tool spindle during the process, were analyzed with the finite element method. These analyses were performed in a computer environment using Ansys Workbench. In the analyses, structural, modal and harmonic analyses were performed in the case of different spindle lengths and also different materials used in the spindle, and the results were examined. In the second stage of the study, experimental studies were conducted with different materials and different working speeds in order to determine the vibrations that occur during tapping on different materials, and vibration data were obtained. Afterwards, three types of proposed artificial neural networks are used to predict the vibration variation of brass, steel and aluminum materials of tapping systems in each case. Experimental and simulation results show that radial based artificial neural network has superior performance to estimate vibration in vertical drilling machines tapping conditions.

Keywords: Vertical drilling, Tapping, Static analysis, Dynamic analysis, Harmonic response, Vibration analysis, Artificial neural networks, Radial basis neural network.

İÇİNDEKİLER

OTOMATİK KILAVUZ ÇEKME OPERASYONU DİNAMİK ANALİZİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TİTREŞİM TAHMİNİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Problem Durumu	4
1.2. Araştırmanın Amacı	5
1.3. Araştırmanın Önemi.....	5

2. BÖLÜM

DENEYSEL SİSTEM VE KESME DİNAMİĞİ

2.1. Deneysel Sistem	7
2.2. Dış Açma Dinamiği	11

3. BÖLÜM

DİŞ AÇMA ESNASINDA MATKAP TEZGÂHININ STATİK VE DİNAMİK ANALİZLERİ

3.1. Matkap Makinesi Milinin Sonlu Eleman Modeli	14
3.2. Yapısal Analiz için Sonlu Elemanlar Modeli Yaklaşımı	16
3.3. Dinamik Analiz.....	25
3.4. Zamana Bağlı Dinamik (Transisent) Analiz.....	42

3.5. Harmonik Cevap Analizi.....	46
----------------------------------	----

4. BÖLÜM

YAPAY SİNİR AĞLARI

4.1.Yapay Sinir Ağları Modelleri (YSA).....	52
4.1.1. Geri Yayımlı Yapay Sinir Ağları (GYSA)	53
4.1.2. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RTYSA).....	55
4.1.3. Kademeli İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (KİBYSA).....	56
4.2. Deneysel ve Simülasyon Sonuçları.....	58

5. BÖLÜM

SONUÇLAR

5.1. Tartışmalar	102
5.2. Sonuçlar	103
5.3. Öneriler	103
KAYNAKÇA	105
ÖZGEÇMİŞ.....	108

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.	Matkap sütun makinesinin teknik özellikleri	8
Tablo 2.	Malzeme özellikleri.....	15
Tablo 3.	Statik analiz sonuçları	25
Tablo 4.	Modal analizin tüm sonuçları.....	41
Tablo 5.	Zaman bağılı analize göre mil sistemin toplam yer değiştirme ve gerileme sonuçları	46
Tablo 6.	Çalışma koşulları, KİBYSA yapısı ve eğitim parametreleri.....	59
Tablo 7.	Ağların KİBYSA çalışma koşullarında RMS hata değerleri	60
Tablo 8.	Çalışma koşulları, GYYSA yapısı ve eğitim parametreleri	61
Tablo 9.	Ağların GYYSA çalışma koşullarında RMS hata değerleri	62
Tablo 10.	Çalışma koşulları, RTYSA yapısal ve eğitim parametreleri.....	63
Tablo 11.	Ağların RTYSA çalışma koşullarında RMS hata değerleri	64

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Otomatik dikey matkap makinesi.....	7
Şekil 2.	Dikey matkap kontrol paneli.....	9
Şekil 3.	Deneyde kullanılan malzemeler a) Pirinç, b) Çelik	10
Şekil 4.	Deneysel test sistemi görünümü	11
Şekil 5.	Kılavuz diş açısı ve kesme parametreleri.....	12
Şekil 6.	Kesme kuvvetleri	13
Şekil 7.	Talaş kaldırma adımları.....	13
Şekil 8.	3B Sütun matkabı modeli.....	14
Şekil 9.	Mil açıklığının tüm pozisyonları.....	15
Şekil 10.	İş mili mandren ve kasnaktan oluşan yapının sonlu elamanlar modeli.....	16
Şekil 11.	Statik analiz için sınır koşulları ve yükleme şartları	17
Şekil 12.	50 mm şaft açıklığında Toplam Yer Değiştirme için yapısal analiz sonuçları a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme.....	18
Şekil 13.	100 mm şaft açıklığında Toplam Yer Değiştirme için yapısal analiz sonuçları a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme.....	19
Şekil 14.	150 mm şaft açıklığında Toplam Yer Değiştirme için yapısal analiz sonuçları a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme.....	20
Şekil 15.	50 mm şaft açıklığında Güvenlik Faktörü için yapısal analiz sonuçları a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme	22
Şekil 16.	100 mm şaft açıklığında Güvenlik Faktörü için yapısal analiz sonuçları a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme	23
Şekil 17.	150 mm şaft açıklığında Güvenlik Faktörü için yapısal analiz sonuçları a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme	24
Şekil 18.	Dinamik analiz sınır koşulları	28
Şekil 19.	20MnCr5 ve 50 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	29

Şekil 20.	4340 ve 50 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	30
Şekil 21.	8620 ve 50 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	31
Şekil 22.	Ck45 ve 50 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	32
Şekil 23.	20MnCr5 ve 100 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	33
Şekil 24.	4340 ve 100 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	34
Şekil 25.	8620 ve 100 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	35
Şekil 26.	Ck45 ve 100 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	36
Şekil 27.	20MnCr5 ve 150 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	37
Şekil 28.	4340 ve 150 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	38
Şekil 29.	8620 ve 150 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	39
Şekil 30.	Ck45 ve 150 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları	40
Şekil 31.	Geçici Rejim analiz için yükleme ve sınır şartları	42
Şekil 32.	50 mm şaft açıklığında zaman bağlı dinamik analize göre yer değiştirme sonuçları a) 20MnCr5, b) 4340, c) 8620, d) Ck45	43
Şekil 33.	100 mm şaft açıklığında zaman bağlı dinamik analize göre yer değiştirme sonuçları a) 20MnCr5, b) 4340, c) 8620, d) Ck45	44
Şekil 34.	150 mm şaft açıklığında zaman bağlı dinamik analize göre yer değiştirme sonuçları a) 20MnCr5, b) 4340, c) 8620, d) Ck45	45
Şekil 35.	Harmonik cevap analiz için yükleme ve sınır şartları	47
Şekil 36.	20MnCr5 malzemesi için Harmonik frekans cevabı	49
Şekil 37.	4340 malzemesi için Harmonik frekans cevabı	49
Şekil 38.	8620 malzemesi için Harmonik frekans cevabı	50
Şekil 39.	Ck45 malzemesi için Harmonik frekans cevabı	50
Şekil 40.	Veri toplama döngüsü	53
Şekil 41.	GYSA Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağ yapısı	54
Şekil 42.	RTYSA Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağ yapısı	56
Şekil 43.	KİBYSA Kademeli İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağ yapısı	57
Şekil 44.	Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları. a) KİBYSA, b) GYSA, c) RTYSA	66
Şekil 45.	Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları. a) KİBYSA, b) GYSA, c) RTYSA	67

- Şekil 46. Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 68
- Şekil 47. Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 69
- Şekil 48. Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 70
- Şekil 49. Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 71
- Şekil 50. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 72
- Şekil 51. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 73
- Şekil 52. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 74
- Şekil 53. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 75
- Şekil 54. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 76
- Şekil 55. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 77
- Şekil 56. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 78

Şekil 57. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	79
Şekil 58. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	80
Şekil 59. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	81
Şekil 60. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	82
Şekil 61. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	83
Şekil 62. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	84
Şekil 63. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	85
Şekil 64. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	86
Şekil 65. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	87
Şekil 66. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	88
Şekil 67. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	89

Şekil 68.	Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA.....	90
Şekil 69.	Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA.....	91
Şekil 70.	Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA.....	92
Şekil 71.	Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA.....	93
Şekil 72.	Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA.....	94
Şekil 73.	Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA.....	95
Şekil 74.	Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	96
Şekil 75.	Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	97
Şekil 76.	Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	98
Şekil 77.	Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	99
Şekil 78.	Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA	100

Şekil 79. Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA 101



GİRİŞ

Üretimin amacı, ürün ile hammadde arasında dönüşüm gerçekleştirmektir. Kesici takımın imalat yöntemlerinden biri de iş parçasının görelî hareketi sonucunda plastik yer değiştirmeye uğrayan talaşların iş parçasından uzaklaştırılmasıdır. Diş açma veya kılavuz çekme, bir deliğin içindeki bir dişin işlenmesi işlemidir. Dişli bir çubuğun veya vidanın karşılık gelen şekline dişli delik denir. Teknik açıdan vida dişî, içinde bir dişin oluşturulduğu pürüzsüz bir deliktir. Örneğin bir somunun dişli bir deliğı vardır. En önemli talaşlı imalat yöntemlerinden biri olan diş açma, talaşlı imalat yöntemlerinin büyük bir parçasıdır.

Delme takımının karmaşıklığı ve kesme geometrisi nedeniyle kesme işlemi sırasında birçok istenmeyen etki meydana gelir. İstenmeyen etkilerin başında, kötü yüzey kalitesine neden olan, takım ömrünü etkileyen, talaş kaldırma oranının düşmesi, üretim maliyetlerinin artması, çok fazla gürültüye neden olan titreşim sorunu gelmektedir. Birçok araştırmacı, üretim kaybına neden olan ve takım tezgahlarının performansını etkileyen titreşimi araştırmıştır. Bovic Kilundu, Pierre Dehombreux, [1] Takım aşınmasının izlenmesi için titreşim sinyallerinin ve makine öğreniminin tekil spektral analizi. Majid Tolouei-Rad, Muhammad Aamir [2], Verimliliğı artırmak için delme işlemlerinin performansının analizi. Aravindh Raj B R, [3] Döner ekipmanda titreşim analizi. Bu çalışmada, sonlu elemanlar metodu kullanarak kendi eksen üzerinde dönen mil-tutucunun dinamik analizini ve tezgâhı yapılarının modal analizi için sonlu elemanlar yöntemini sunmuş ve ayrıca deneysel testler gerçekleştirmiştir. M.M.M.; Kim, J.-M., [4] Titreşim sinyalinin 2B analiziyle derin konvolüsyonel sinir ağlarını kullanarak motor yatağı arıza teşhisi. Bu araştırma sayesinde elektrikli motorlarda bulunan yataklarda arıza olmadan önce erkenden hataları tespit ederek erkenden müdahale etme fırsatı doğurmaktır. Wu, T.Y.; Lei, K.W., [5] Titreşim sinyali analizi ve yapay sinir ağı kullanılarak frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğünün tahmini. Sanaa Kerroumi, [6] Rulman arızalarının tespiti ve izlenmesinin bir parçası olarak parametrelerin çıkarılması

ve dinamik sınıflandırması. Jiantao Liu and Xiaoxiang Yang, [7] Erken teşhis için titreşim frekansı tahmini eden bir sinir ağı oluşturmak. Şahin Yıldırım, Emir Esim, [8] Deneysel çift köprülü vinç sisteminin yapay sinir ağları ile titreşim analizi yapılan çalışmaların arasında yer almaktadır. Nurhan G. Ö. ve Yunus Emre K., [9] Rulmanlarda, titreşim verilerinden durum izleme ve arıza teşhisi için derin öğrenme yönteminin uygulanması. Mehmet Bahadır Çetinkaya, Emir Esim, Muhammed İşci, Deneysel bir torna tezgahının titreşim karakteristiğinin yapay sinir ağı kullanılarak analizi [10]'te araştırılmıştır. Emir Esim, Şahin Yıldırım, Yapay sinir ağlarını kullanarak dikey matkap makinesinin delme performansı analizi [11] çalışmada yapılmıştır. Bu çalışma, farklı çalışma koşulları altında farklı malzemeler için matkap kolonu makinesinin titreşimini test etmek ve değerlendirmek için yeni bir deneysel yaklaşımı sunmaktadır.

Chi-Wei Lin, Yang-Kuei Lin and Chih-Hsing Chu [12] Takım tezgahlarının mil-yatak sistemlerinin dinamik modelleri ve tasarımı oluşturulmuştur. Bu makale yatakların dinamik etkisini açıklamaktadır. T. Kumar, Prof. P. Kumar Sahu and Prof. J. Saini [13] Geleneksel işleme altında torna mili (şaft)'nin statik ve dinamik yapısını araştırmak için FEM kullanıldı ve bu makale şaftın statik ve yorgunluk analizini sunuyor. A. Senkus and E. Jotautiene [14] Torna tezgâhı takım tutucusunun fem sayısal analizinin bir analizini inceledik. A. S. Delgado, E. Öztürk and N. Sims [15] Doğrusal olmayan takım tezgâhı dinamik davranışını analiz ettik. A. Telang [16] Yüksek frekanslı frezeleme milinin statik sertlik analizini inceledik, yüksek dönüş hızlarında farklı rulmanlarla sonuçları karşılaştırmaya olanak tanır. P. A. Devi, G. Laxmaiah and V. J. Reddy [17] Yüksek hızlı motorlu milin statik ve dinamik analizi ve harmonik tepkisi üzerinde çalışıldı. R. S. Bhatia, Er. N. tarafından yürütülen çalışmada N. Singh and Dr. P. K. Sinha [18] Fem tarafından freze makinesinin çok noktalı kesici takımlarının bir çalışması ve titreşim analizi gerçekleştirildi. A. Bhatkorse and G. U. Raju [19] Takım tezgâhı milinin modal analizi ve harmonik tepkisi gösteren bir çalışma sunmuştur. Z. Shen, Z. Shibo, B. Wang ve G. Thomas [20] Rulman arıza teşhisi için makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları konusunda bir eser yayımlamıştır. D. M. Rajesh, B. H. Krishna, K. L. Reddy, S. A. R. Hussain, M. Srinivasulu, B. R. Reddy, ve A. S. Fazal [21] Bir aracın ön ve arka takımı birleştiren ana şaft için özel yapıya sahip, Kompozit şaftın statik ve dinamik davranışı için tasarım ve sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. J. Muhsin [22] çalışmasında, Kusurlu ve kusursuz dönen kademeli bir şaftın dinamik analizi yaparak

sonuçları karşılaştırma şansı elde etmiştir. Ş. Yıldırım ve İ. Eski [26] Deney cihazı kullanarak ve yapay sinir ağı kullanılarak deneysel bir süspansiyonun titreşim analizi yapılmıştır. S. Haggag, A. R. Adly ve M. Z. Abdelaal [27] Döner Makinenin Arıza Teşhisi İçin Yapay Sinir Ağı Modeli. J. Liu ve X. Yang [28] Titreşim analizlerini yapıldığını öğrenmek için yapılan bu çalışmada Titreşim frekans tahmini için sinir ağı kullanımı üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir



1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Problem Durumu

Kesici takımlarda aşınma, kısaca kesici uçların iş parçalarına nüfuz ettiği yüzeylerinde oluşan malzeme kayıplarıdır ve birçok farklı şekilde meydana gelebilir. Yüzyıllar boyunca endüstriyel üretimde kullanılan kesici takımlar birbirinden çok farklı birçok malzemeden üretilmiştir. Her bir malzemenin kendine özgü farklı avantaj ve dezavantajları bulunmakta, buna göre farklı iş parçalarının işlenmesinde kullanılmaktadır. İşte bu farklı avantaj ve dezavantajları iyi okumak ve buna göre kesici takım seçimi yapabilmek için, kesici takımlardaki aşınma mekanizmalarını ve tiplerini iyi bilmek gerekmektedir. Kesici takımlarda sıklıkla görülen aşınma tipleri:

- Serbest Yüzey Aşınması
- Krater Aşınması
- Talaş Yığılması
- Çentik Aşınması
- Plastik Yer Değiştirme
- Termal Çatlaklar
- Kenar Tanecik Kırılmasıdır.

Kesici takımlarda meydana gelen aşınmalardan kaynaklı kayıplar:

- İşlenen parçanın kalitesine direkt etki eder
- Büyük maddi kayıplara neden olur

- Zaman kaybına neden olur
- İş gecikmesi oluşur
- Beklenmeyen duruşlar meydana gelir
- Yapılan planlamaya uyumsuzluklara sebep olur
- Üretimde aksaklıklara neden olur

1.2. Araştırmanın Amacı

Talaşlı imalat süreçlerinde, imalat sırasında tezgâhların üzerinde meydana gelen titreşimler ölçüm hassasiyeti, takım ve tezgâhların ömrünü azaltabilir. Sonuç olarak, talaşlı imalat süreçlerinde yüksek doğrulukta titreşim analizi çok önemlidir.

Talaşlı imalat yöntemlerinin en sık kullanılan ve her vida için olması gereken diş açma işlemi için, günümüzde otomatik diş açma sütunları kullanılmaktadır. Bu çalışma için dikey matkap makinesi kullanılmıştır ve mil üzerine etki eden kuvvetleri ve etkileri anlamak için hem statik hem dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca imalat sırasında mil üzerine etki eden titreşimler bir ivme sensörü yardımıyla deneysel olarak ölçülmüş ve veriler elde edilmiştir. Yapay sinir ağları, insan beyninin öğrenme sürecini modelleyen ve çeşitli alanlardaki sorunları optimize etmek için kullanılır. Titreşime neden olan kesici takım malzemesi ve cinsi, imalat parametreleri, ilerleme miktarı ve dönme hızı üzerinden titreşim analizi gerçekleştirilmiştir.

1.3. Araştırmanın Önemi

Literatürde, bu dalga türlerini elde ederek titreşim analizi yapmak için üç farklı yöntem önermektedir. Bunlar yer değiştirme ile titreşim analizi, hız ölçümü ile titreşim analizi ve ivme ölçümü ile titreşim analizi yöntemleridir. Yüksek frekanslarla çalışırken ivme ölçümü, yer değiştirme, titreşim ve hız ölçümü ile titreşim analizine göre daha iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu tez çalışması, ivme ölçümüne dayalı titreşim analizlerini içermektedir.

Üretimde kayıplara neden olan titreşimler için çok sayıda literatürde araştırma yapılmıştır. Özellikle dönme hareketine sahip aksam da pozitif sonuçlar elde edildiği

görülmektedir. Diş açma esnasında oluşan titreşimleri yapay sinir ağları ve derin öğrenme teknikleri sayesinde kesici takımların aşınma seviyeleri ve değişim zamanlarını kontrol etmek mümkün olacaktır. Operatöre bağlı kalmayıp aşınmış takımlar ile kalitesiz imalat süreçlerini en aza indirmek mümkün olacaktır.



2. BÖLÜM

DENEYSEL SİSTEM VE KESME DİNAMİĞİ

2.1. Deneysel Sistem

Bu çalışma için tam otomatik dikey matkap makinesi seçilmiştir. Dikey matkap, operatörün belirli bir noktadan hassas şekilde talaş kaldırmasını sağlayan bir ekipmandır. Talaş kaldırma işlemi sırasında, miktarın etkin bir şekilde belirlenmesini ve uygulanmasını sağlar. Matkabın makineye rijit bağlantısı, operatörden kaynaklanabilecek hata risklerini ortadan kaldırarak işlem doğruluğunu artırır. Bu özellik, balans işlemlerinde hata payını en aza indirir ve yüksek hassasiyet gerektiren projelerde güvenilir bir çözüm sunar. Kullanılan tezgâhın görünümü Şekil 1’de verilmiştir.



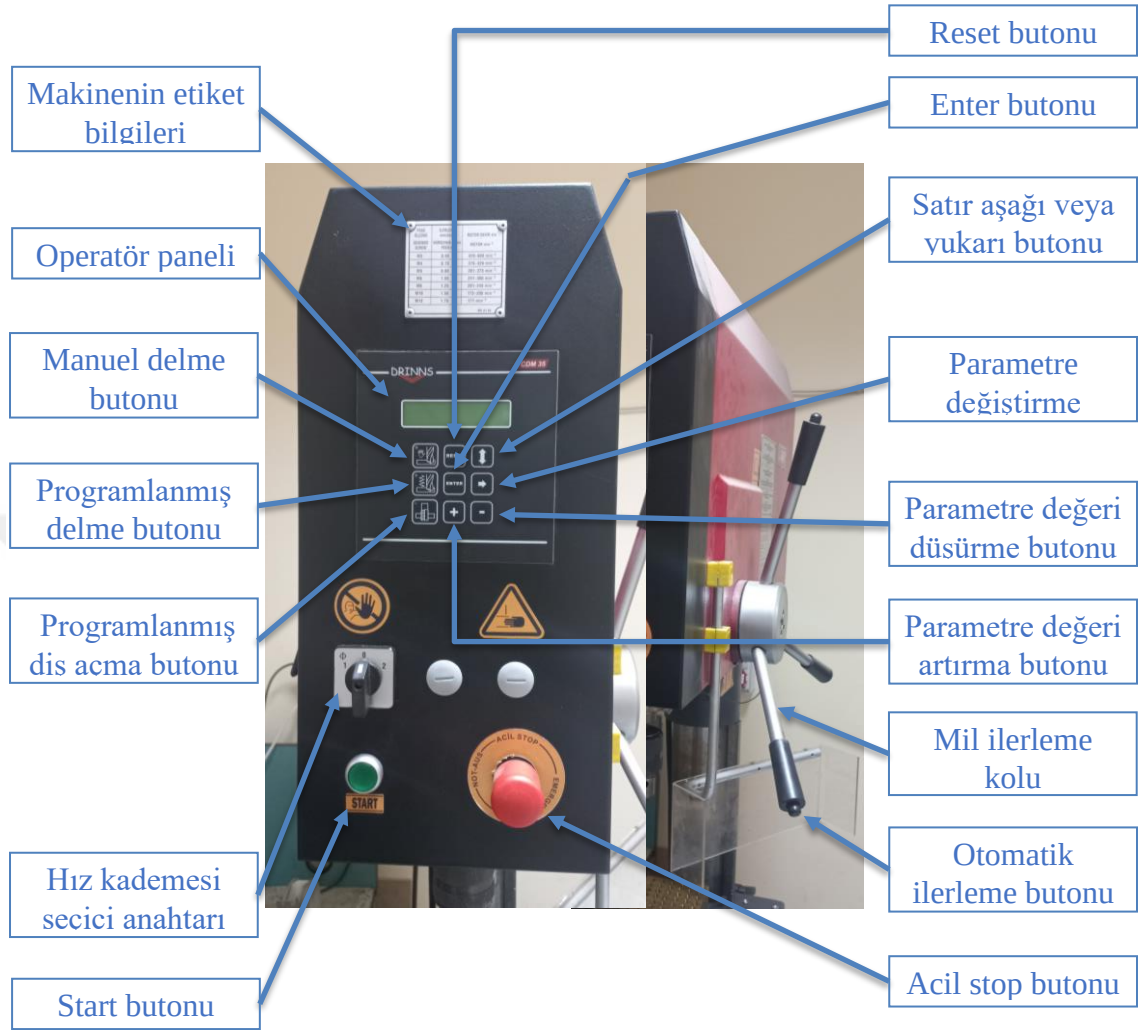
Şekil 1. Otomatik dikey matkap makinesi

Bu tezgahların temel özellikleri arasında sabit bir sütun, ayarlanabilir tabla, değişken hız ayarları ve kayışlı bir çalışma sistemi bulunur. İşlem görecektir parçayı mengene yardımı ile sabitlenir. Diş açma kapasitesi, tezgâhın kılavuz çekebileceği maksimum vida çapını gösterir. 230V AC beslemeye sahip matkap tam 1,5kW gücüne sahiptir. Matkabın tüm özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Matkap sütun makinesinin teknik özellikleri

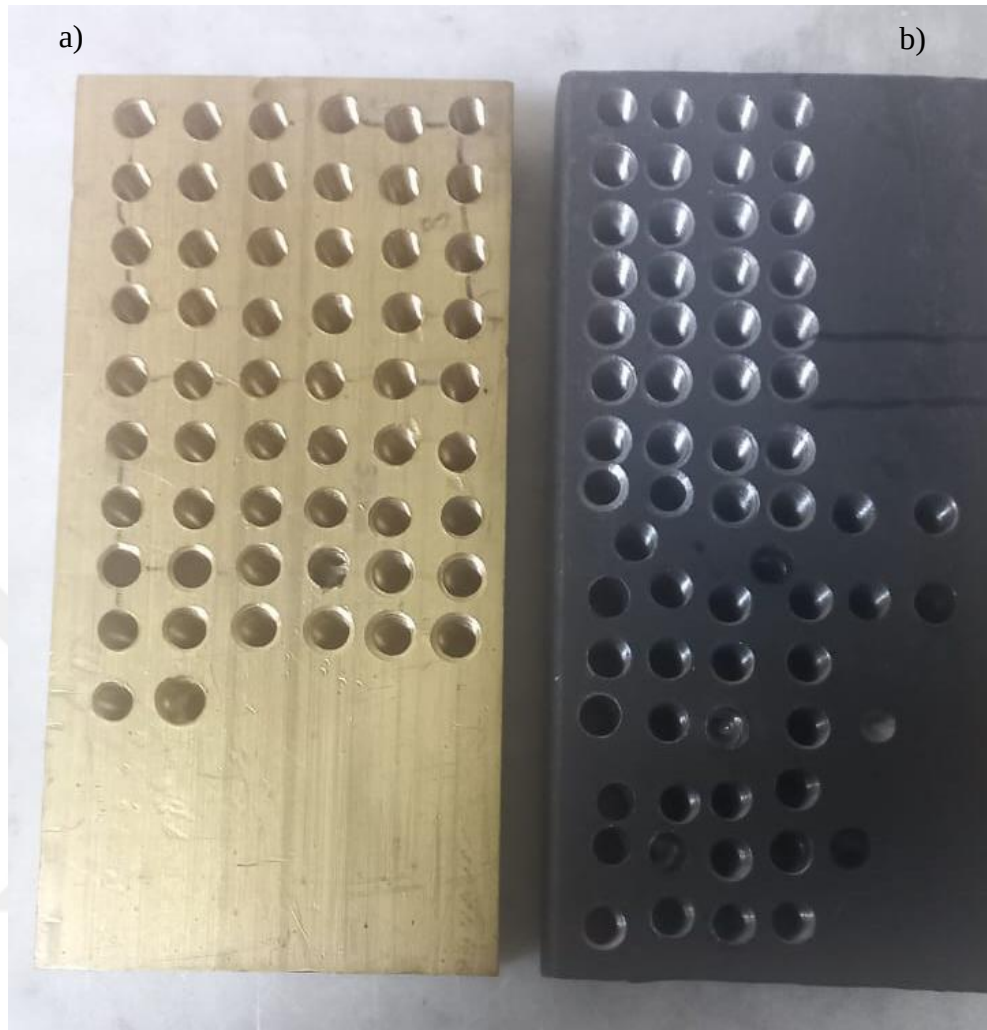
Makinenin özellikleri	Değerleri
Delme çapı kapasitesi	35 mm
Diş açma kapasitesi	M 20
Mil çalışma mesafesi	130 mm
Kolon çapı	100 mm
Masanın çalışma alanı	440x350 mm
Milin dönme hızı	160-2000 rpm
Motorun gücü	1,5 kW
Makinenin ağırlığı	305 kg
Makinenin yüksekliği	1910 mm
Maksimum ses seviyesi	65dB

Bu bölüm, matkap sütun makinesinin bazı özelliklerine ilişkin bilgileri açıklamaktadır. Bu makinenin özelliği ilerleme hızı ve dönme hızı gibi parametreleri Şekil 2’de gösterildiği gibi operatör paneli sayesinde tam ayarlayabiliyor olmasıdır. Ayrıca otomatik delme ve diş açma özelliğine sahiptir. İmalat sırasında tüm deneysel sonuçlar için aynı dış etkenlere maruz bırakılmıştır. Resimde görüldüğü gibi talaşlara karşı koruma kapağı ve acil stop butonu bulunmaktadır.



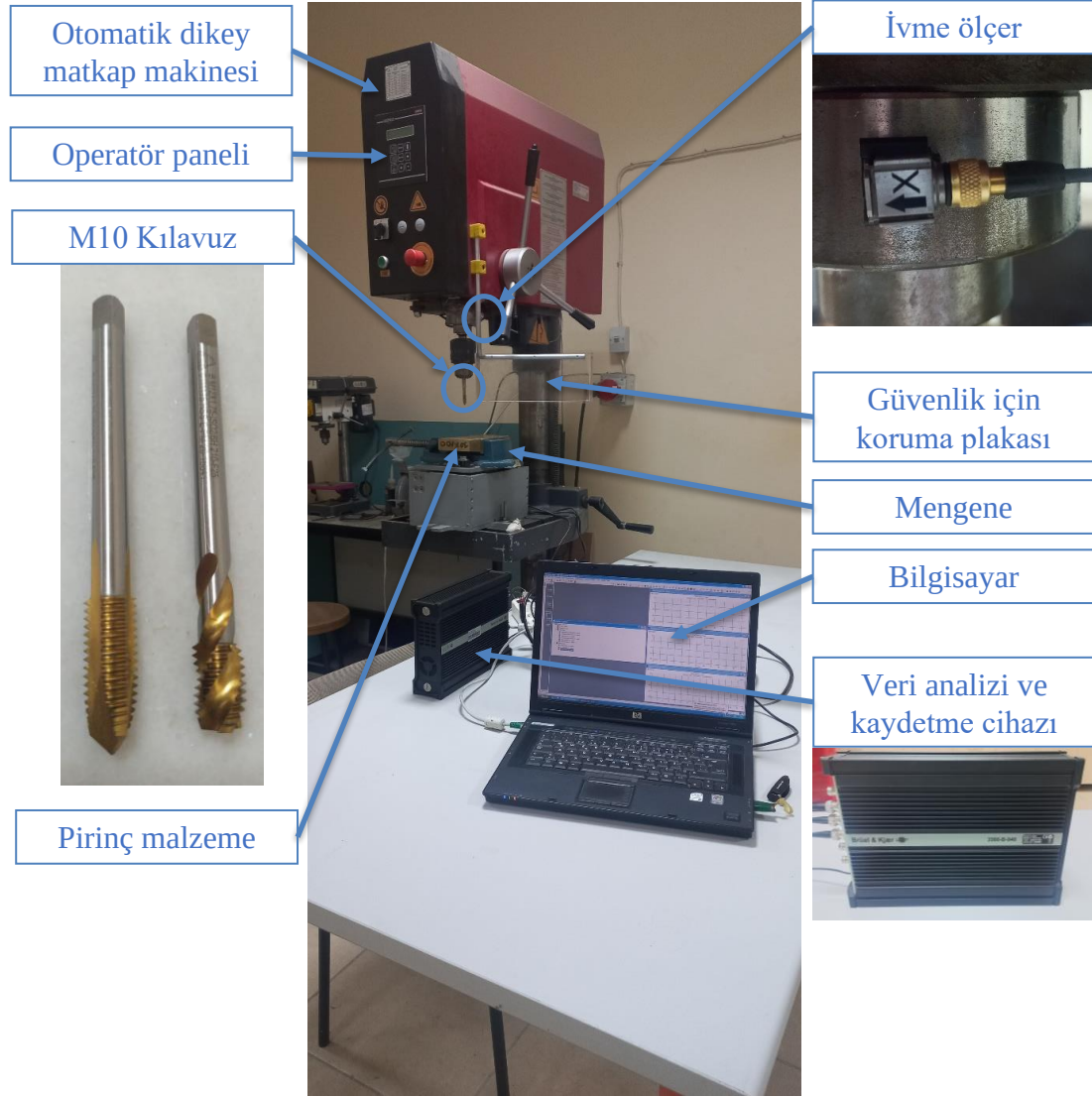
Şekil 2. Dikey matkap kontrol paneli

Deneysel çalışmalarda iki farklı malzeme kullanılmıştır. İş parçası olarak 200 mm x 100 mm x 30 mm ölçülerinde CuZn37 pirinç malzeme ve 200 mm x 100 mm x 30 mm ölçülerinde St37 çelik malzeme (bkz. Şekil 3). İşleme süreci genellikle sert veya yumuşak malzemelerle karşı karşıya kalır. İki malzemenin seçilmesinin bir diğer nedeni de malzemeye etki eden titreşimin etkisinin araştırılmasıdır. Ayrıca deneysel testte kesici takımlarda M10 çapında, 135 takım açısına sahip yüksek hız çeliği (HSS) helisel takımlar kullanılmıştır.



Şekil 3. Deneyde kullanılan malzemeler a) Pirinç, b) Çelik

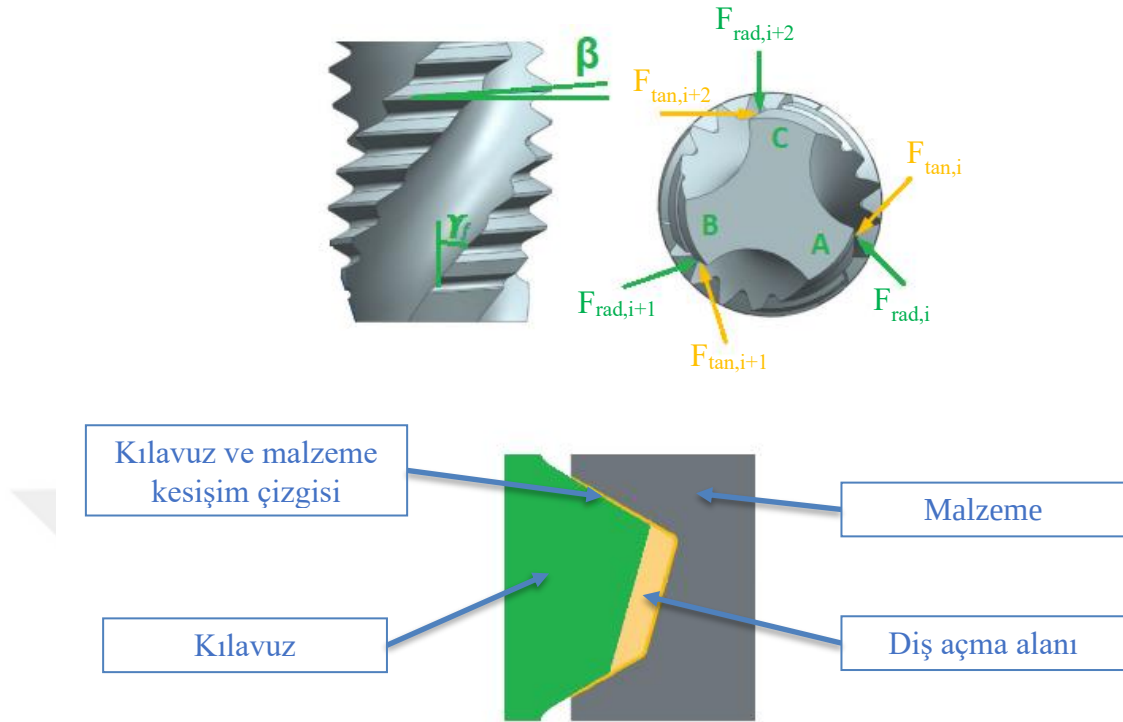
DeneySEL test sistemi Şekil 4' de gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi, üç eksenli ivmeölçer çalışma masasına monte edilmiştir.



Şekil 4. Deneysel test sistemi görünümü

2.2. Diş Açma Dinamiği

Diş açma dinamiği, katı malzemelerde dairesel kesitli bir deliği kesmek ve vida etkisi oluşturmak için bir matkap kılavuzu kullanan bir kesme işlemidir. Matkap kılavuzu, genellikle çok noktalı, döner bir kesme aletidir. Hedef iş parçasına bastırılır ve dakikada yüzlerce devir arasında döndürülür. Bu, kesici kenarı iş parçasına doğru zorlar ve delikten talaşları keser. Şekil 5'de gösterilen kesme parametreleri ve Şekil 6'da gösterilen kesme kuvvetleri aşağıdaki alt bölümde açıklanmıştır.



Şekil 5. Kılavuz diş açısı ve kesme parametreleri

Gerekli ayar β eğim açısına karşılık gelir ve DIN 13-28'e göre aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

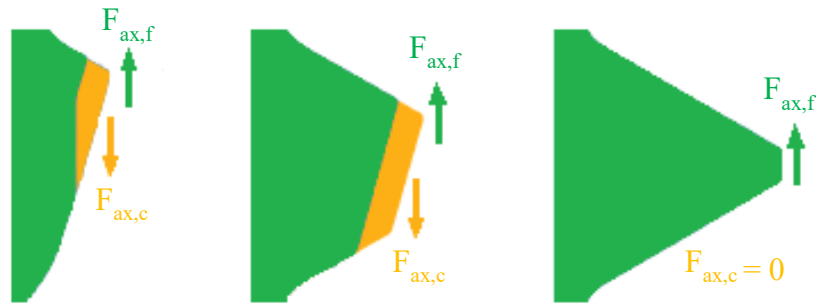
$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{P}{d_2 \cdot \pi} \right)$$

Takım ile ilgili teğetsel, radyal ve aksiyal kuvvetler, ölçülen kuvvet sinyalleri aracın koordinat sistemine dönüştürerek hesaplanabilir:

$$F_{ax} = F_y \cdot \cos(\beta) - F_z \cdot \sin(\beta)$$

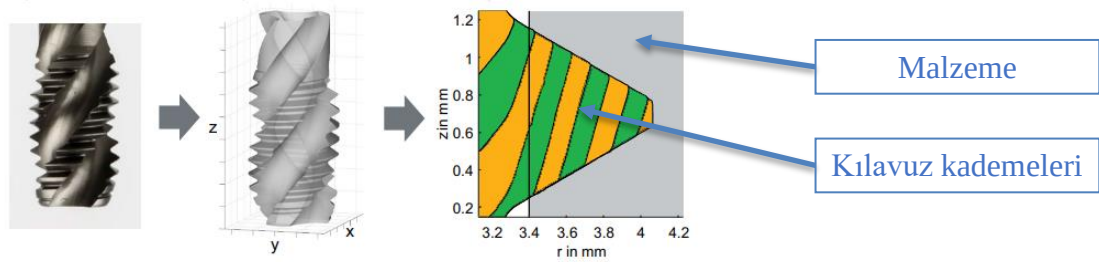
$$F_{tan} = F_y \cdot \sin(\beta) + F_z \cdot \cos(\beta)$$

$$F_{rad} = F_x$$



Şekil 6. Kesme kuvvetleri

DeneySEL sonuçlara dayalı olarak kılavuz çekme takımına göre teğetsel, radyal ve eksenel yönde sabit talaş kaldırma sırasındaki ortalama kuvvetler.



Şekil 7. Talaş kaldırma adımları

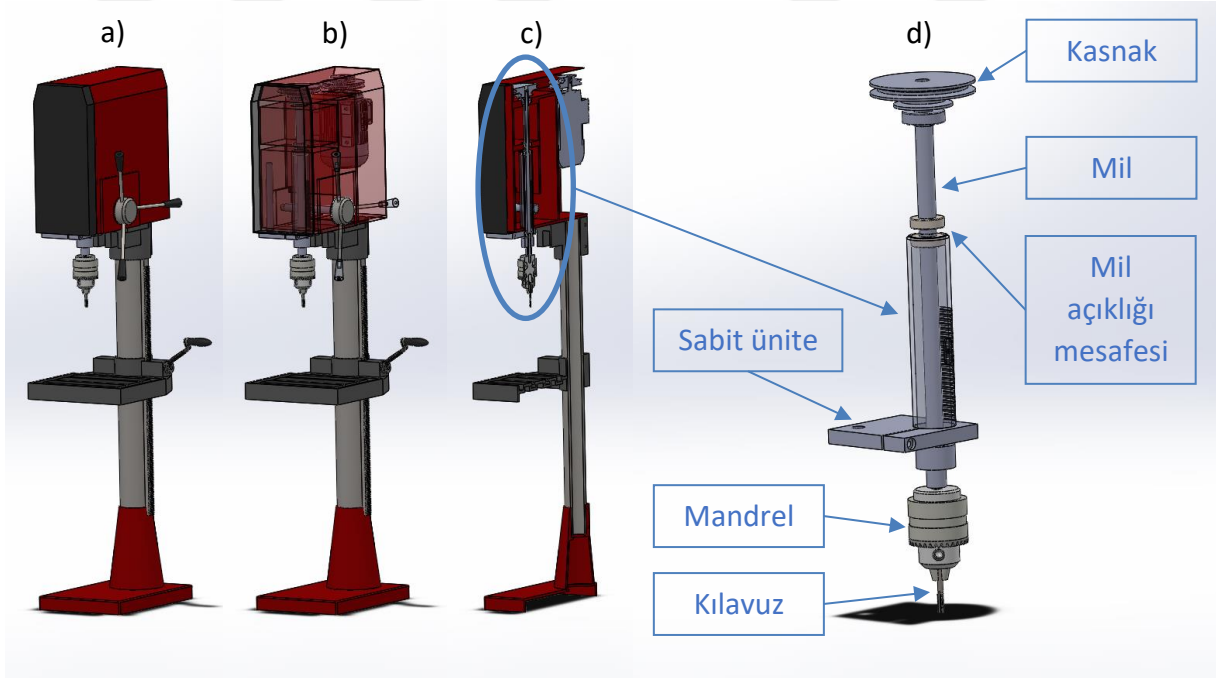
Bir deliğe diş açıldığında Şekil 7’de gösterildiği gibi her adım için farklı orantıda talaş kaldırma alanları gösterilmiştir.

3. BÖLÜM

DİŞ AÇMA ESNASINDA MATKAP TEZGÂHININ STATİK VE DİNAMİK ANALİZLERİ

3.1. Matkap Makinesi Milinin Sonlu Eleman Modeli

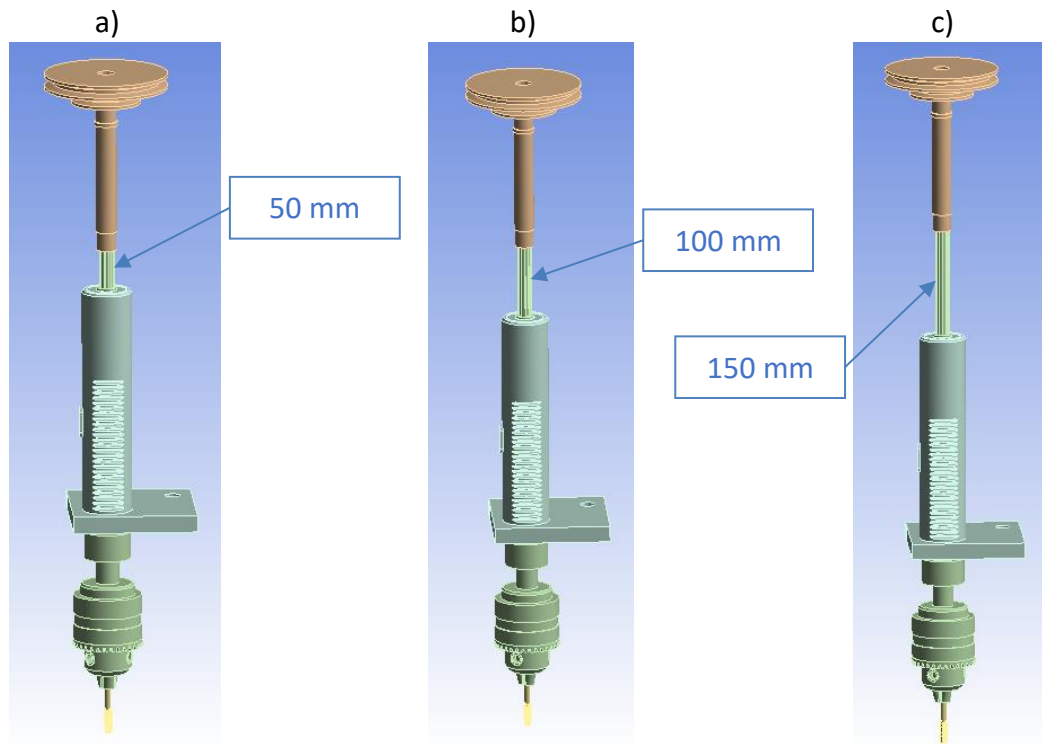
Analiz için, Şekil 8'de kasnak, şaft, yatak, mandrel ve kesici takımla temsil edilen bir sütun matkabı ve matkap şaftının bu modeli kullanılır. Sütun matkabının analizinde kullanılan parçayı daha iyi anlamak için çok sayıda görünüm vardır. Analizler için, aşağıda belirtildiği gibi şaftın yataklara göre çeşitli pozisyonları kullanılmıştır.



Şekil 8. 3B Sütun matkabı modeli

a) Genel görünüm, b) Şeffaf görünüm, c) Kesit görünüm, d) Şaft görünümü

SOLIDWORKS programı kullanılarak model oluşturmuş ve statik, dinamik, harmonik ve geçiş analizlerinin yapıldığı ANSYS programına aktarılmıştır. Model üç konumda temsil edilmektedir. Yataklar arasındaki şaft açıklığı mesafesi 50 mm, 100 mm ve 150 mm'dir. Şekil 1'de mesafe 0 mm'dir. Kullanılan kılavuz ise M10'dur. Analizlerde mil malzemesi olarak dört farklı malzeme tercih edilmiştir. Aşağıdaki Tablo 2'de bu kullanılan çeşitli malzemelerin mekanik özellikleri verilmiştir. Sabit parça ve kasnak parçası için yapısal çelik kullanılmıştır ve kılavuz olarak HSS malzeme seçilmiştir.



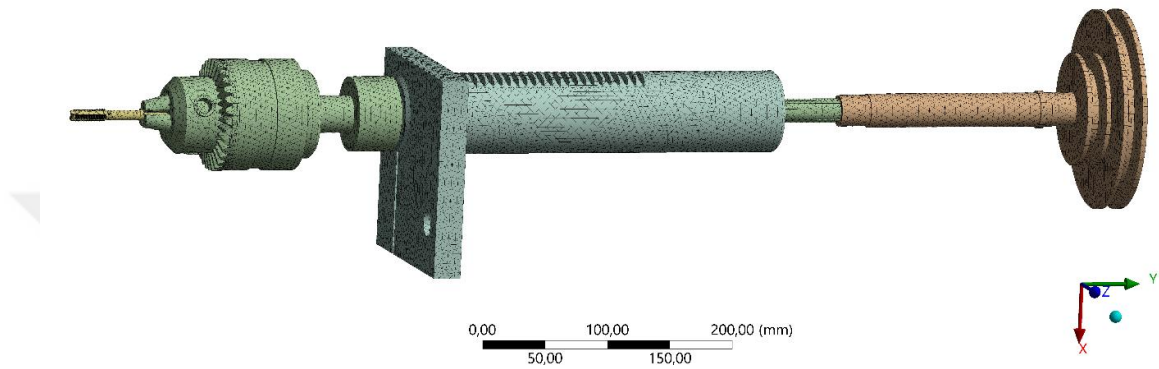
Şekil 9. Mil açıklığının tüm pozisyonları

a) 50 mm, b) 100 mm, c) 150 mm

Tablo 2. Malzeme özellikleri

Malzeme özellikleri	20MnCr5	4340	8620	Ck45	HSS
Young Modülü (GPa)	210	205	205	205	207
Poisson Oranı	0,28	0,32	0,29	0,29	0,3
Yoğunluk (g/cm ³)	7,85	7,87	7,86	7,86	7,88
Nihai Kuvvet (MPa)	530	655	635	515	960
Verimli Kuvvet (Mpa)	385	415	360	485	550

Elamanlara bölme işlemi: kasnak, şaft, sabit parça ve mandren olmak üzere dört parçaya üzerine uygulanmıştır. Tüm yapı için elaman boyutu 5mm olarak belirlenmiştir. Buna göre düğüm sayısı 300744 ve eleman sayısı 186289'dur. Milin sonlu eleman modelinin görünümü Şekil 10'te verilmiştir.



Şekil 10. İş mili mandren ve kasnaktan oluşan yapının sonlu elemanlar modeli

Diş açma aşamasında, diş açma ve şaft çeşitli kuvvet ve tork türlerine maruz kalır. Bu kuvvetlerin etkileri gözle görülemeyen yer değiştirme ve gerilmeye neden olur. Bu durum kullanılan takımı deforme etmeye veya hatta kırmaya kadar götürebilir. Bu nedenle doğrulama ve güvenlik için statik ve dinamik analiz gereklidir.

3.2. Yapısal Analiz için Sonlu Elemanlar Modeli Yaklaşımı

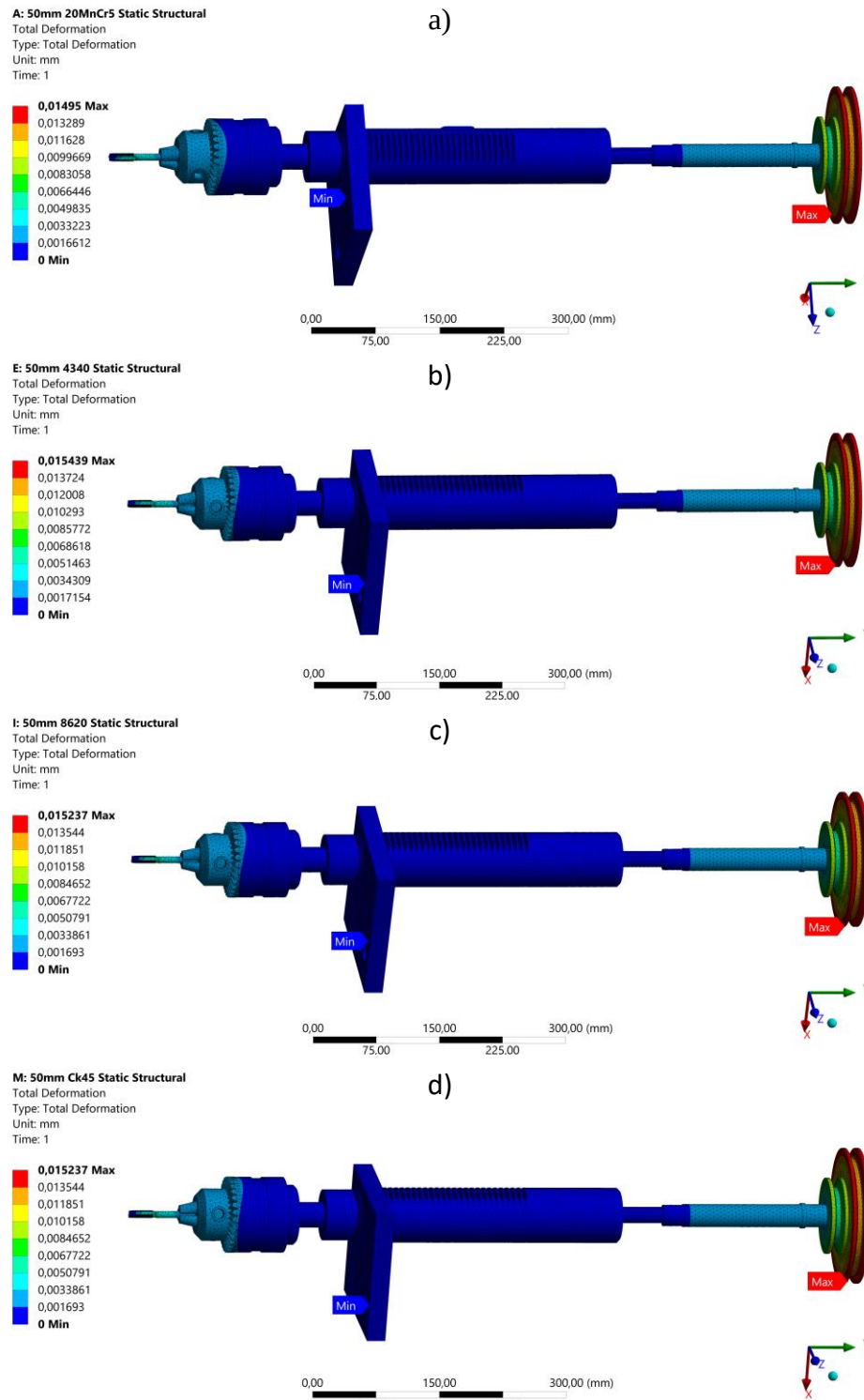
ANSYS yazılımının amaçlanan sonuçları çözmek için kullandığı genel teknikler bu bölümde ele alınmaktadır. İncelenecek sistem, adından da anlaşılacağı gibi, sonlu eleman yaklaşımını kullanmak için öncelikle sonlu sayıda elemana bölünmelidir.

Aşağıdaki matris denklemi, doğrusal statik yapısal analiz için yer değiştirmeler $\{x\}$ için çözüm sağlar:

$$\begin{aligned} [K]\{x\} &= \{F\} \\ \{x\} &= [K]^{-1}\{F\} \end{aligned} \quad (1)$$

Bu durumda, küresel sertlik matrisi olarak da bilinen $[K]$, $n \times n$ bileşenden oluşur, burada n sistemin toplam serbestlik derecesi sayısıdır. Tersine, düğüm yer değiştirme alanları $\{x\}$ ile ve düğüm kuvvet alanları $\{F\}$ ile gösterilir, bunlar her biri n bileşenli sütun

Analiz üç farklı shaft uzunluğuna ve dört farklı malzemeye göre yapılmış olup 50 mm, 100 mm ve 150 mm açıklıklar için elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 12, 13 ve 14'de verilmiştir.

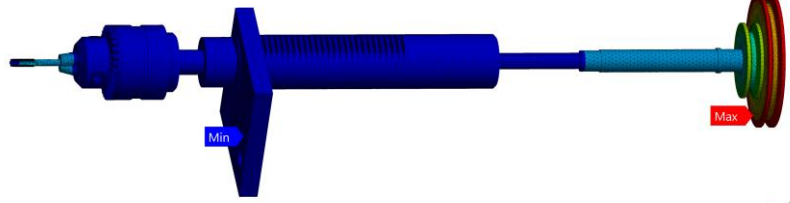


Şekil 12. 50 mm shaft açıklığında Toplam Yer Değiştirme için yapısal analiz sonuçları
a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme

Q: 100mm 20MnCr5 Static Structural

Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

0,023007 Max
0,020451
0,017894
0,015338
0,012782
0,010225
0,007669
0,0051127
0,0025563
0 Min



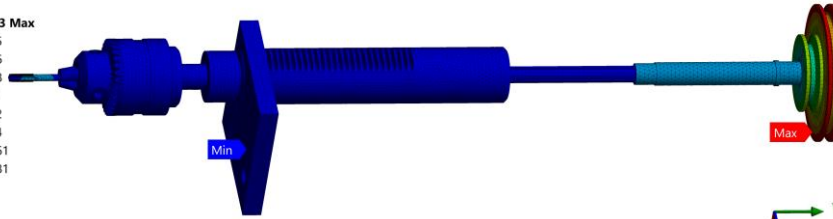
0,00 75,00 150,00 225,00 300,00 (mm)

a)

AK: 150mm 4340 Static Structural

Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

0,032203 Max
0,028625
0,025046
0,021468
0,01789
0,014312
0,010734
0,0071561
0,0035781
0 Min



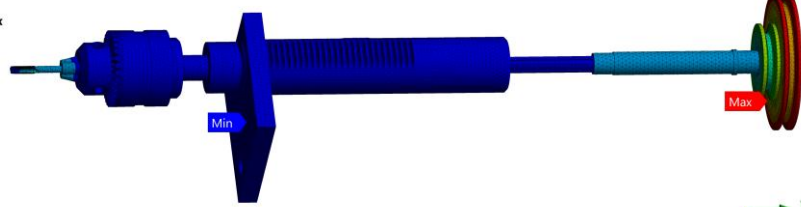
0,00 75,00 150,00 225,00 300,00 (mm)

b)

Y: 100mm 8620 Static Structural

Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

0,023526 Max
0,020912
0,018298
0,015684
0,01307
0,010456
0,0078419
0,005228
0,002614
0 Min



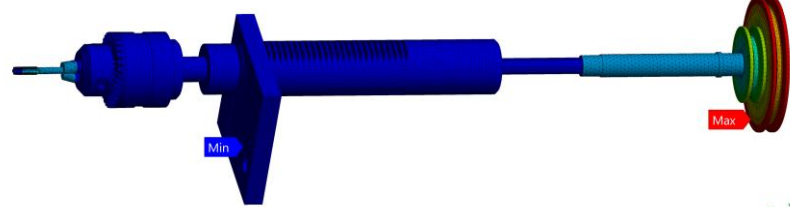
0,00 75,00 150,00 225,00 300,00 (mm)

c)

AC: 100mm Ck45 Static Structural

Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

0,023526 Max
0,020912
0,018298
0,015684
0,01307
0,010456
0,0078419
0,005228
0,002614
0 Min

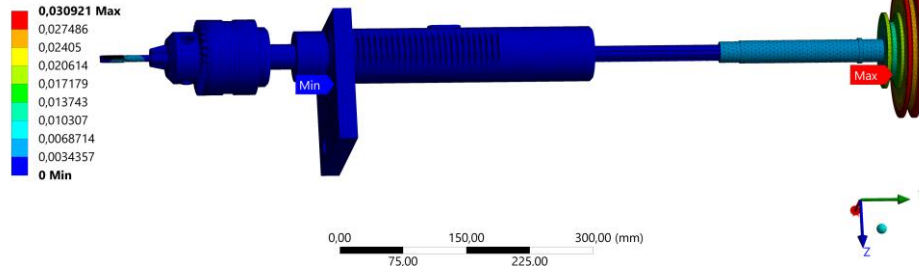


0,00 75,00 150,00 225,00 300,00 (mm)

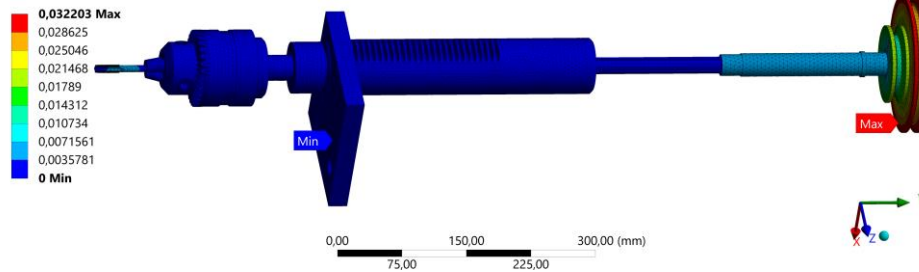
d)

Şekil 13. 100 mm shaft açıklığında Toplam Yer Değiştirme için yapısal analiz sonuçları
a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme

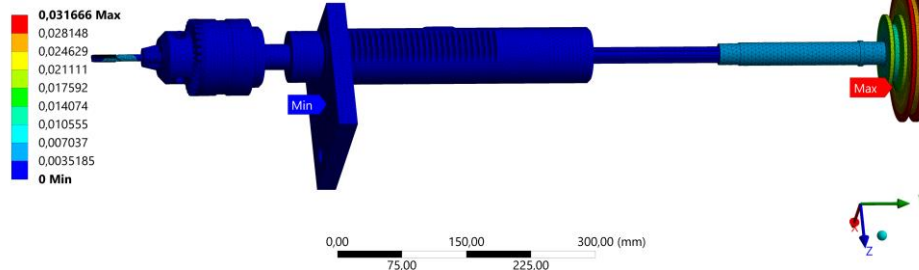
AG: 150mm 20MnCr5 Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1



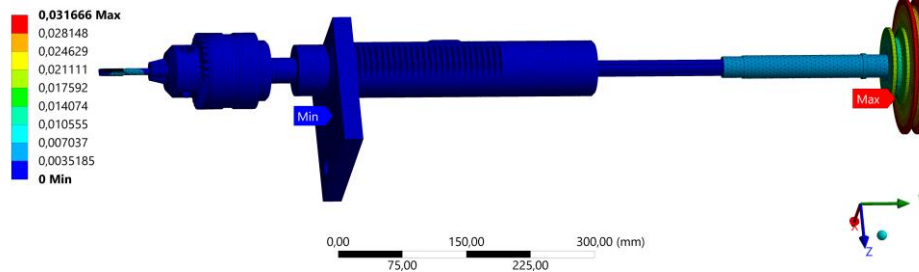
AK: 150mm 4340 Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1



AO: 150mm 8620 Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1



AS: 150mm Ck45 Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1



Şekil 14. 150 mm şaft açıklığında Toplam Yer Değiştirme için yapısal analiz sonuçları
 a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme

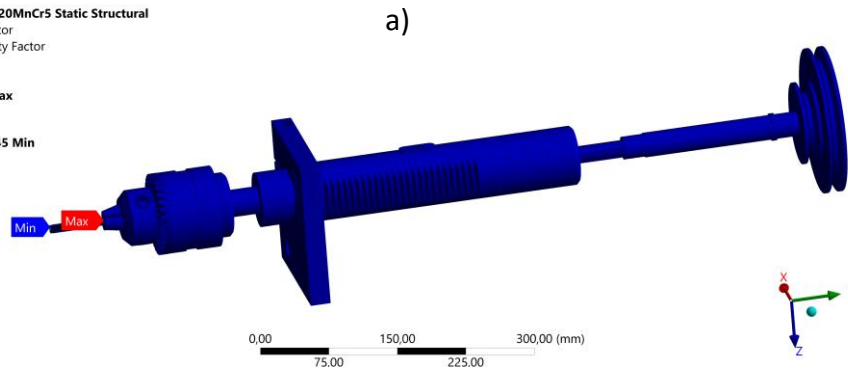
Güvenlik faktörünün basit bir tanımı vardır. Malzemenin mukavemetinin parçanın maksimum gerilimine oranı olarak tanımlanır. Güvenlik faktörü oranı 1'in altına düştüğünde, belirli bir konumdaki gerilim malzemenin mukavemetini aştığında tehlikeyi gösterir. Özünde, gerilmenin modelin belirli bir bölgesinde malzemenin mukavemetini aştığını gösterir. Model, güvenlik faktörü 1'den büyük olduğu ve modeldeki gerilme malzemenin mukavemetinden önemli ölçüde az olduğu sürece güvenlidir.

Güvenlik faktörü, gerilme ve mukavemet arasındaki orandır. İşte farklı malzemeler ve shaft açıklıkları için analizden sonra güvenlik faktörü sonuçları aşağıdaki gibidir.



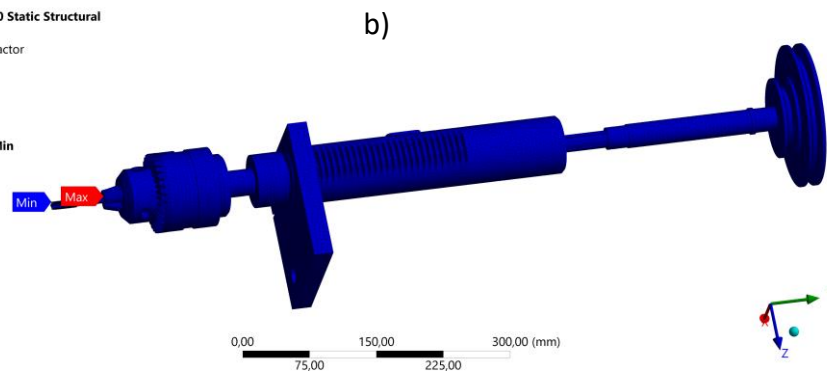
A: 50mm 20MnCr5 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

15 Max
 10
 3,7745 Min
 0



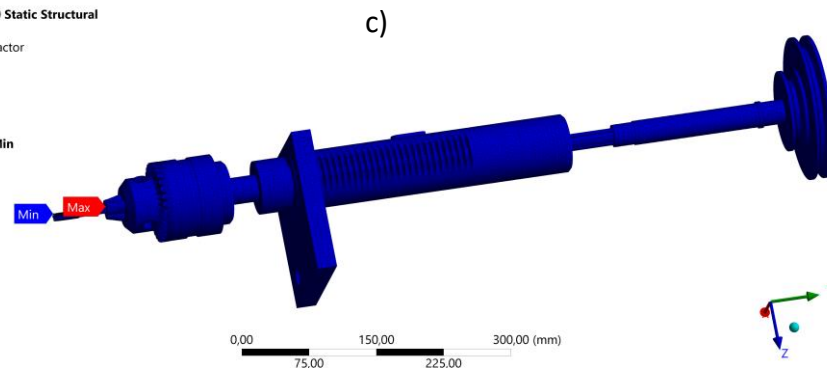
E: 50mm 4340 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

15 Max
 10
 3,7649 Min
 0



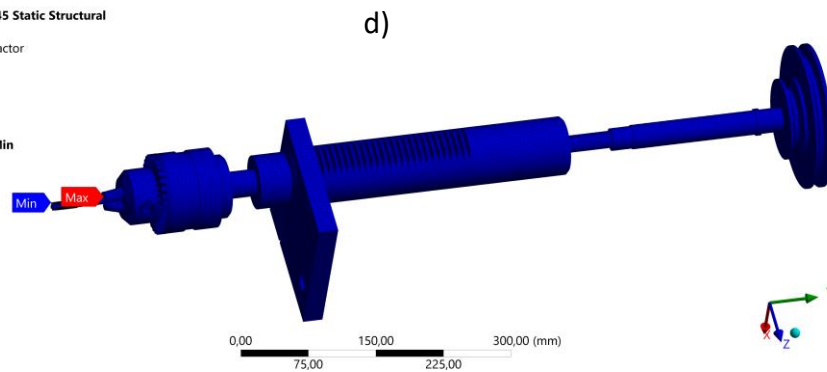
I: 50mm 8620 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

15 Max
 10
 3,7632 Min
 0



M: 50mm Ck45 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

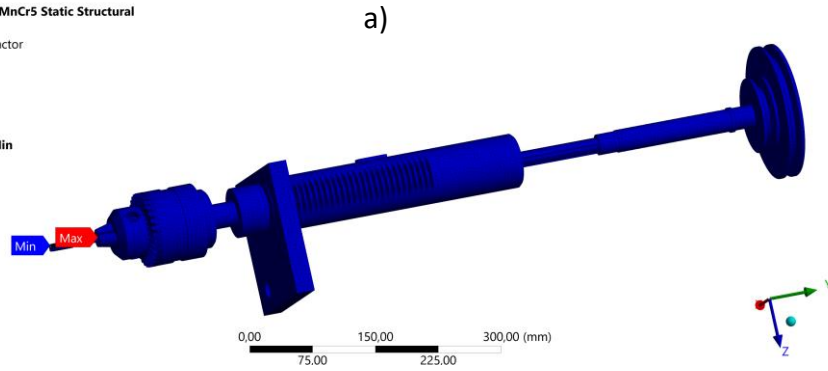
15 Max
 10
 3,7632 Min
 0



Şekil 15. 50 mm şaft açıklığında Güvenlik Faktörü için yapısal analiz sonuçları
 a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme

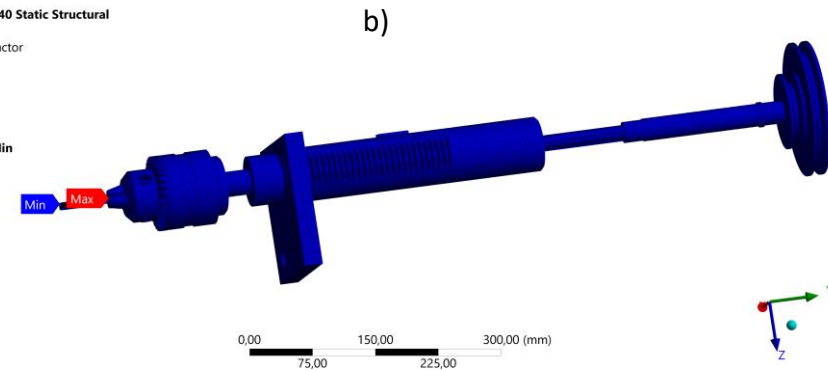
Q: 100mm 20MnCr5 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

15 Max
 10
 2,9517 Min
 0



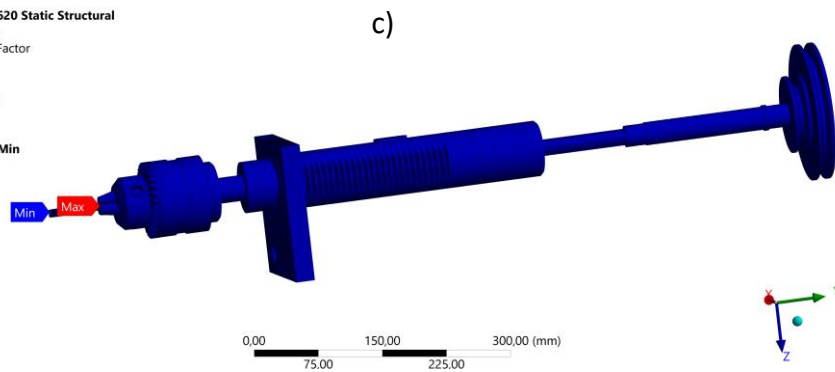
U: 100mm 4340 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

15 Max
 10
 2,9437 Min
 0



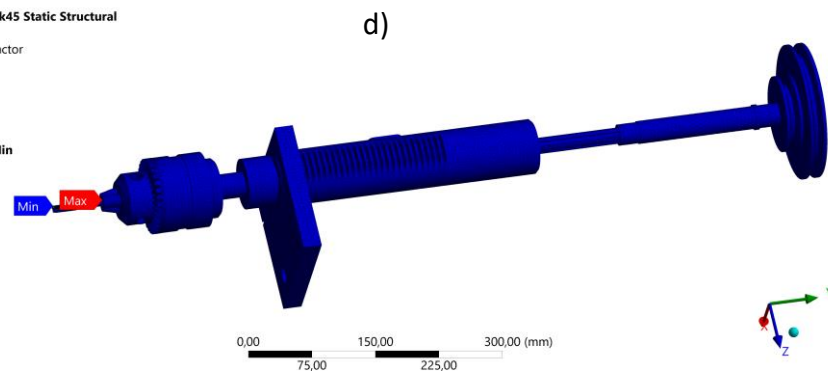
Y: 100mm 8620 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

15 Max
 10
 2,9424 Min
 0



AC: 100mm Ck45 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

15 Max
 10
 2,9424 Min
 0



Şekil 16. 100 mm shaft açıklığında Güvenlik Faktörü için yapısal analiz sonuçları
 a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme

AG: 150mm 20MnCr5 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

15 Max
 10
 2,9516 Min
 0

Min Max

0,00 75,00 150,00 225,00 300,00 (mm)

a)

U: 100mm 4340 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

15 Max
 10
 2,9437 Min
 0

Min Max

0,00 75,00 150,00 225,00 300,00 (mm)

b)

AO: 150mm 8620 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

15 Max
 10
 2,9424 Min
 0

Min Max

0,00 75,00 150,00 225,00 300,00 (mm)

c)

AS: 150mm Ck45 Static Structural
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

15 Max
 10
 2,9424 Min
 0

Min Max

0,00 75,00 150,00 225,00 300,00 (mm)

d)

Şekil 17. 150 mm şaft açıklığında Güvenlik Faktörü için yapısal analiz sonuçları
 a) 20MnCr5 malzeme, b) 4340 malzeme, c) 8620 malzeme, d) Ck45 malzeme

Daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek için statik analizden elde edilen sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Sonuçlara göre kasnak ile şaft arasındaki mesafe ne kadar uzatılırsa yer değişiminin o kadar arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca açıklık en küçük olduğunda güvenlik katsayısının en yüksek olduğu da anlaşılmaktadır. Öte yandan 100 mm ile 150 mm açıklık arasında güvenlik katsayısı değişmemektedir.

Tablo 3. Statik analiz sonuçları

Şaft açıklığı	Malzemeler	Toplam Yer Değiştirme	Eşdeğer Gerilme	Güvenlik Faktörü
50 mm	20MnCr5	0,01495	66,234	3,7745
	4340	0,015439	66,403	3,7649
	8620	0,015237	66,433	3,7632
	Ck45	0,015237	66,433	3,7632
100 mm	20MnCr5	0,023007	84,698	2,9517
	4340	0,023899	84,926	2,9437
	8620	0,023526	84,965	2,9424
	Ck45	0,023526	84,965	2,9424
150 mm	20MnCr5	0,030921	84,699	2,9516
	4340	0,032203	84,927	2,9437
	8620	0,031666	84,966	2,9424
	Ck45	0,031666	84,966	2,9424

3.3. Dinamik Analiz

Modal analiz, bir yapıya özgü doğal titreşim özelliklerini incelemekten oluşur. Yapının bir uyarıma yanıt olarak geçirebileceği tüm karmaşık titreşimler, doğal titreşimlere üst üste bindirilerek ifade edilebilir. Bu nedenle, doğal titreşimler biliniyorsa, bir yapının titreşim davranışının çoğu tahmin edilebilir. Doğal bir titreşim durumu, mod şekli, frekansı ve ilişkili sönümlleme ile tanımlanır. Bu adım, tasarlanan yapının doğal titreşim özelliklerini tahmin etmek için tasarım sürecinde önemlidir. Bu nedenle modal analizin amacı, doğal frekansları ve davranışları belirlemektir.

Bu nedenle, her adım mekanik sistem içinde uygulanmıştır. Bir yapının titreşim modları, ANSYS Workbench 2020 R2 kullanılarak analiz edilmiştir

İş parçasının kalitesi, takım tezgahının dinamik performansından önemli ölçüde etkilenir. Takım tezgahlarının gerçek dinamik yüklerin etkisi altında dinamik analiz performansını belirlemek oldukça faydalıdır. Bu, tasarım süreci sırasında takım tezgahının özelliklerini belirlemeye yardımcı olur. Dinamik özellikleri belirlemek için modal analiz, harmonik tepki ve geçici rejim analizi kullanılır.

Dinamik analizler kullanılarak sistemin çeşitli yükler altındaki sönümleme ve sertliğini hesaba katarak bir yapının özellikleri belirlenebilir. Burada, sistemin dinamik özellikleri genel olarak sistemi bileşen parçalarına ayıran düğüm modeli dinamik denklemleri kullanılarak açıklanır. Sistem çok sayıda parçaya bölünür ve elemanlar ile düğüm modeli arasında var olan doğrusal ilişki nedeniyle birden fazla serbestlik derecesi alır [1].

Aşağıdaki denklem, sistemi birkaç serbestlik derecesine sahip doğrusal bir yapıya dönüştüren yapının titreşim modelini temsil eder:

$$[m]\ddot{x}(t) + [c]\dot{x}(t) + [k]x(t) = f(t) \quad (6)$$

Kütle matrisi $[M]$ 'dir; sönümlü matris $[C]$ 'dir; sertlik matrisi $[K]$ 'dir; sistem yer değiştirme tepki vektörü $x(t)$ 'dir; ve sistem kuvvet vektörü $f(t)$ 'dir.

Sonlu eleman modelinde çok sayıda serbestlik derecesine sahip titreşim sistemlerinin sönümlenmediği varsayılır. Bu nedenle denklem şu şekilde yazılabilir:

$$[m]\ddot{x}(t) + [k]x(t) = 0 \quad (7)$$

Doğal koordinatlar, koordinatları fiziksel koordinatlara dönüştürmek için sonlu elemanlar yönteminde modal analizin çekirdek teorisinde kullanılır.

Ayrı diferansiyel denklemler oluşturmak için, bağımlı hareket denklemi ve birleşik denklemler dönüştürülür. Fizik koordinatları $x(t)$, bunları modal koordinatlara dönüştürmek için denklemde aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$x(t) = [u]\psi \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemde, $[u]$ bir modal matristir, bunlar modal koordinatlardır. Önceki denklem ikinci denklemde yazılırsa, aşağıdaki denklem elde edilir:

$$[m][u]\ddot{\psi} + [k][u]\psi = 0 \quad (9)$$

Sönümlenme sisteminin sönümlenmesiz sisteme oranı için modal matris $[u]$, modal ortogonal matris olarak kabul edilir.

$$[u]^T [m][u] = [I], [u]^T [k][u] = \lambda \quad (10)$$

$[u]^T$ son denklemle çarpıldığında aşağıdaki denklem elde edilir.

$$[u]^T [m][u]\ddot{\psi} + [u]^T [k][u]\psi = 0 \quad (11)$$

Ve aşağıdaki denklem yazılır.

$$\begin{cases} \ddot{\Psi} + \lambda \Psi = 0 \\ [k\{u\}] - \psi [m]\{u\} = 0 \end{cases} \quad (12)$$

Yukarıdaki denklem çözüme ulaştıktan sonra aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\Psi = A \cos(\omega t - \varphi) \rightarrow \lambda = \omega^2 \quad (13)$$

A ve φ keyfi sabitler ω titreşim frekansı, modal vektör $\{u\}$ şeklinde ifade edilirken,

önceki iki denklem iç içe yazılarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$[k\{u\}] - \omega^2 [m]\{u\} = \{0\} \quad (14)$$

Ve $\{\omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_n^2\}$, $\{u\} = (u^{(1)}, u^{(2)}, \dots, u^{(n)})^T = \Psi$ tanımlanır.

Aşağıdaki denklem son denklemin çözümünden elde edilir

$$\{u\}^T [k]\{u\} = \omega^2 \{u\}^T [m]\{u\} \quad (15)$$

Modal vektör normalize edildikten sonra aşağıdaki ifade üretilir.

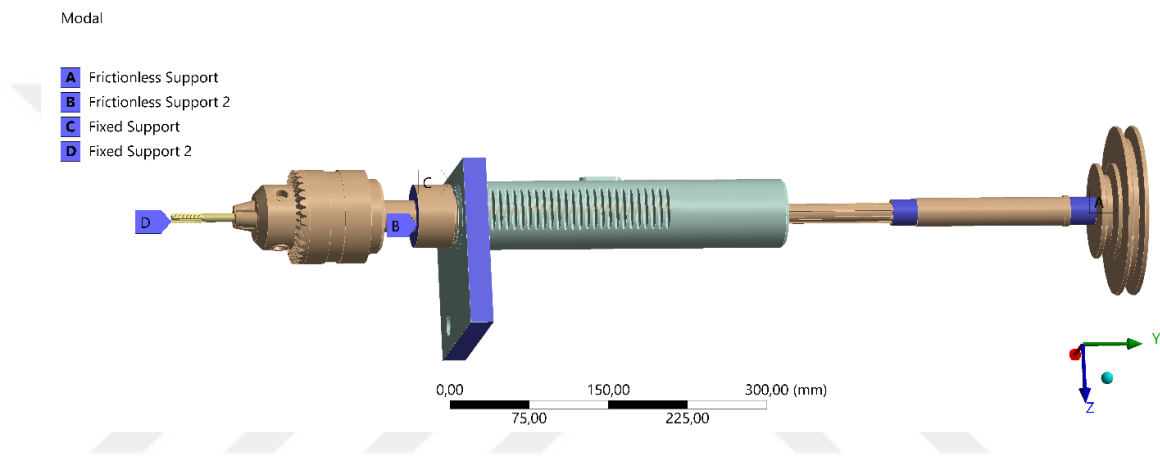
$$\{u\}^T [m]\{u\} = 1, \quad \{u\}^T [k]\{u\} = \omega^2 \quad (16)$$

Buna göre n adet normalize edilmiş model vektörünü bir karede düzenlemek için bir modal matris üretilir.

Yukarıdaki teori, Denklem (12)'nin aşağıdaki gibi yazılabileceğini belirtir.

$$\ddot{\Psi}_r + \omega_r^2 \Psi_r = \{0\} \rightarrow (r = 1, 2, \dots, n) \quad (17)$$

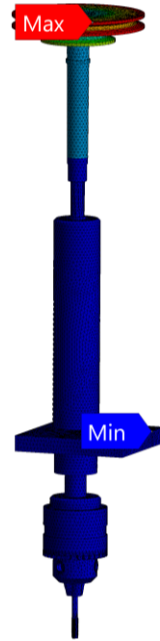
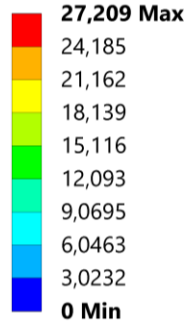
Şekil 18'de modal analiz için şaft sistemindeki sınır koşulları verilmiştir.



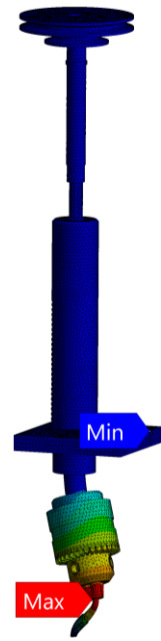
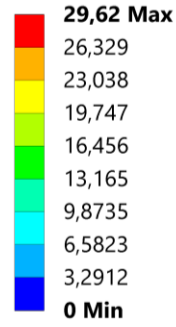
Şekil 18. Dinamik analiz sınır koşulları

Şaftın modal analizi gerçekleştirilir. Tüm malzemeler için altı mod şekli aşağıda gösterilmiştir ve tüm 6 moda karşılık gelen frekanslar tablolarda belirtilmiştir. Tablo 4'te 20MnCr5, Tablo 5'te 4340, Tablo 6'da 8620 ve Tablo 7'te Ck45 malzemelerin sonuçları verilmiştir.

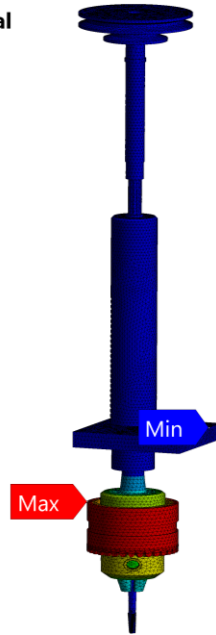
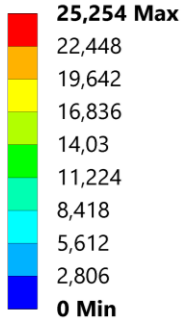
B: 50mm 20MnCr5 Modal
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 153,38 Hz
Unit: mm



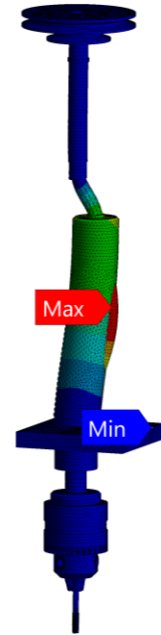
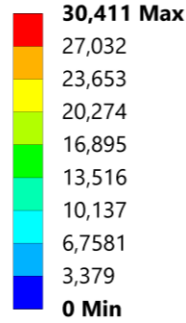
B: 50mm 20MnCr5 Modal
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Frequency: 473,22 Hz
Unit: mm



B: 50mm 20MnCr5 Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 922,77 Hz
Unit: mm

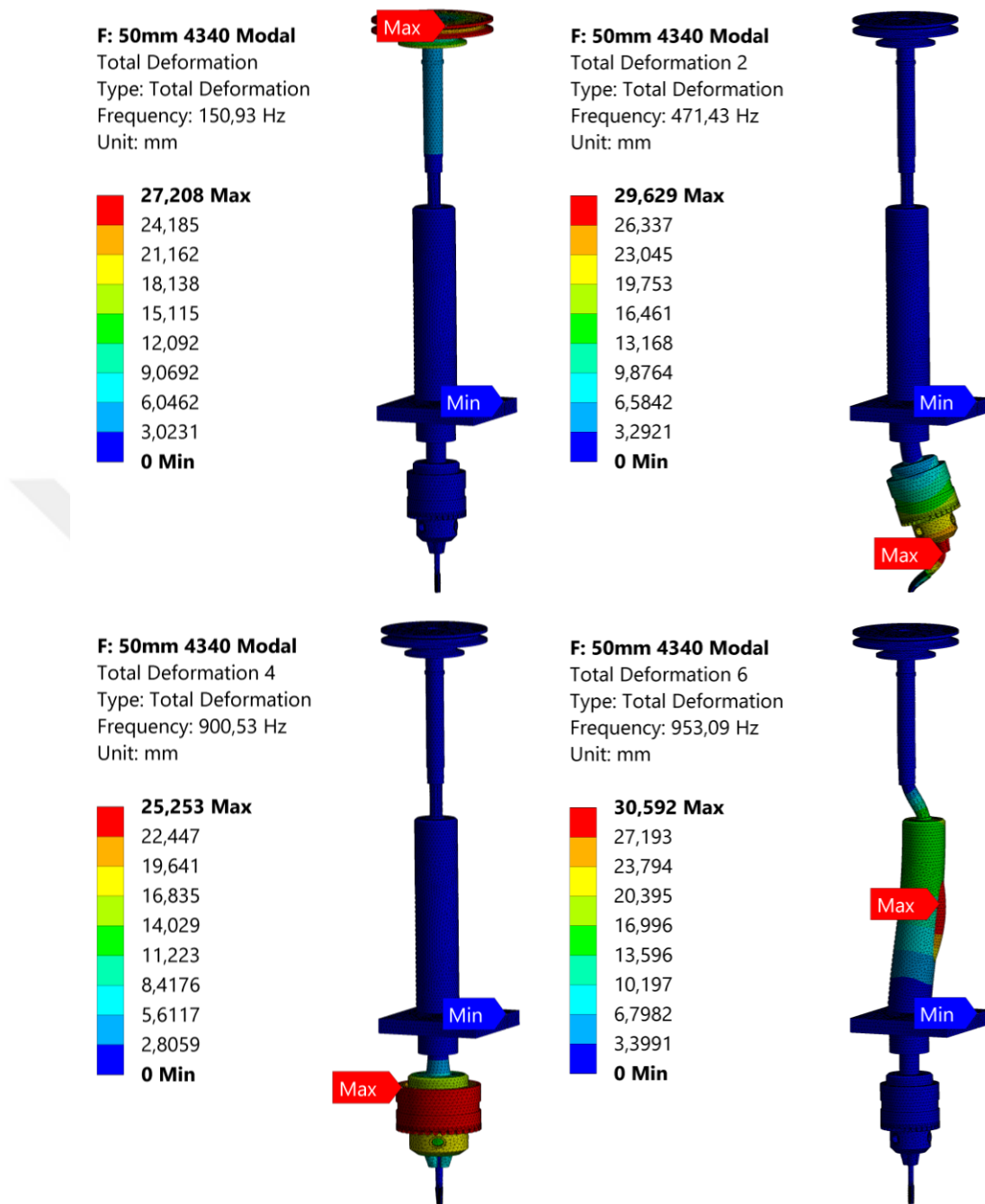


B: 50mm 20MnCr5 Modal
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 957,97 Hz
Unit: mm



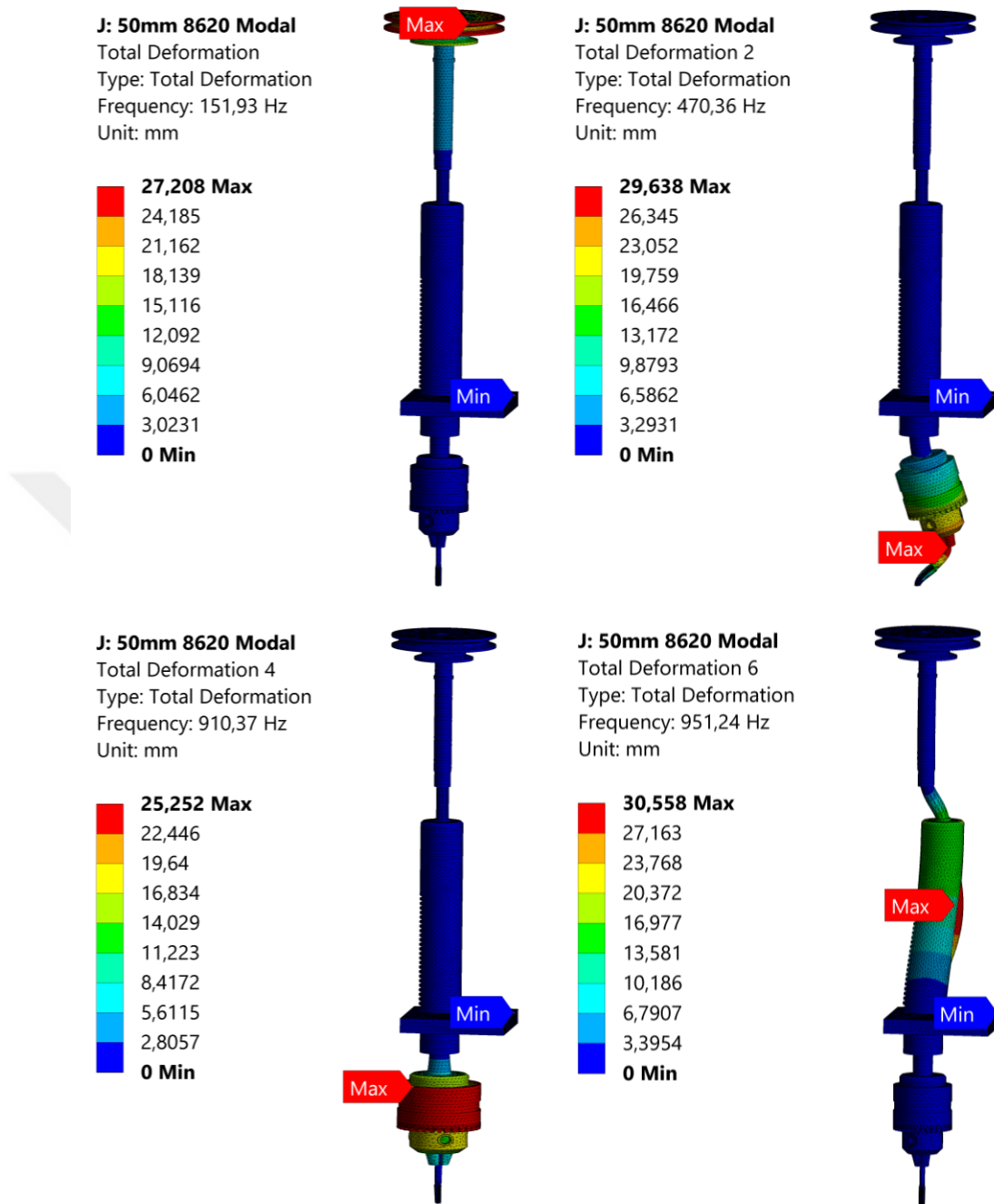
Şekil 19. 20MnCr5 ve 50 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

20MnCr5 ile 50 mm şaft açıklığı için minimum yer değiştirmenin 25,254 mikrometre ve maksimum 30,411 mikrometre olduğu görülmektedir. 4340 malzeme ile çıkan sonuçlar Şekil 20’de verilmiştir.



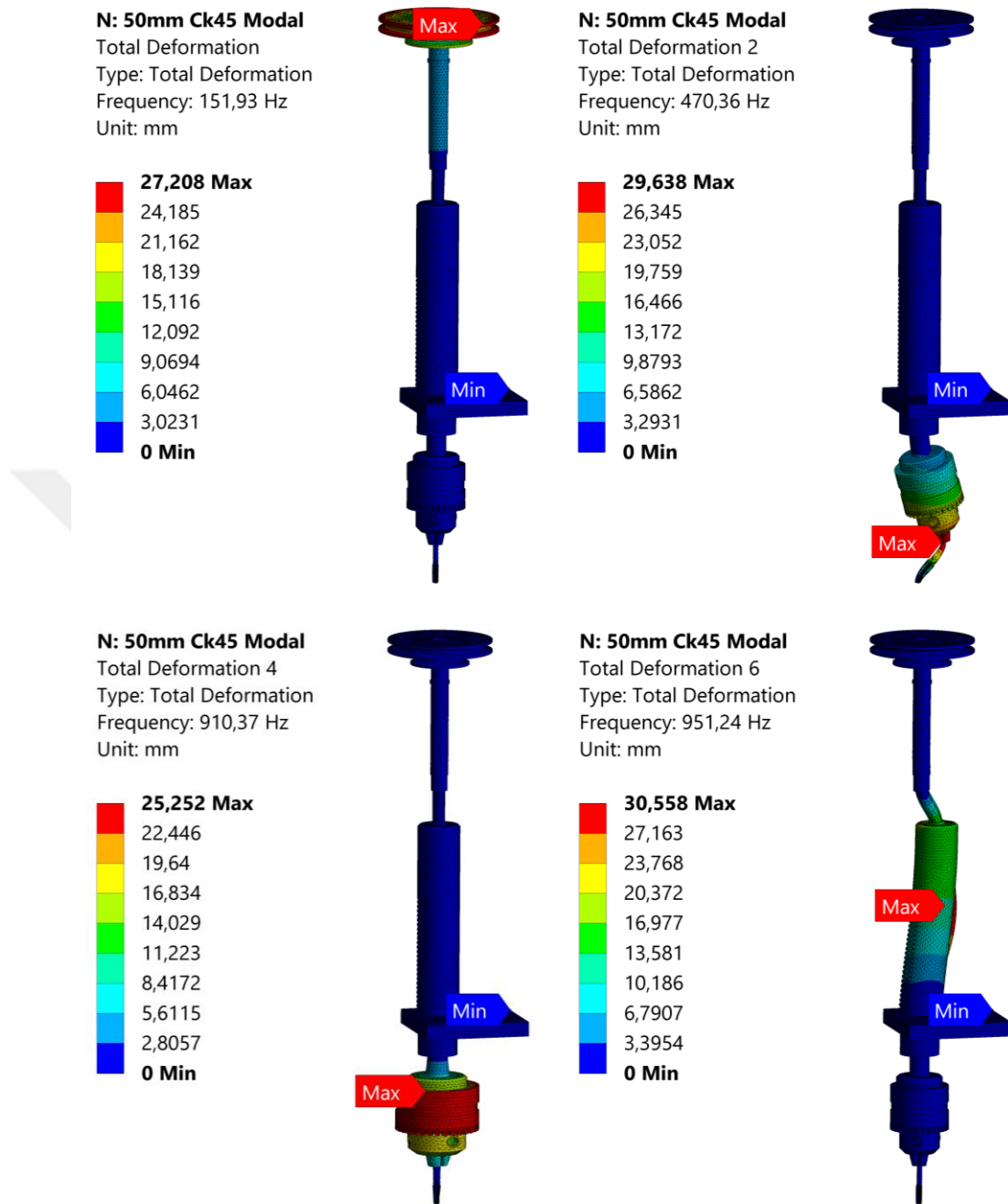
Şekil 20. 4340 ve 50 mm, shaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

4340 ve 50 mm shaft açıklığı için minimum yer değiştirmenin 25,253 mikrometre ve maksimum 30,592 mikrometre olduğu görülmektedir. 20MnCr5 malzemeye göre toplam yer değiştirme biraz artmış fakat önemli farklılık oluşmamıştır. Bu sefer de ise 8620 malzeme modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.



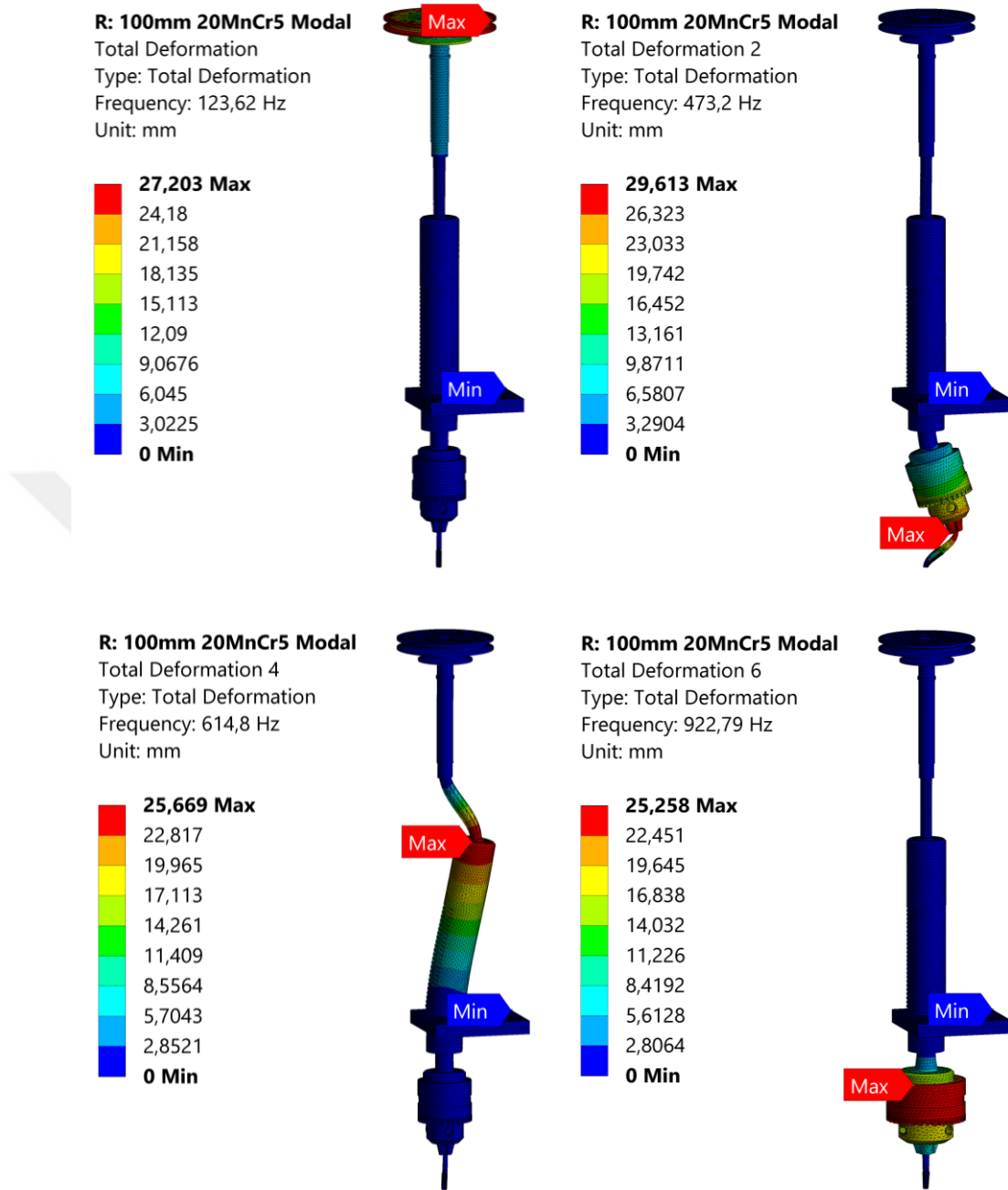
Şekil 21. 8620 ve 50 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

50 mm şaft açıklığında 8620 malzeme kullanıldığında minimum yer değiştirmenin 25,252 mikrometre ve maksimum 30,558 mikrometre olduğu görülmektedir. Önceki malzemelere göre eşdeğer sonuçlar elde edilmiştir ve son olarak aynı şaft pozisyonu için Ck45 malzeme sonuçlarını Şekil 22’de gösterilmektedir.



Şekil 22. Ck45 ve 50 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

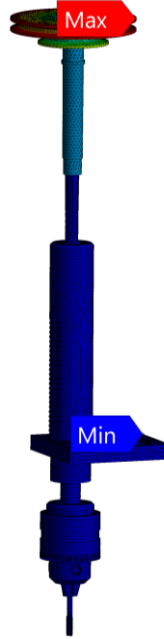
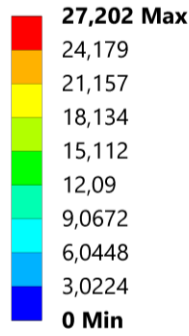
50 mm şaft açıklığında Ck45 malzeme kullanıldığında minimum yer değiştirmenin 25,252 mikrometre ve maksimum 30,558 mikrometre olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar sayesinde 50 mm şaft açıklığı için malzemenin modal analiz değerlerini etkilemediği ve toplam yer değiştirme değerlerini birbirine yakın olduğu görülmektedir.



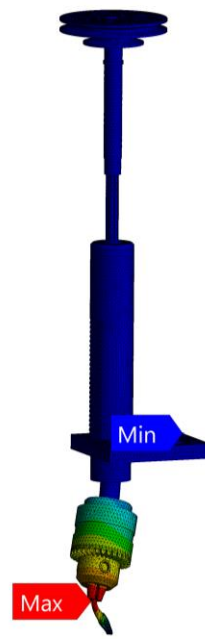
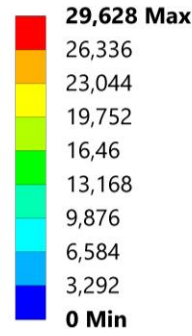
Şekil 23. 20MnCr5 ve 100 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

20MnCr5 malzeme ile 100 mm şaft açıklığında toplam yer değiştirme değerleri 50 mm şaft açıklığındaki değerlere yakın olduğu anlaşılmaktadır. Sonuçlardan da anlaşıldığı üzere milin doğal frekansa yakınsadığı değerler sırasıyla 123 Hz, 473 Hz, 614 Hz ve 922 Hz'dir. Bu değerleri de 4340 malzeme ile Şekil 24'de kontrol edilmektedir.

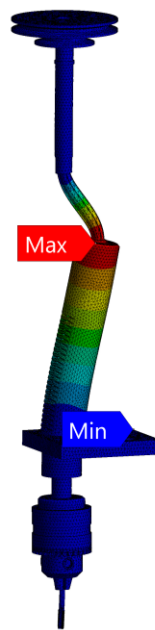
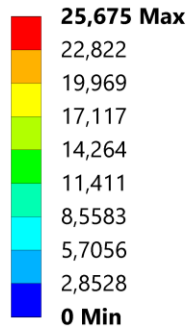
V: 100mm 4340 Modal
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 121,29 Hz
Unit: mm



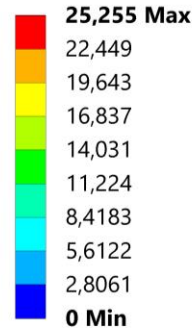
V: 100mm 4340 Modal
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Frequency: 471,43 Hz
Unit: mm



V: 100mm 4340 Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 611,87 Hz
Unit: mm



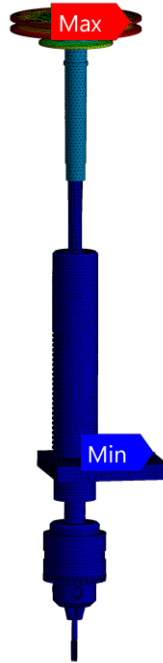
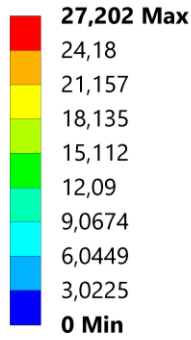
V: 100mm 4340 Modal
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 900,54 Hz
Unit: mm



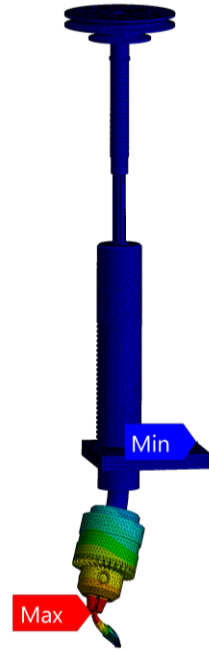
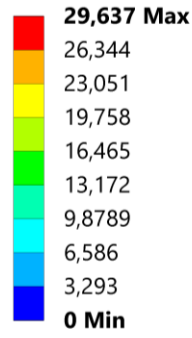
Şekil 24. 4340 ve 100 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

4340 malzeme ile 100 mm şaft açıklığında toplam yer değiştirme aynı sonuçlara sahip olduğu anlaşılmaktadır. Sonuçlara göre malzeme farklı olsa da milin doğal frekansa yakınsadığı değerler bir önceki gibi sırasıyla 121 Hz, 471 Hz, 611 Hz ve 900 Hz'dir. Sonraki şekillerde de bu değerler 8620 ve Ck45 malzemesi için de kontrol edilir.

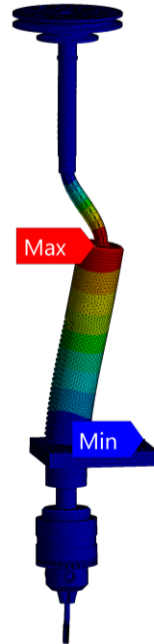
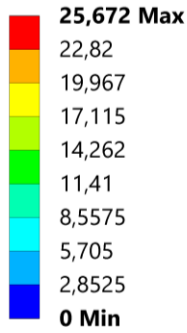
Z: 100mm 8620 Modal
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 122,25 Hz
Unit: mm



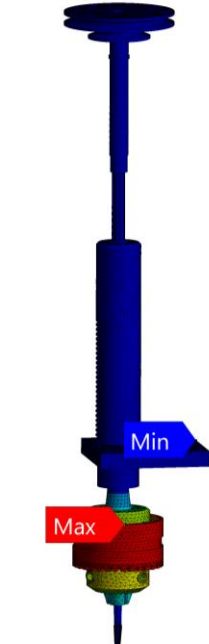
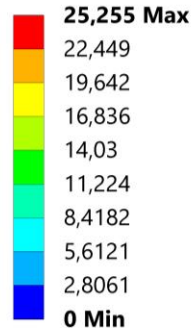
Z: 100mm 8620 Modal
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Frequency: 470,36 Hz
Unit: mm



Z: 100mm 8620 Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 610,96 Hz
Unit: mm



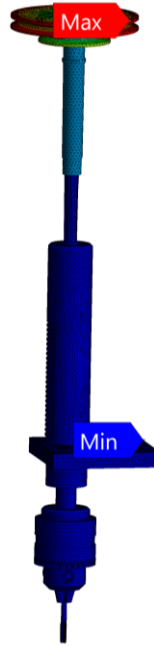
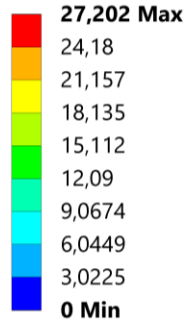
Z: 100mm 8620 Modal
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 910,38 Hz
Unit: mm



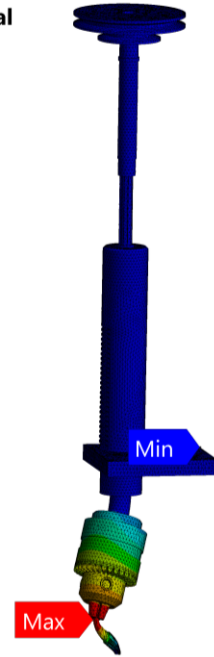
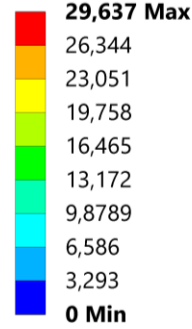
Şekil 25. 8620 ve 100 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

100 mm şaft açıklığı ve 8620 malzeme ile doğal frekansa değerlerine bakıldığında dört adet kritik frekansa sahip olduğu anlaşılmaktadır. Kritik frekans değerleri sırasıyla 122 Hz, 470 Hz, 610 Hz ve 910 Hz'dir. Ck45 malzeme de bu sonuçlara yakın frekanslar vereceğini kontrol etmek için Şekil 26'daki sonuçlara bakılacaktır.

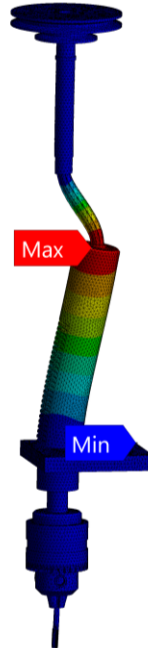
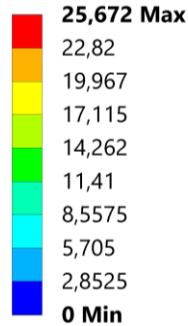
AD: 100mm Ck45 Modal
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 122,25 Hz
Unit: mm



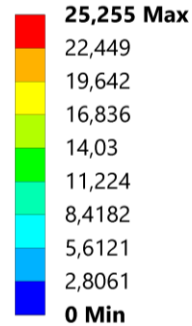
AD: 100mm Ck45 Modal
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Frequency: 470,36 Hz
Unit: mm



AD: 100mm Ck45 Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 610,96 Hz
Unit: mm



AD: 100mm Ck45 Modal
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 910,38 Hz
Unit: mm

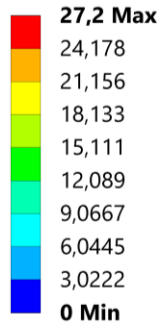


Şekil 26. Ck45 ve 100 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

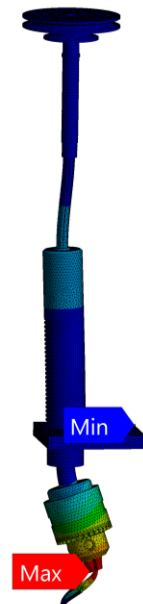
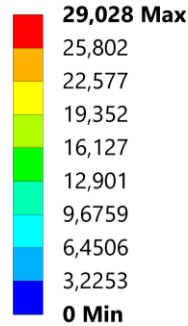
100 mm şaft açıklığında, Ck45’de diğer malzemelerin sonuçlarına yakın değerler verdiği görülmektedir. Sonuçlara göre anlaşıyor ki kritik frekans değerlerimiz sırasıyla 122 Hz, 470 Hz, 610 Hz ve 910 Hz’dir. Çalışmanın devamında 150 mm şaft açıklığı ile analizler yapılmıştır.

AH: 150mm 20MnCr5 Modal

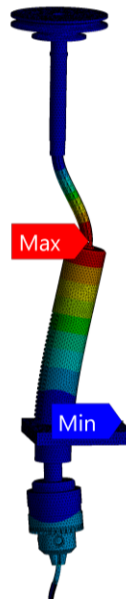
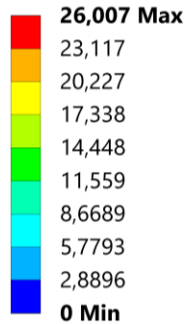
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 106,61 Hz
Unit: mm

**AH: 150mm 20MnCr5 Modal**

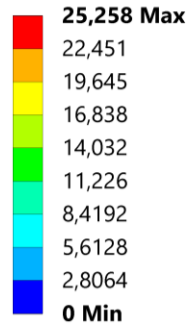
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Frequency: 472,74 Hz
Unit: mm

**AH: 150mm 20MnCr5 Modal**

Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 485,93 Hz
Unit: mm

**AH: 150mm 20MnCr5 Modal**

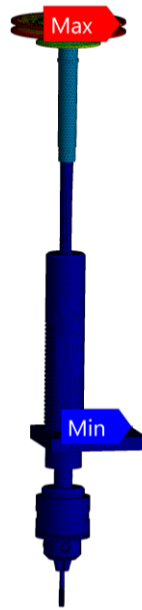
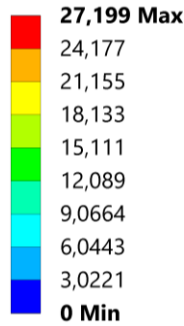
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 922,79 Hz
Unit: mm



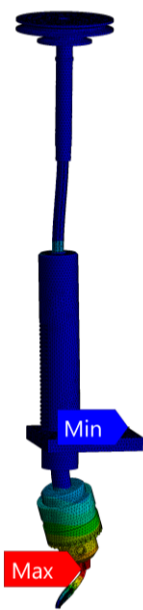
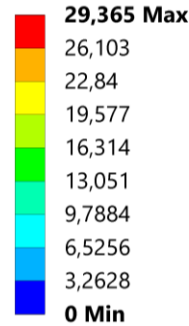
Şekil 27. 20MnCr5 ve 150 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

150 mm şaft açıklığında, 20MnCr5 malzemenin 50 mm ve 100 mm şaft açıklığındaki sonuçlara benzer sonuçlar verdiğini yukarıdaki şekilde görülmektedir. Sadece kritik frekans değerlerine bakıldığında sonuçlar sırasıyla 106 Hz, 472 Hz, 485 Hz ve 922 Hz'dir. Burada şaft açıklığı 150 mm olunca 600-620 Hz arasındaki kritik frekansın oluşmadığı anlaşılmaktadır.

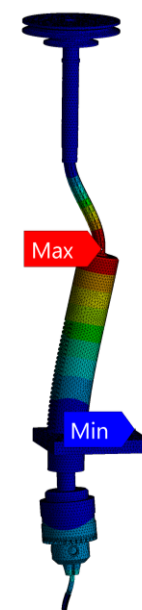
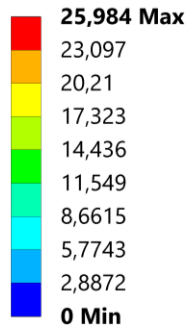
AL: 150mm 4340 Modal
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Frequency: 104,46 Hz
 Unit: mm



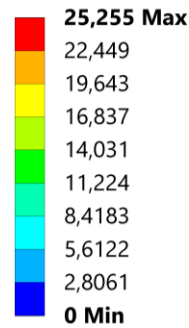
AL: 150mm 4340 Modal
 Total Deformation 2
 Type: Total Deformation
 Frequency: 471,25 Hz
 Unit: mm



AL: 150mm 4340 Modal
 Total Deformation 4
 Type: Total Deformation
 Frequency: 484, Hz
 Unit: mm

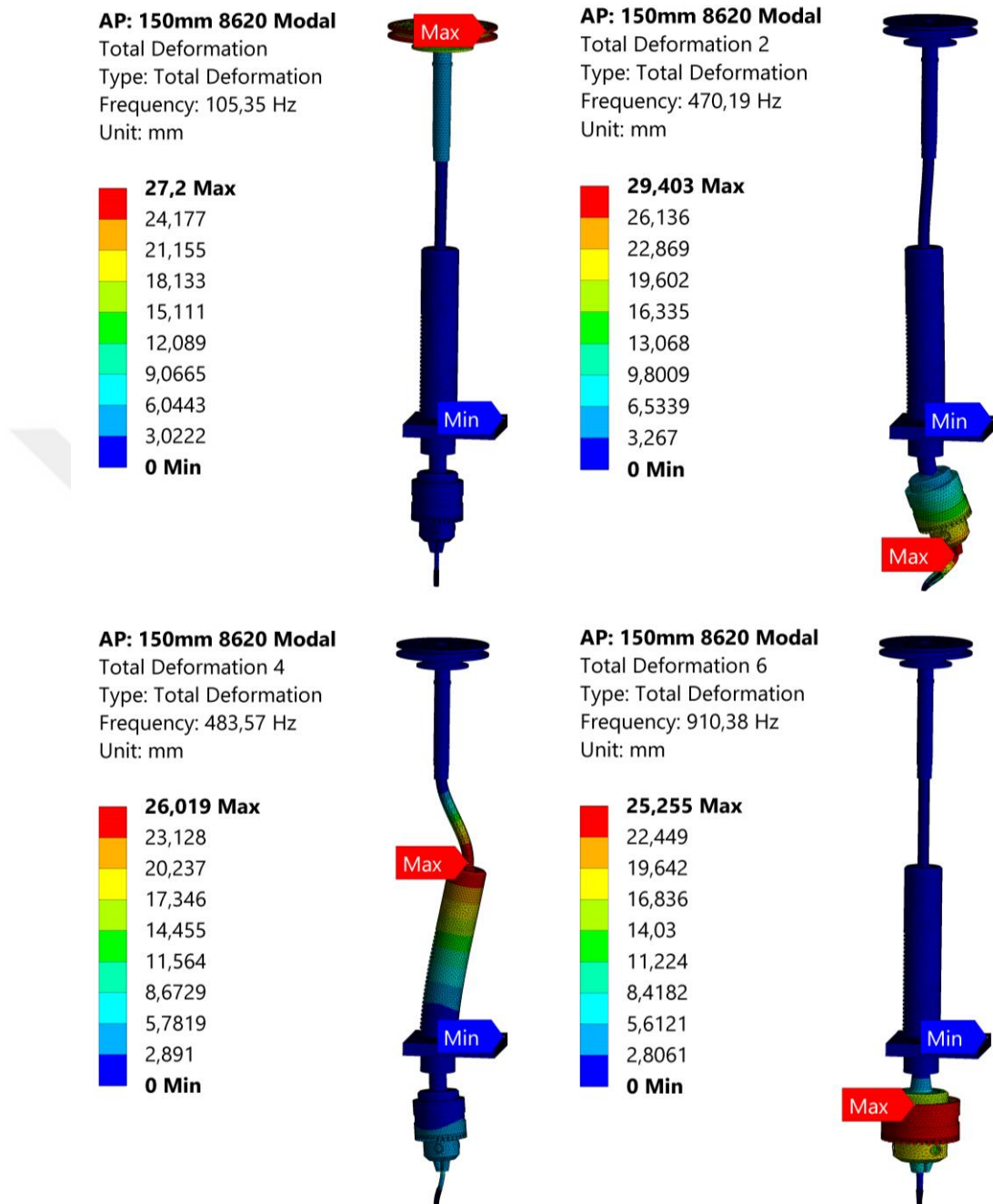


AL: 150mm 4340 Modal
 Total Deformation 6
 Type: Total Deformation
 Frequency: 900,54 Hz
 Unit: mm



Şekil 28. 4340 ve 150 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

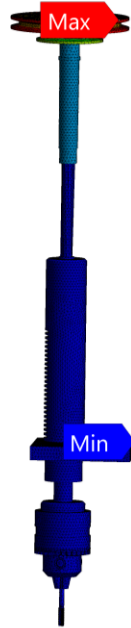
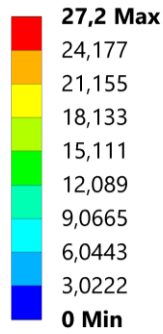
150 mm şaft açıklığında, 4340 malzeme ile aynı 20MnCr5 gibi sonuçlar verdiğini ve bu sonuçlara dayanarak modal analizinde şaft malzeme yapısının etkisinin az olduğu anlaşılmaktadır. Kesin bir sonuç için Şekil 29’da verilen 8620 malzemenin modal sonuçlarının analizi yapılmaktadır.



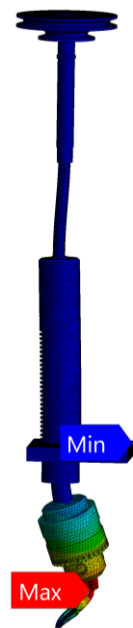
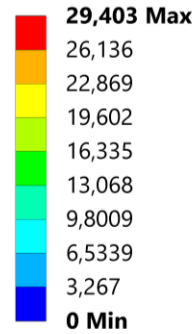
Şekil 29. 8620 ve 150 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

8620 malzeme ve 150 mm şaft açıklığında, modal sonuçlara göre şaftın uzunluğu doğal frekansa doğrudan etki etmediği, sonuçlar doğrultusunda gösterilmektedir. Şaft uzadığında kritik frekans değerleri aynı olduğu fakat eşik değerleri 470 Hz ve 900 Hz olduğu söylenebilir. Son olarak Ck45 malzeme sonuçlarını incelenmektedir.

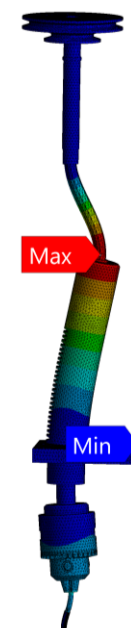
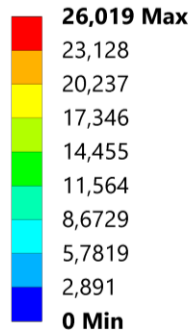
AT: 150mm Ck45 Modal
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Frequency: 105,35 Hz
 Unit: mm



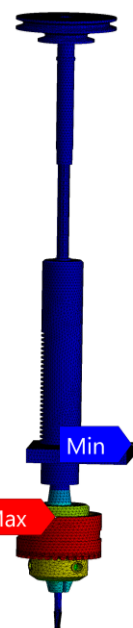
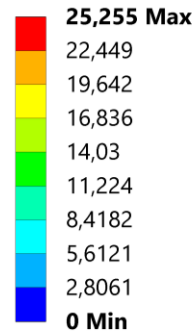
AT: 150mm Ck45 Modal
 Total Deformation 2
 Type: Total Deformation
 Frequency: 470,19 Hz
 Unit: mm



AT: 150mm Ck45 Modal
 Total Deformation 4
 Type: Total Deformation
 Frequency: 483,57 Hz
 Unit: mm



AT: 150mm Ck45 Modal
 Total Deformation 6
 Type: Total Deformation
 Frequency: 910,38 Hz
 Unit: mm



Şekil 30. Ck45 ve 150 mm, şaft açıklığına sahip Modal Analiz sonuçları

150 mm şaft açıklığında, Ck45 malzeme için aynı şeyler söylemek mümkündür. Bu analiz sonucunda toplam yer değiştirme mesafeleri hep birbirine yakın olup ne şaft uzunluğu ne de malzeme yapısının etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan ise şaft uzunluğu artınca kritik frekans değerinin biraz değiştiği gözlemlenmiştir. Genel olarak 470 ve 900 Hz değerlerinde matkabın doğal frekansa yaklaşıp rezonansa girmesi mümkün olacaktır.

Tablo 4. Modal analizin tüm sonuçları

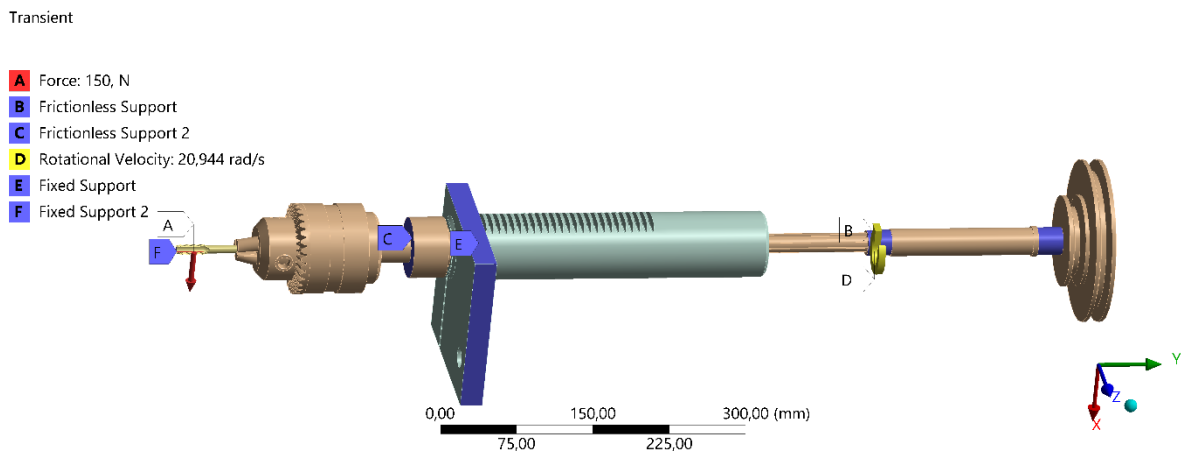
		Malzemeler			
		20MnCr5	4340	8620	Ck45
Modlar	50 mm	1	153,38	150,93	151,93
		2	473,22	471,43	470,36
		3	473,74	472,24	471,16
		4	922,77	900,53	910,37
		5	935,24	930,68	929,02
		6	957,97	953,09	951,24
	100 mm	1	123,62	121,29	122,25
		2	473,2	471,43	470,36
		3	473,7	472,19	471,11
		4	614,8	611,87	610,96
		5	623,57	620,74	619,92
		6	922,79	900,54	910,38
	150 mm	1	106,61	104,46	105,35
		2	472,74	471,25	470,19
		3	473,57	471,76	470,69
		4	485,93	484	483,57
		5	505,33	503,53	503,18
		6	922,79	900,54	910,38

Tabloda, doğal frekans değerlerinin malzemeye ve eksenin konumuna bağlı olarak çok fazla değişmediği gözlemlenmektedir. Konumdaki değişimin ağırlıkta bir değişikliğe yol açmadığı ve ağırlık merkezindeki hafif bir değişkenliğin sonuçları gerçekten etkilemediği görülmektedir.

Doğal frekanslarda 470 - 500 Hz ve 900 - 950 Hz civarında iki önemli eşik olduğu görülür. Bu frekanslar minimum yer değiştirme ve maksimum yer değiştirme değerlerine sahiptir. Ayrıca 105 ile 150 Hz arası ve 470 ile 475 Hz arasında malzemenin doğal frekansa girdiği gözlemlenmektedir

3.4. Zamana Bağlı Dinamik (Transient) Analiz

Zamana Bağlı Dinamik analiz, fiziksel sistemlerin veya yapıların zamana bağlı davranışlarının incelenmesini içerir. Bir sistemin şok, titreşim veya çalışma koşullarındaki ani değişiklikler gibi dinamik yükleme koşullarına nasıl tepki verdiğini analiz etmemizi sağlar. Bu geçici olayları simüle ederek, tasarımlarının performansını, dayanıklılığını ve güvenliğini değerlendirebilmektedir.

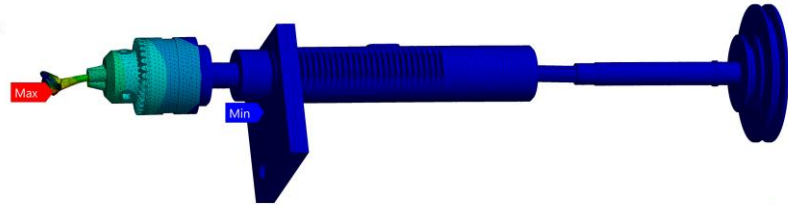


Şekil 31. Geçici Rejim analiz için yükleme ve sınır şartları

Aşağıdaki şekillerde her bir malzeme için farklı pozisyonlardaki farklı toplam yer değiştirme sonuçları verilmiştir.

C: 50mm 20MnCr5 Transient Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

0,0057747 Max
0,005133
0,0044914
0,0038498
0,0032081
0,0025665
0,0019249
0,0012833
0,00064163
0 Min



a)

G: 50mm 4340 Transient Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

0,0057668 Max
0,005126
0,0044853
0,0038445
0,0032038
0,002563
0,0019223
0,0012815
0,00064075
0 Min



b)

K: 50mm 8620 Transient Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

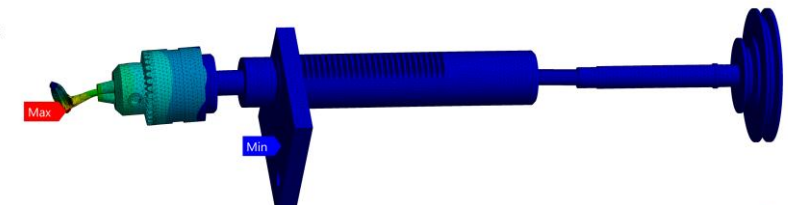
0,0057719 Max
0,0051306
0,0044893
0,003848
0,0032066
0,0025653
0,001924
0,0012827
0,00064133
0 Min



c)

O: 50mm Ck45 Transient Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

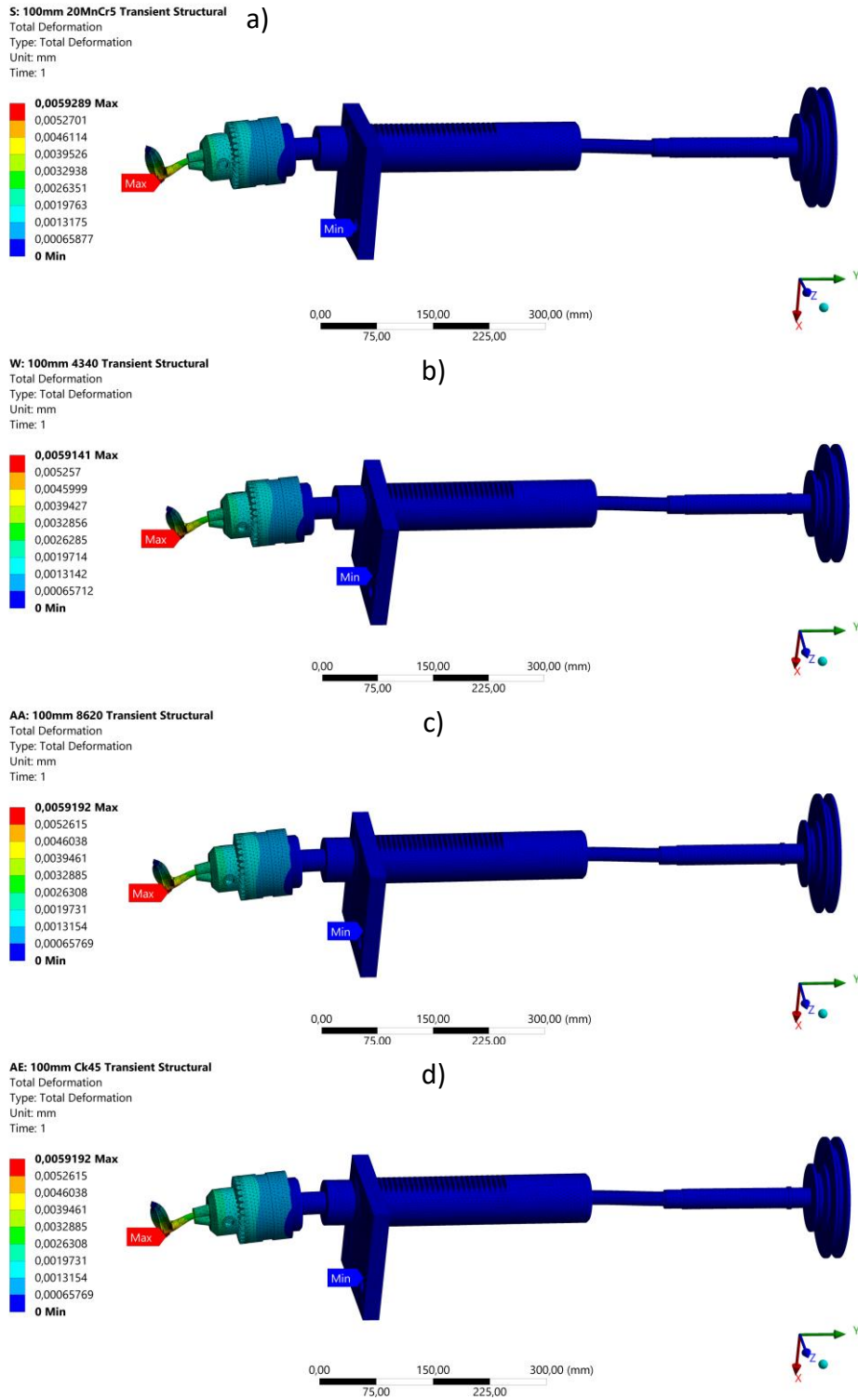
0,0057719 Max
0,0051306
0,0044893
0,003848
0,0032066
0,0025653
0,001924
0,0012827
0,00064133
0 Min



d)

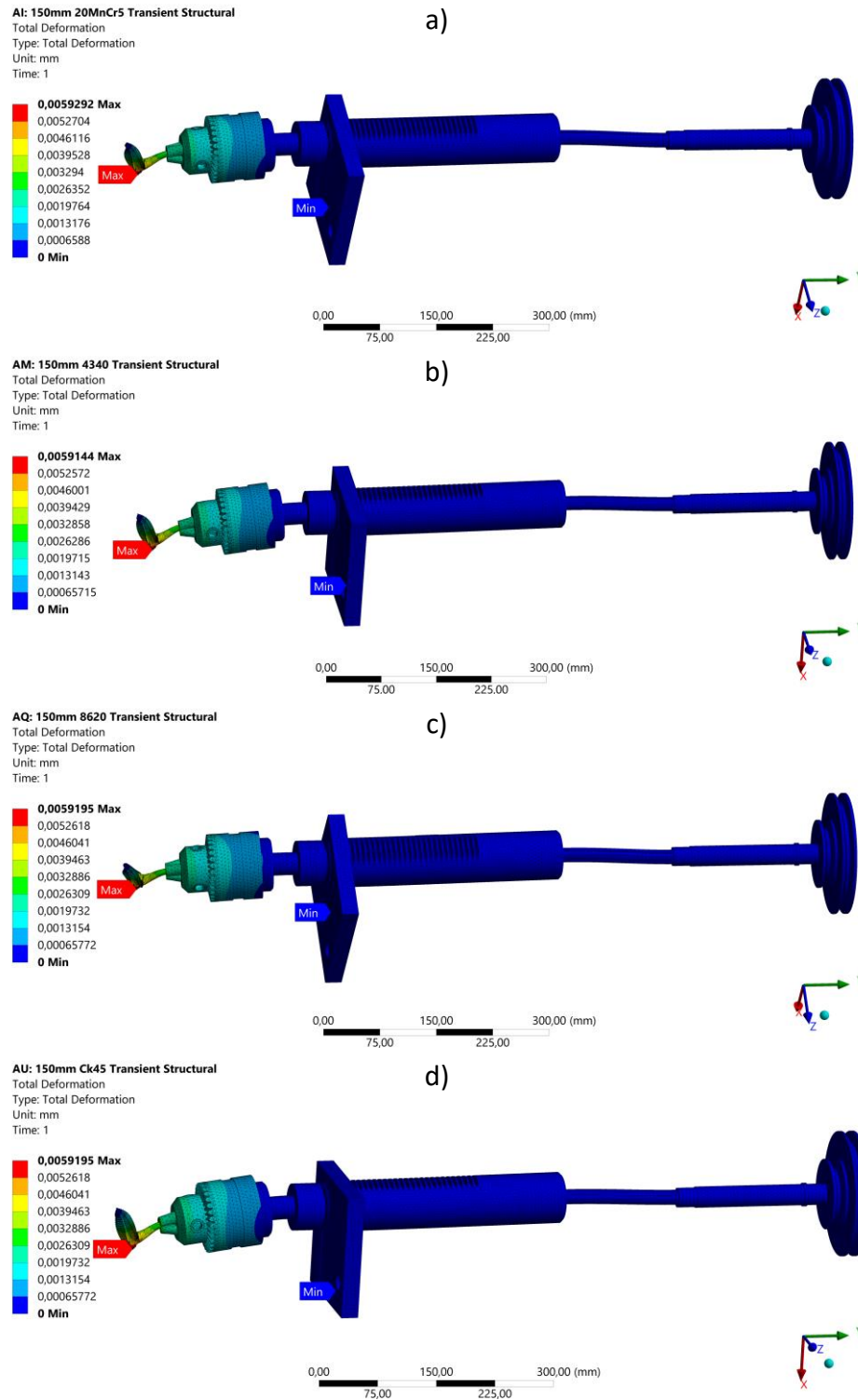
Şekil 32. 50 mm şaft açıklığında zaman bağlı dinamik analize göre yer değiştirme sonuçları a) 20MnCr5, b) 4340, c) 8620, d) Ck45

İkinci olarak, şaftın 100 mm'lik pozisyonu için sonuçlar analiz edilmiş ve sonuçları Şekil 33'te sunulmuştur.



Şekil 33. 100 mm şaft açıklığında zaman bağlı dinamik analize göre yer değiştirme sonuçları a) 20MnCr5, b) 4340, c) 8620, d) Ck45

Son olarak şaftın 150 mm'deki pozisyonu için Şekil 34 'teki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 34. 150 mm şaft açıklığında zaman bağlı dinamik analize göre yer değiştirme sonuçları a) 20MnCr5, b) 4340, c) 8620, d) Ck45

Yukarıda verilen şekil değiştirme görünüşleri dışında daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla Tablo 9’da zaman bağlı analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 5. Zaman bağlı analize göre mil sistemin toplam yer değiştirme ve gerileme sonuçları

		Malzemeler			
	Şaft açıklıkları	20MnCr5	4340	8620	Ck45
Toplam Yer Değiştirme	50 mm	0,0057747	0,0057668	0,0057719	0,005772
	100 mm	0,0059289	0,0059141	0,0059192	0,005919
	150 mm	0,0059292	0,0059144	0,0059195	0,00592
Eşdeğer Gerilme	50 mm	59,614	59,487	59,506	59,506
	100 mm	77,866	77,725	77,755	77,755
	150 mm	77,87	77,729	77,759	77,759

Tüm yapılandırmalar için maksimum yer değiştirmenin yaklaşık olarak eşdeğer olduğunu görülmektedir. Toplam yer değiştirme yaklaşık olarak 5,7 ila 5,9 mikrometredir. Bu değer o kadar küçüktür ki ihmal edilebilir boyutlardadır ve tüm çalışma koşulları için iyi bir sonuç olarak görülmektedir

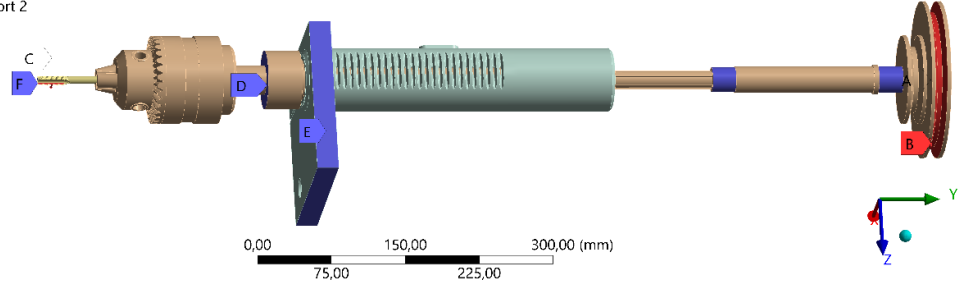
3.5. Harmonik Cevap Analizi

Harmonik tepki, sinüzoidal bir tahrikte dinamik bir yük mevcut olduğunda sistemin bir frekansa tepki verme şeklidir. Bu, yapı üzerindeki etkinin belirlenmesini sağlayan bir tür zorunlu titreşim olarak adlandırılır. Harmonik analiz, çeşitli yük ve titreşimlere maruz kalan yapıların ve sistemlerin davranışını anlamaya ve tahmin etmeye yardımcı olan mühendislik tasarımı ve analizinin önemli bir ürünüdür. Ve yapının tekrarlanan dinamik yükleme altındaki davranışını sinüzoidal bir şekilde simüle etmek için kullanılır. Ayrıca doğal frekansları ve rezonansı ve harmonik yüklerin sistemi nasıl etkilediğini elde etmek için de simüle edilebilir. Bu tür yük, günlük olarak karşılaşılabilecek birçok yapıda meydana gelir. Bu tür harmonik yüklemeyi verimli bir şekilde çözmek için özel bir teknik kullanılacaktır. Bu nedenle harmonik tepki sonuçlarının doğru yorumlanması esastır.

Tasarımımızı kritik hız frekans aralığını alarak kritik frekanslarda doğrulamak önemlidir. Rezonansta sistem maksimum genliğe ulaşır ve sistemde titreşim bir bozulmaya neden olur.

Harmonic Response

- A** Frictionless Support
- B** Moment: (Real) 1500., (Imag) 0, N-mm
- C** Force: (Real) 150., (Imag) 0, N
- D** Frictionless Support 2
- E** Fixed Support
- F** Fixed Support 2



Şekil 35. Harmonik cevap analiz için yükleme ve sınır şartları

Dinamik analizler, sistemin sertliğini ve sönümlemesini hesaba katarak çeşitli yükler altında bir yapıyı karakterize etmek için kullanılır. Genel bir yöntem olarak, sistemin elemanlara bölünmesini içeren dinamik denklemler, sistemin dinamik karakterizasyonunu karakterize etmek için bir çözüm getirme sistemi kullanılarak çözülebilir. Dahil olan çok sayıda eleman nedeniyle sistem, elemanlar ve düğüm modeli arasında doğrusal bir ilişki varsayarak çok serbestlik dereceli bir yapıya dönüştürülür [4].

Birden fazla serbestlik derecesine sahip titreşim modelinin ifadesi şu şekildedir:

$$[m]\ddot{x}(t) + [c]\dot{x}(t) + [k]x(t) = f(t) \quad (18)$$

Sistemin Laplace ifadesi aşağıdaki gibi sağlanır:

$$([m]s^2 + [c]s + [k])x(s) = f(s) \quad (19)$$

Sertlik matrisi $[k]$ olduğunda, kütle matrisi $[m]$ ve sönümleme matrisi $[c]$ 'dir. Sönümleme matrisi doğrusal olmayan yapısı nedeniyle simetrik olmayan olarak sınıflandırılırken, kütle ve sertlik matrisleri simetriktir. [4]

Bu çok serbestlik dereceli sistemlerin mekanik empedansı şu şekilde yazılır:

$$z(s) = [m]s^2 + [c]s + [k] \quad (20)$$

Dinamik denklem mekanik empedans matrisini içeriyorsa:

$$z(s) = \frac{f(s)}{x(s)} \quad (21)$$

Empedans matrisinin tersi, sistemin transfer fonksiyonunu tanımlamak için kullanılabilir:

$$H(s) = z^{-1}(s) \quad (22)$$

Sinüzoidal bir tahrikte, sistemin dinamik bir yük altında frekansa tepkisi harmonik tepki olarak adlandırılır. Etkinin nasıl etkilendiğini anlamak için, buna bir tür zorunlu titreşim denir. Harmonik yükleme altındaki dinamik denklem şu şekilde tanımlanır:

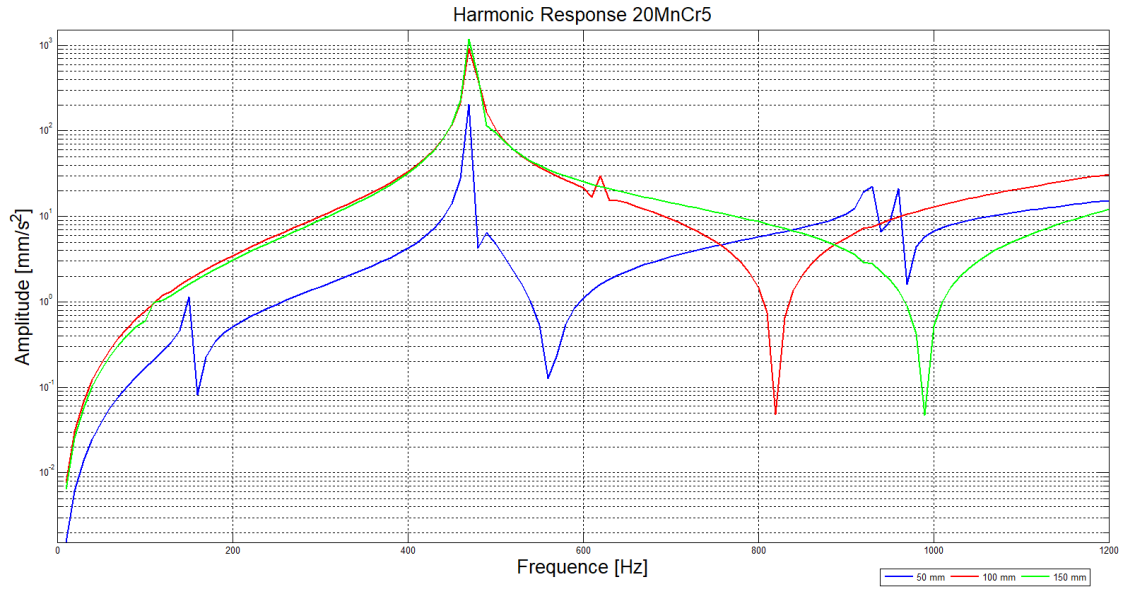
$$x(s) = z^{-1}(s) \cdot f(s) = H(s) \cdot f(s) \quad (23)$$

Dolayısıyla, transfer fonksiyonu ve uygulanan kuvvet verildiğinde $x(s)$ hesaplanabilir.

Giriş kuvveti ve yapısal transfer fonksiyonları bilindiğinde, tepki $x(s)$ hesaplanabilir. Dinamik analiz, bir tür yasaya uygun olarak zaman içinde değişen uyarımı (kuvveti) sağlar. Ek olarak, Sonlu Eleman Analizi, yaklaşık bir sayısal yöntem kullanarak makine aracının tepkisini hesaplamak için kullanılır.

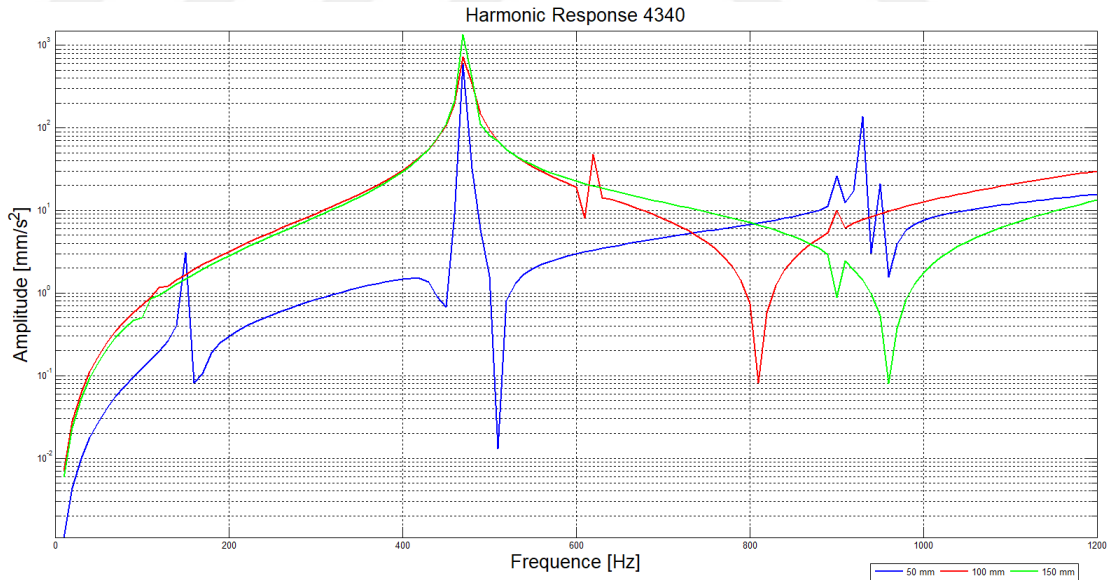
Bunun için 10Hz aralığında 0 ila 1200Hz arasındaki sistemi inceleyeceğiz. Ve aşağıdaki grafiklerde genlik tepelerini görmek mümkündür.

Tüm grafiklerde shaft aralığı çeşitli renklerle gösterilmiştir; örneğin 50 mm mavi, 100 mm turuncu ve 150 mm yeşil.



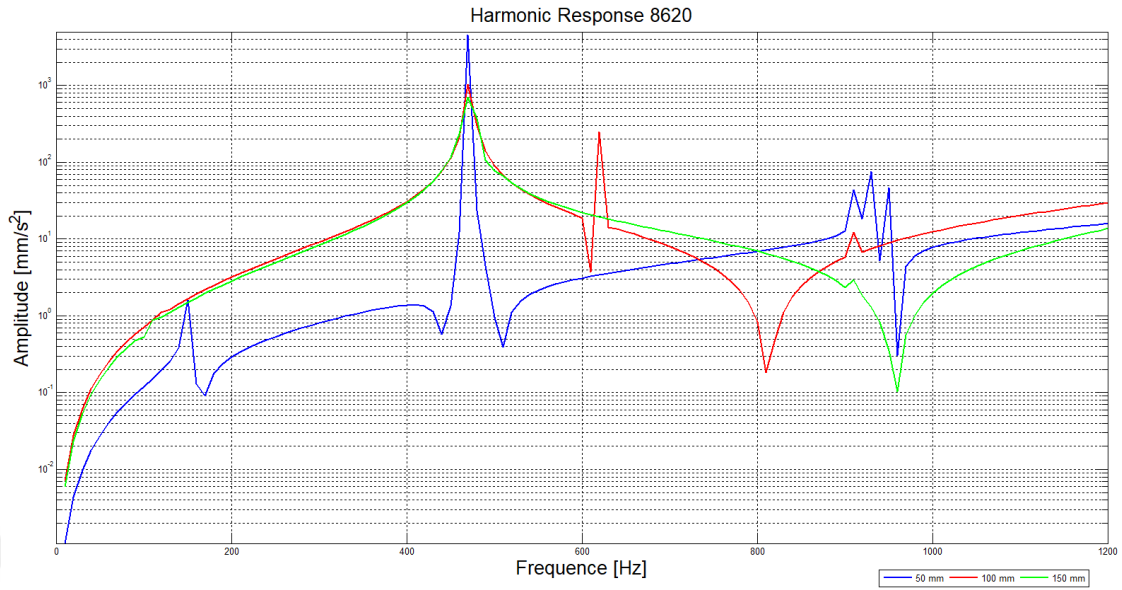
Şekil 36. 20MnCr5 malzemesi için Harmonik frekans cevabı

Şekil 36, şaftın tüm pozisyonları için farklı frekanslardaki genlik tepkisini göstermektedir. Şekilden, kritik frekanslarda 480 Hz yaklaşık 10³ mm/s²'dir. Ayrıca 550Hz, 820Hz ve 990Hz'de, üç pozisyon için minimum genlik 10⁻¹ mm/s²'dir.



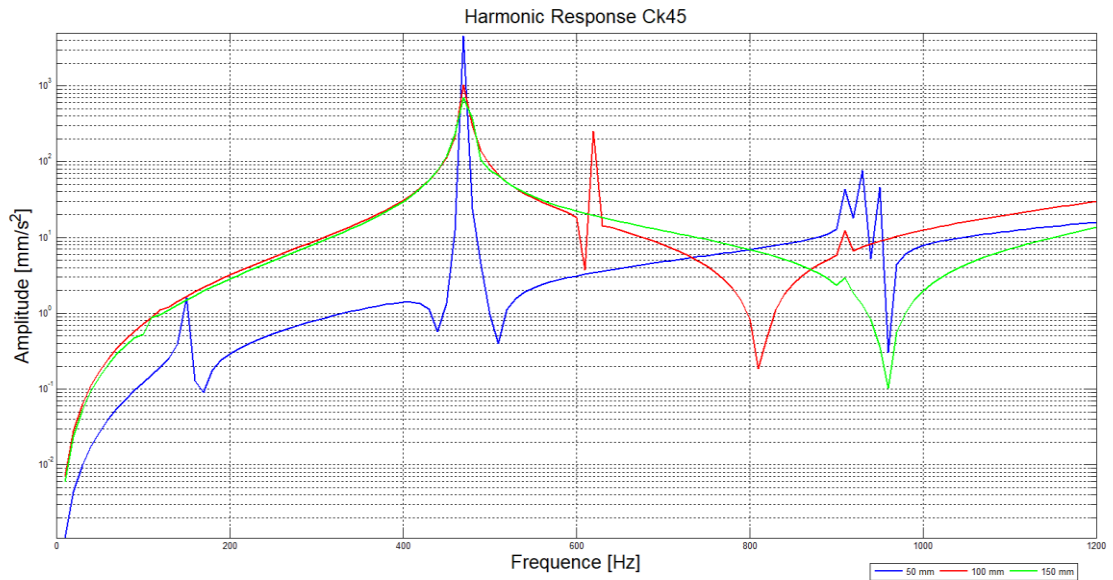
Şekil 37. 4340 malzemesi için Harmonik frekans cevabı

Şekil 37'de 450 Hz frekanslarında tüm parçalar için maksimum genlik tepkisinin 10³ mm/s² olduğunu göstermek mümkündür. Aynı zamanda 500 Hz, 800 Hz ve 960 Hz için minimum genliğin 10⁻¹ ve 10⁻² mm/s² arasında olduğu görülür.



Şekil 38. 8620 malzemesi için Harmonik frekans cevabı

Şekil 38'deki sonuçlara göre, maksimum genliğin 10^3 mm/s^2 'den daha büyük bir değerle 460Hz'de elde edildiği görülür. Ve minimum genliğin 10^0 mm/s^2 ile 10^1 mm/s^2 arasında olan 500Hz, 800Hz ve 950Hz frekansları için aynı olduğunu görülür.



Şekil 39. Ck45 malzemesi için Harmonik frekans cevabı

Şekil 39'de sonuçların önceki sonuçlarla neredeyse aynı olduğu görülür. 470 Hz frekansı için 10^3 mm/s^2 'lik maksimum genlikle. 450 Hz, 800 Hz ve 950 Hz frekansları sırasında 10^{-1} mm/s^2 'lik minimum genlikle elde edilir. Grafikler incelendiğinde frekans tepki noktaları ile malzeme değişiminin benzer noktalarda tepki verdiği ve modal analiz ile elde

edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Buradan anlaşılağı üzere rezonans bölgeleri 450,800 ve 900 Hz civarlarıdır görülmektedir ve bu frekans karşılık gelen devirlerde çalışılmaması gerektiği anlaşılmaktadır.

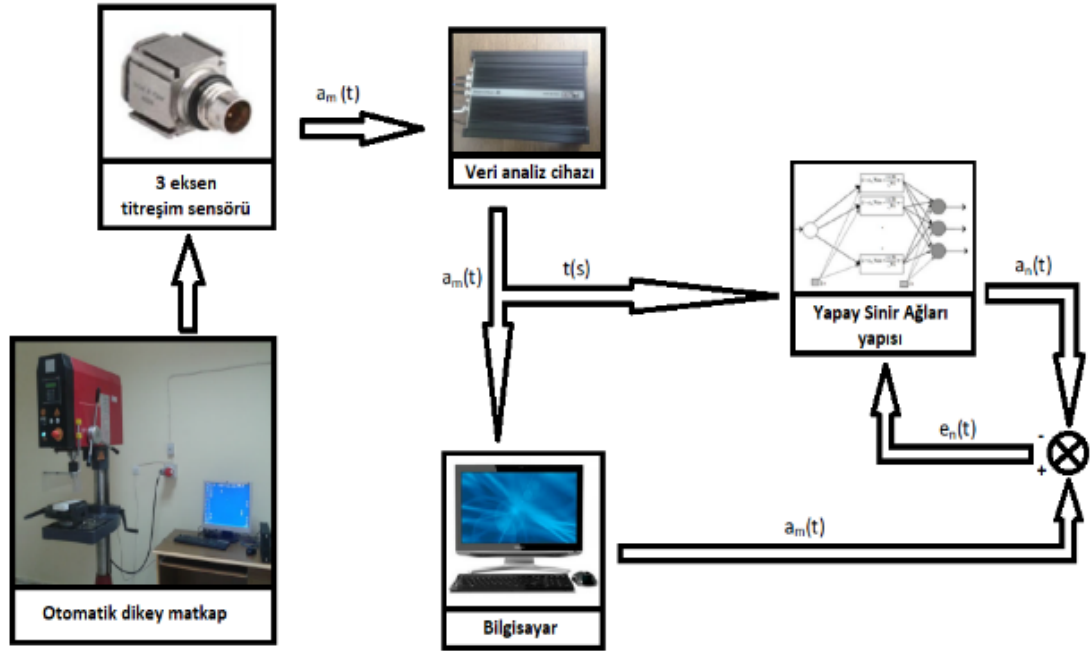


4. BÖLÜM

YAPAY SİNİR AĞLARI

4.1.Yapay Sinir Ağları Modelleri (YSA)

Sinir Ağları, insan bilişinin ve sinir biyolojisinin matematiksel modellerini genelleştirir. İnsan beyninin organizasyonunu yöneten ilkelerin öykünmesi, yapısal tasarımlarının ve öğrenme algoritmalarının temelini oluşturur. Yapay Sinir Ağları, etkileşimli bir şekilde çevreden öğrenme yeteneği sergiler ve değişen çalışma ortamlarının ardından öğrenme, hatırlama, genelleme ve uyum sağlama konusunda dikkate değer yetenekler gösterir. Veri akışının yalnızca ileri yönde olduğu Sinir Ağları, ileri beslemeli ağlar olarak adlandırılır. İleri beslemeli sinir ağları, göreceli basitlikleri ve kararlılıkları nedeniyle çok popülerdir. Verilerin hem ileri hem de geri akmasına izin veren bağlantılara sahip Sinir Ağları, geri beslemeli sinir ağları olarak adlandırılır. Bu çalışmada, Şekil 40'da gösterildiği gibi, akıllı veri toplama (Brüel & Kjaer 3560 B tipi IDA), üç eksenli ivmeölçerler (Brüel & Kjaer 4524 B 001 tipi ivmeölçer) ve PC kullanılmıştır. Yapay sinir ağları eğitim ve test aşamaları için veri setlerinin elde edilmesi amacıyla titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu titreşimleri analiz etmek için ileri beslemeli sinir ağı türü de kullanılır. Şekil 41, sinir ağı analizörünün şematik gösterimini göstermektedir. Şekil 41'de gösterildiği gibi, ağ bir nöronlu giriş katmanı, on doğrusal olmayan nöronlu gizli katman ve üç doğrusal olmayan nöronlu çıkış katmanından oluşur.



Şekil 40. Veri toplama döngüsü

4.1.1. Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları (GYSA)

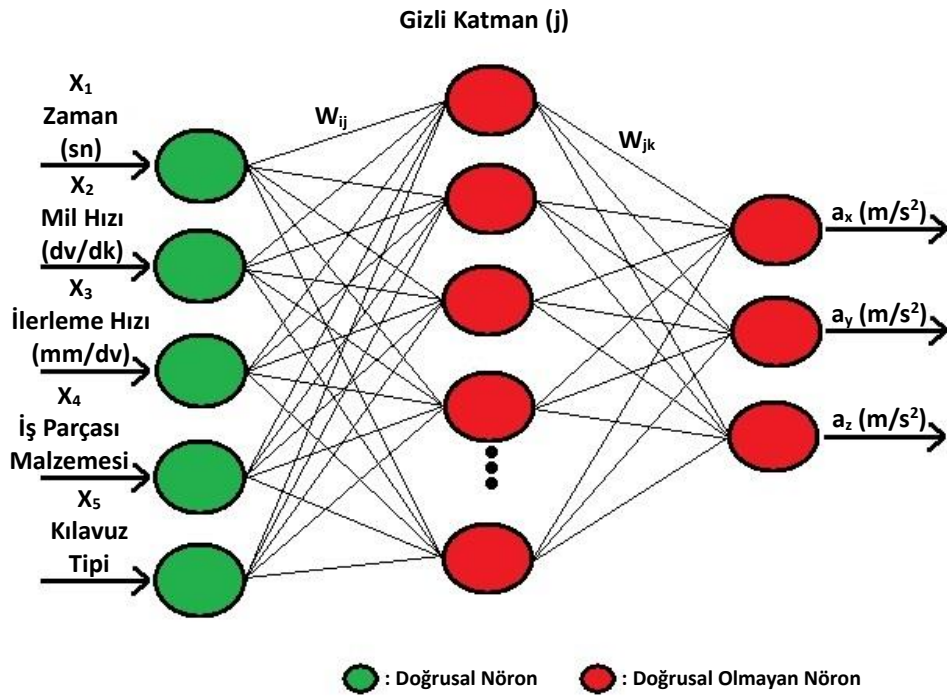
GYSA, denetimli sinir ağı öğrenme yöntemidir. Bir makine öğrenimi algoritması olarak geri yayılım, ortalama kare hatasını (MSE) en aza indirmeyi amaçlayan modelin parametrelerini ayarlamak için geriye doğru bir geçiş gerçekleştirir. Eğitim sırasında, ağı çok sayıda girdi modeli sunulur. İstenen karşılık gelen çıktılar daha sonra gerçek ağ çıkış düğümleriyle karşılaştırılır. İstenen ve gerçek yanıt arasındaki hata, ağ ara bağlantılarının ağırlıklarını güncellemek için kullanılır. Bu güncelleme, her desen sunumundan sonra gerçekleştirilir. Tüm model setinden geçen her bir geçiş, bir dönem olarak adlandırılır. Tatmin edici derecede küçük bir hata üretilene kadar eğitim süreci birden çok dönem için devam eder. Test aşamasında, giriş kalıpları varsa farklı bir set kullanır. Karşılık gelen çıktılar, bir dizi istenen çıktıyla tekrar karşılaştırılır. Bu hata, ağı genelleştirme yeteneğini değerlendirmek için kullanılır. Genellikle, eğitim seti ve/veya mimarisinin bu noktada değerlendirilmesi gerekir. GYSA, sinir ağlarının ağırlıklarını güncellemek için en yaygın kullanılan yapay sinir ağıdır. Giriş katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıklar şu şekilde güncellenir:

$$\Delta W_{ij}(t) = -\eta \frac{\partial E_2(t)}{\partial W_{ij}} + \alpha \Delta W_{ij}(t-1) \quad (24)$$

Gizli katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıklar aşağıdaki denklemde güncellenir:

$$\Delta W_{jn}(t) = -\eta \frac{\partial E_1(t)}{\partial W_{jn}} + \alpha \Delta W_{jn}(t-1) \quad (25)$$

$E_1(t)$, deneysel ve sinir ağı çıkış sinyalleri arasındaki hatadır. $E_2(t)$, gizli ve giriş katmanları arasındaki yayılma hatasıdır.



Şekil 41. GYSA Geri Yayımlı Yapay Sinir Ağ yapısı

Şekil 41’de görüldüğü gibi geri yayılım yapay sinir ağları algoritması için beş veri girişi ve üç veri çıkışı mevcuttur. Makine öğreniminde, geri yayılım, bir sinir ağını parametre güncellemelerini hesaplaması için eğitmek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir eğim tahmin yöntemidir. Bu çalışma, titreşim verilerini değerlendirmek için, ilk yöntem olarak bu algoritmayı kullanmıştır.

4.1.2. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RTYSA)

Radyal Tabanlı Fonksiyon Sinir Ağı (RTYSA) yapısı, biyolojik sinir hücrelerindeki etki tepki davranışlarından esinlenerek 1988 yılında geliştirilmiştir [14]. YSA yapısına benzer şekilde RTYSA modelleri de girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olarak 3 katmanda tanımlanabilir. Bu çalışmada kullanılan RTYSA yapısı Şekil 42'de gösterilmiştir. Giriş katmanlarından gizli katmanlara dönüşüm, radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan bir dönüşümdür. Diğer yandan, gizli katmanlardan çıktı katmanlarına doğrusal bir dönüşüm gerçekleştirilir.

Geleneksel olarak, $y(x)$ eşleme işlevi gören RTYSA [14], gizli katmana sahiptir, böylece model:

$$f_j(x) = \sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^{10} W_{ij} h_{ij}(x) \quad (26)$$

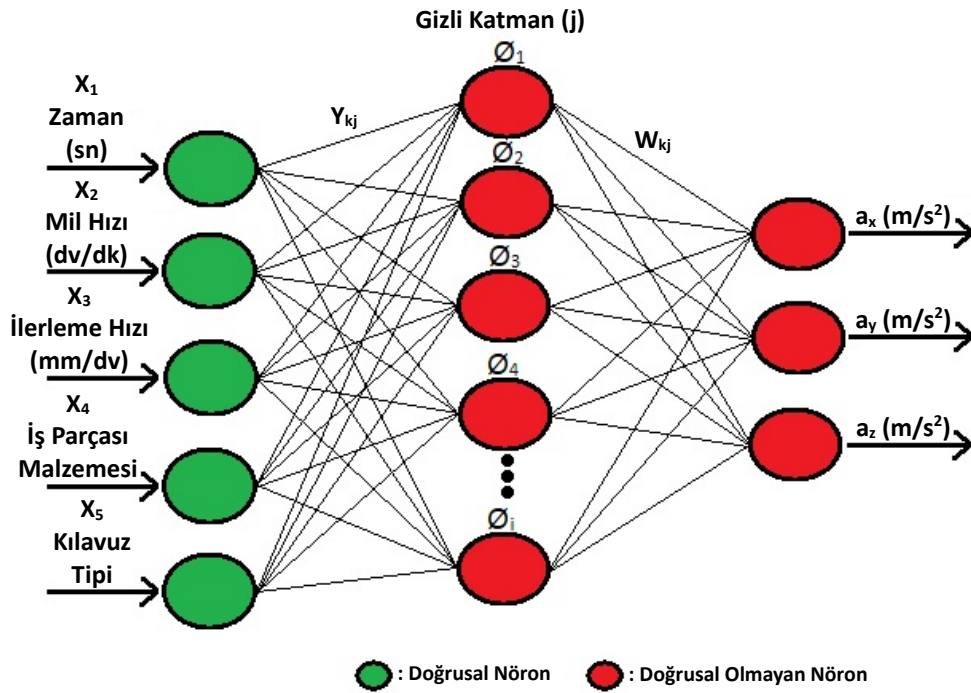
RTYSA'nın karakteristik özelliği, h_{ij} gizli birim transfer fonksiyonlarının radyal doğasıdır. Sadece x girişi ile her gizli birimin merkezi h_{ij} arasındaki mesafeye bağlıdır. Bir metrik R_j ile ölçeklenir.

$$h_{ij}(x) = \phi \left[(x - c_{ij})^T R_j^{-1} (x - c_{ij}) \right] \quad (27)$$

Burada ϕ , negatif olmayan sayılar için monoton olan bir fonksiyondur. Gauss tabanlı transfer fonksiyonu şu şekilde verilir:

$$T.F = \exp \left(- \sum_{n=1}^3 \frac{(x_n - c_{jn})^2}{r_{jn}^2} \right) \quad (28)$$

Model karmaşıklığı sorununa doğrudan bir yaklaşım, daha büyük bir kümeden, bütünüyle kullanıldığında verilere gereğinden fazla uyan (çok karmaşık bir model üreten) merkezler alt kümesi seçmektir.



Şekil 42. RTYSA Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağ yapısı

Sekil 42’de de önceki yöntem gibi radyal tabanlı yapay sinir ağları algoritması için beş veri girişi ve üç veri çıkışı mevcut. Radyal tabanlı fonksiyonlara sahip sinir ağları birçok makine öğrenimi uygulaması için etkili bir araçtır. Giriş katmanı, radyal tabanlı fonksiyonlara sahip gizli katman ve doğrusal çıktı katmanından oluşan üç katmanlı mimarileri sayesinde karmaşık ve doğrusal olmayan etkileşimleri verimli bir şekilde simüle edebilir. Bu nedenle ikinci olarak tercih edilen yapı olmuştur.

4.1.3. Kademeli İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (KİBYSA)

Basamaklı ileri ağlar, ileri beslemeli ağlara benzer, ancak girişten ve önceki her katmandan sonraki katmanlara bir bağlantı içerir. KİBYSA'nın şematik yapısı Şekil 43'da verilmiştir.

İleri beslemeli ağlarda olduğu gibi, iki veya daha fazla katmanlı kademeli ağ, yeterince gizli nöron verildiğinde herhangi bir sonlu girdi-çıkı ilişkisini keyfi olarak öğrenebilir.

YSA ile modellemede en sık kullanılan transfer fonksiyonları logaritma sigmoid (logsig), teğet sigmoid (tansig) ve lineer (pureline) transfer fonksiyonlarıdır. Bu transfer fonksiyonlarının matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir.

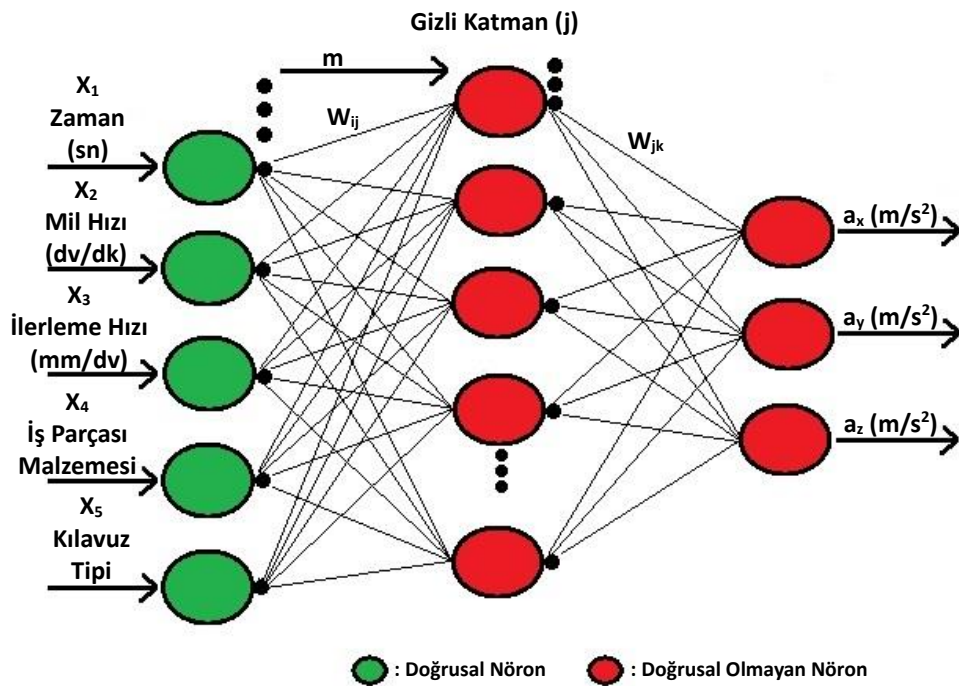
$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (29)$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (30)$$

$$f(x) = x \quad (31)$$

Bu çalışmada, bir geri yayımlı (GY) yapay sinir ağı olan kademeli ileri beslemeli algoritma ile tansig transfer fonksiyonu kullanılmıştır.

Kılavuz ile diş açma işleminde, makinenin titreşimini etkileyen farklı malzemeler, farklı devirler ve farklı ilerleme hızları için analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 43. KİBYSA Kademeli İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağ yapısı

Şekil 43’da önceki algoritmalar gibi için beş veri girişi ve üç veri çıkışı bulunur. Kademeli ileri beslemeli sinir ağı girişi, her bir önceki katmanı takip eden katmanlarla bağlanır. Başka bir deyişle, giriş katmanındaki her nöron gizli ve çıkış katmanındaki her nörona bağlıdır. KİBYSA’nın faydası, doğrusal ilişkisini ortadan kaldırmadan doğrusal olmayan giriş-çıkış ilişkisini sağlayabilmesidir. Bu çalışmada, titreşim verilerini tahmin etmek için kullanılmıştır.

4.2. Deneysel ve Simülasyon Sonuçları

Bu makale, sinir ağları kullanılarak farklı malzemelerle dikey matkap ile dış açma sisteminin titreşim parametrelerini analiz etmeyi sunmuştur. Matkap işlemi titreşimleri sırasındaki karşılaştırmalar için dış açma işleminin malzemeleri çelik ve pirinçtir. Sistemin artan hıza sahip titreşim parametreleri, iki tür sinir ağı tahmincisi kullanılarak tahmin edilir. Ağ yapısının eğitim ve test aşaması, MATLAB'ın sinir ağı araç kutusu üzerinde gerçekleştirilir. Önerilen ağ belirleyicilerinin çalışma koşulları, yapısal ve eğitim parametreleri Tablo 10, 12 ve 14'de listelenmiştir.

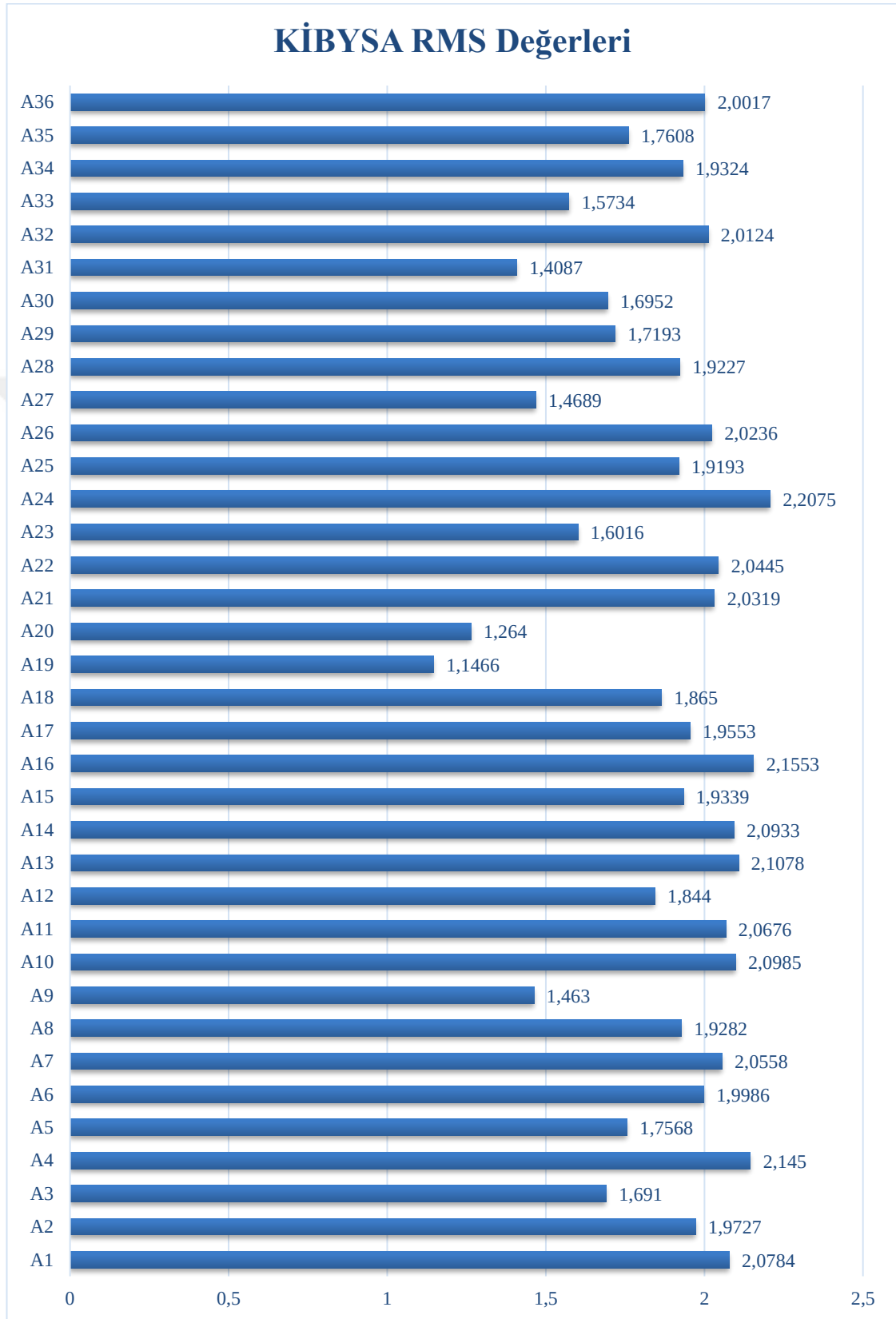
Önerilen sinir ağı (RTYSA), dış açma işleminin istenen (deneysel) titreşim değişimini tam olarak izler ve. öte yandan, karşılaştırma açısından, dış açma işleminin aynı durumda tahmin etmek için KİBYSA ve GYYSA kullanılır.

Tablo 6. Çalışma koşulları, KİBYSA yapısı ve eğitim parametreleri

Çalışma koşulları				YSA	Nöron sayısı			Total	
	Kılavuz								
	H: helisel	Devir		Yineleme	Giriş	Gizli	Çıkış		
Malzeme	N: normal	(mm/dev)	YSA tipi	Sayısı (N)	(nI)	(nH)	(nO)	RMS Değeri	
Alüminyum	A1	H	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	2,0784
	A2	H	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	1,9727
	A3	H	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,691
	A4	H	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	2,145
	A5	H	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,7568
	A6	H	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	1,9986
	A7	N	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	2,0558
	A8	N	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	1,9282
	A9	N	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,463
	A10	N	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	2,0985
	A11	N	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	2,0676
	A12	N	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	1,844
Pirinç	A13	H	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	2,1078
	A14	H	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	2,0933
	A15	H	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,9339
	A16	H	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	2,1553
	A17	H	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,9553
	A18	H	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	1,865
	A19	N	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,1466
	A20	N	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	1,264
	A21	N	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	2,0319
	A22	N	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	2,0445
	A23	N	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,6016
	A24	N	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	2,2075
Çelik	A25	H	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,9193
	A26	H	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	2,0236
	A27	H	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,4689
	A28	H	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	1,9227
	A29	H	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,7193
	A30	H	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	1,6952
	A31	N	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,4087
	A32	N	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	2,0124
	A33	N	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,5734
	A34	N	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	1,9324
	A35	N	1,5	KİBYSA	1000	5	10	3	1,7608
	A36	N	1,6	KİBYSA	1000	5	10	3	2,0017

Kademeli ileri basamaklı yapay sinir ağı algoritmasının bu çalışma için iyi sonuç vermediği toplam RMS değerlerinden anlaşılmaktadır. Bu değer farklı çalışma koşulları ve farklı malzemeler için de geçerlidir.

Tablo 7. Ağların KİBYSA çalışma koşullarında RMS hata değerleri

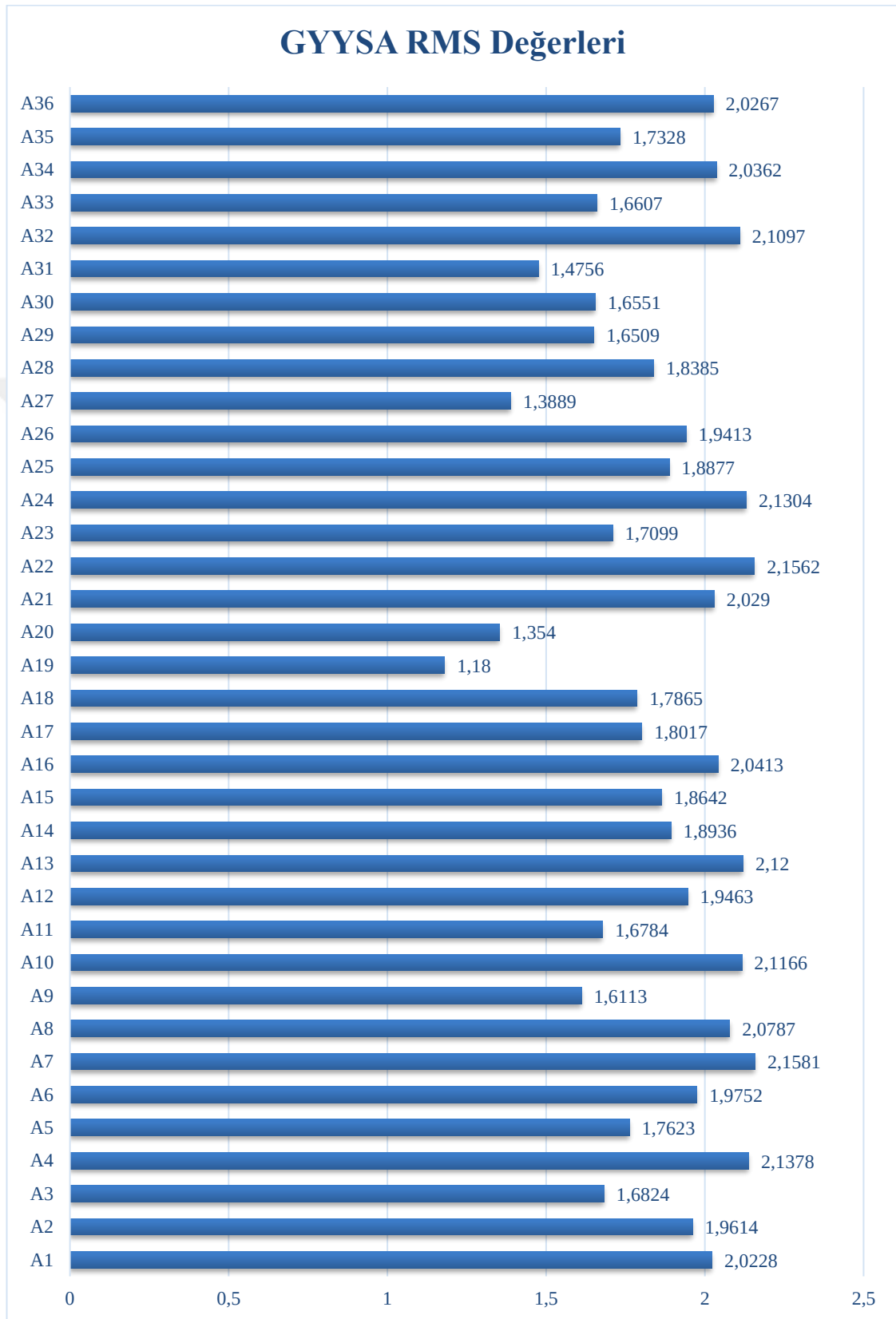


Tablo 8. Çalışma koşulları, GYYSA yapısı ve eğitim parametreleri

Çalışma koşulları				YSA		Nöron sayısı			Total
Malzeme	Kılavuz		YSA tipi	Yineleme Sayısı (N)	Giriş (nI)	Gizli (nH)	Çıkış (nO)	RMS Değeri	
	H: helisel N: normal	Devir (mm/dev)							
Alüminyum	A1	H	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	2,0228
	A2	H	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	1,9614
	A3	H	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,6824
	A4	H	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	2,1378
	A5	H	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,7623
	A6	H	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	1,9752
	A7	N	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	2,1581
	A8	N	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	2,0787
	A9	N	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,6113
	A10	N	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	2,1166
	A11	N	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,6784
	A12	N	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	1,9463
Pirinç	A13	H	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	2,12
	A14	H	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	1,8936
	A15	H	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,8642
	A16	H	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	2,0413
	A17	H	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,8017
	A18	H	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	1,7865
	A19	N	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,18
	A20	N	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	1,354
	A21	N	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	2,029
	A22	N	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	2,1562
	A23	N	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,7099
	A24	N	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	2,1304
Çelik	A25	H	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,8877
	A26	H	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	1,9413
	A27	H	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,3889
	A28	H	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	1,8385
	A29	H	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,6509
	A30	H	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	1,6551
	A31	N	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,4756
	A32	N	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	2,1097
	A33	N	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,6607
	A34	N	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	2,0362
	A35	N	1,5	GYRSA	1000	5	10	3	1,7328
	A36	N	1,6	GYRSA	1000	5	10	3	2,0267

Geri yayımlı yapay sinir ağı algoritması aynı KİBYSA gibi çalışma koşulları veya malzeme farklı olsa da kötü sonuçlar vermektedir. Gördüğümüz üzere RMS değerleri oldukça yüksek ve bu deney için uygun algoritma olmadığı görülmektedir.

Tablo 9. Ağların GYYSA çalışma koşullarında RMS hata değerleri

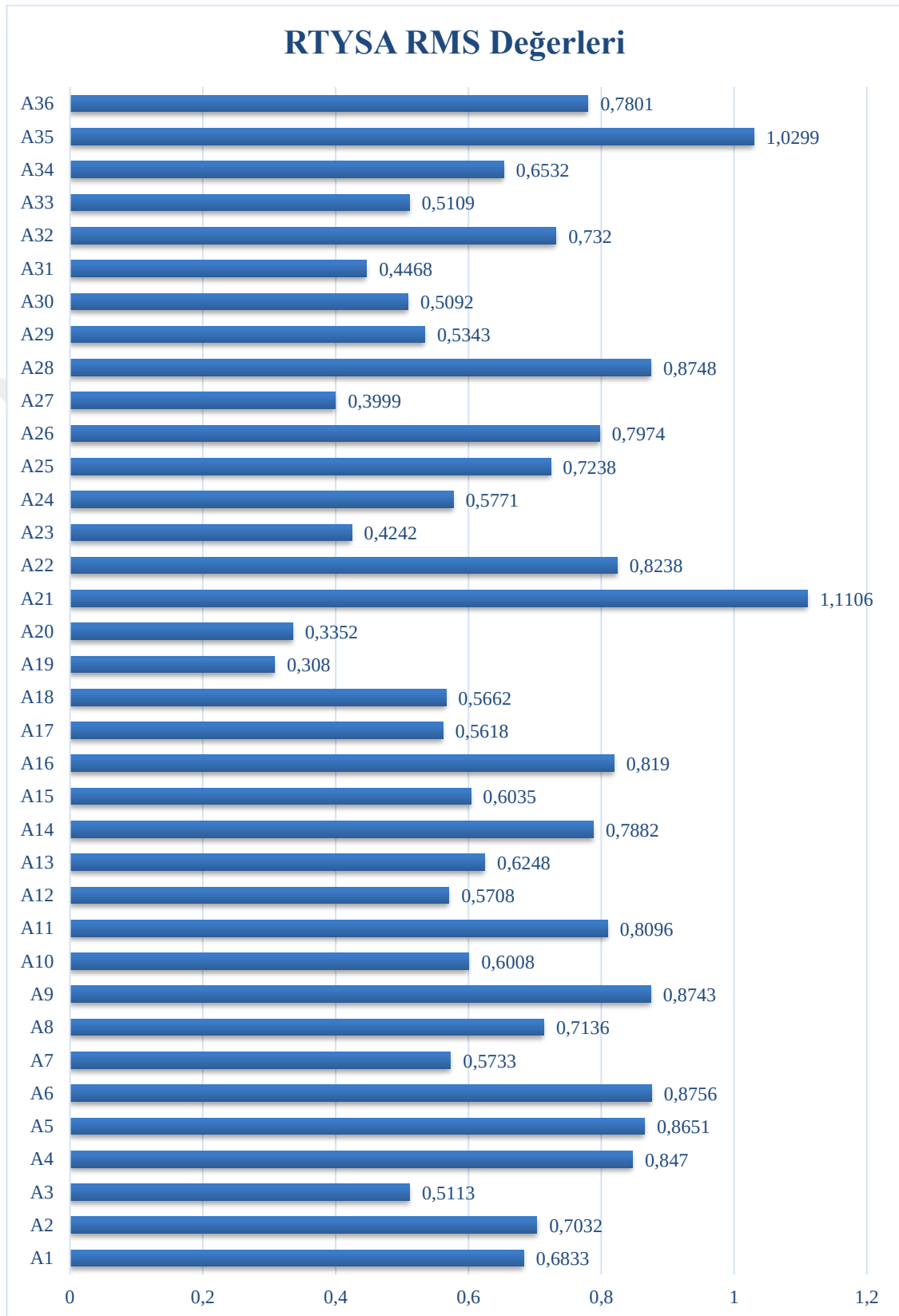


Tablo 10. Çalışma koşulları, RTYSA yapısal ve eğitim parametreleri

Çalışma koşulları				YSA		Nöron sayısı			Total
Malzeme	Kılavuz		YSA tipi	Yineleme Sayısı (N)	Giriş (nI)	Gizli (nH)	Çıkış (nO)	RMS Değeri	
	H: helisel N: normal	Devir (mm/dev)							
Alüminyum	A1	H	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,6833
	A2	H	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,7032
	A3	H	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,5113
	A4	H	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,847
	A5	H	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,8651
	A6	H	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,8756
	A7	N	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,5733
	A8	N	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,7136
	A9	N	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,8743
	A10	N	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,6008
	A11	N	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,8096
	A12	N	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,5708
Pirinç	A13	H	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,6248
	A14	H	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,7882
	A15	H	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,6035
	A16	H	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,819
	A17	H	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,5618
	A18	H	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,5662
	A19	N	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,308
	A20	N	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,3352
	A21	N	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	1,1106
	A22	N	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,8238
	A23	N	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,4242
	A24	N	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,5771
Çelik	A25	H	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,7238
	A26	H	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,7974
	A27	H	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,3999
	A28	H	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,8748
	A29	H	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,5343
	A30	H	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,5092
	A31	N	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,4468
	A32	N	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,732
	A33	N	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	0,5109
	A34	N	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,6532
	A35	N	1,5	RTYSA	1000	5	10	3	1,0299
	A36	N	1,6	RTYSA	1000	5	10	3	0,7801

Radyal tabanlı yapay sinir ağları algoritması, bu çalışma koşulları için hem en iyi hem de düşük RMS değerleri ile uygun olduğunu görmek mümkündür. Bu sonuçlarla anlaşılmaktadır ki RYYSA yapısı deneysel sonuçlara yakın sonuçlar hesapladığı ve hata değerleri düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 11. Ağların RTYSA çalışma koşullarında RMS hata değerleri

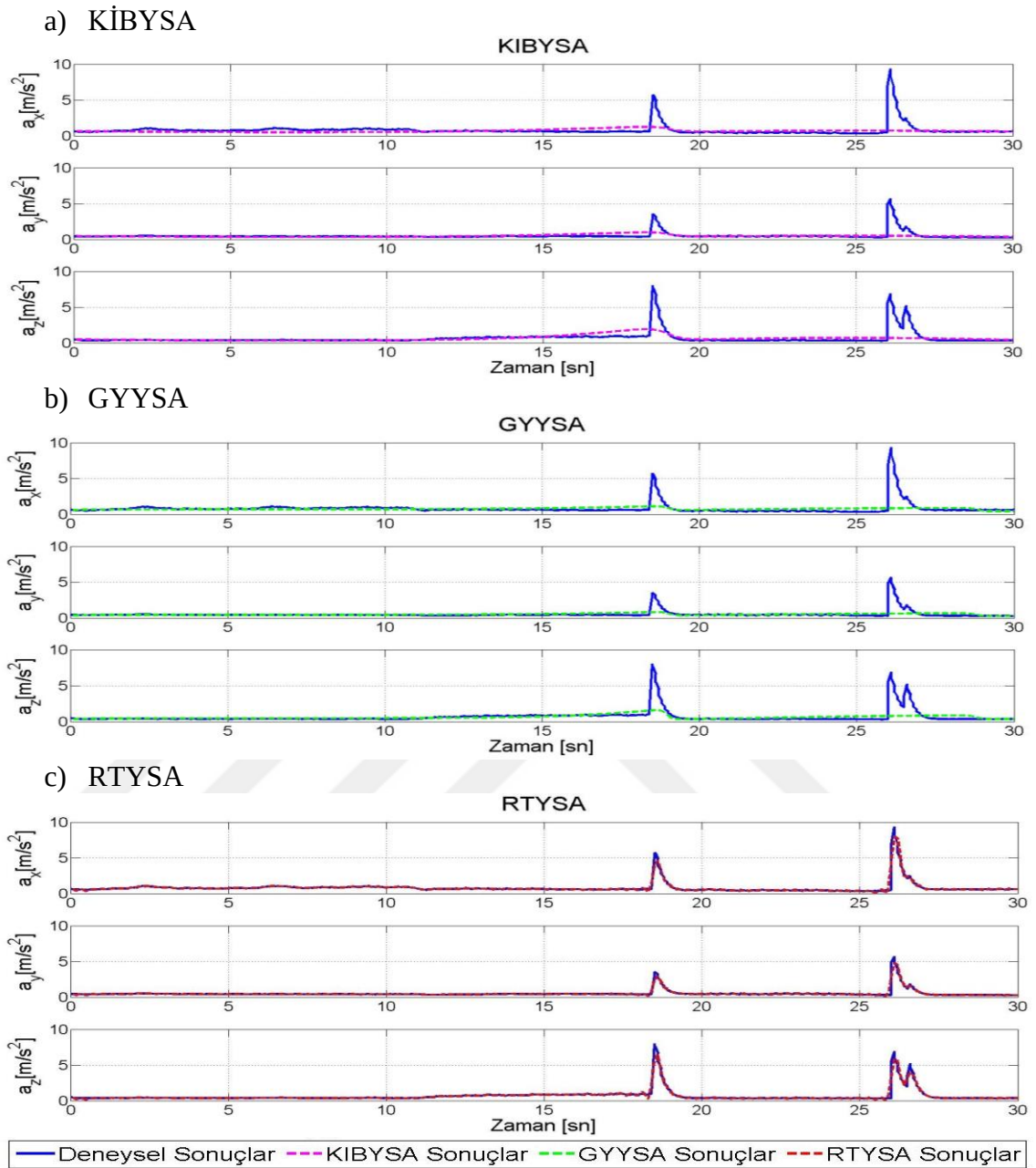


Deneyleeri gerçekleştirilen 36 verinin her üç YSA yapısı için ayrı ayrı grafiksel yorumları bir sonraki bölümde yapılmıştır. Deneysel verilerin tahmininde kullanılan KİBYSA, GYYSA ve RTYSA yapılarının RMS sonuçlarının bu bölümde sayısal performans mukayeseleri yapılacaktır. Tüm eksenlere (a_x), (a_y) ve (a_z) gerçekleştirilen analizlere göre üç eksen için ayrı ayrı RMS değerleri hesaplanarak toplam RMS sonuçları hem tablo hem grafik olarak Tablo 10, 11, 12, 13, 14 ve 15'te verilmiştir.

KİBYSA algoritması alüminyum, pirinç ve elik malzeme ile gerçekleştirilmiş analizlerden elde edilen verilere göre RMS değerleri Tablo 10 ve 11'de verilmiştir. Her bir veri dikkate alındığında KİBYSA yapısının yakın sonuç vermediği anlaşılmaktadır. Farklı malzemelere sahip verilere bakılsa bile normal ve helisel kılavuz dahilinde her ikisi için aynı şekilde sonuç verdiği ve malzemenin sonuçlara etkisi olmadığı görülmektedir.

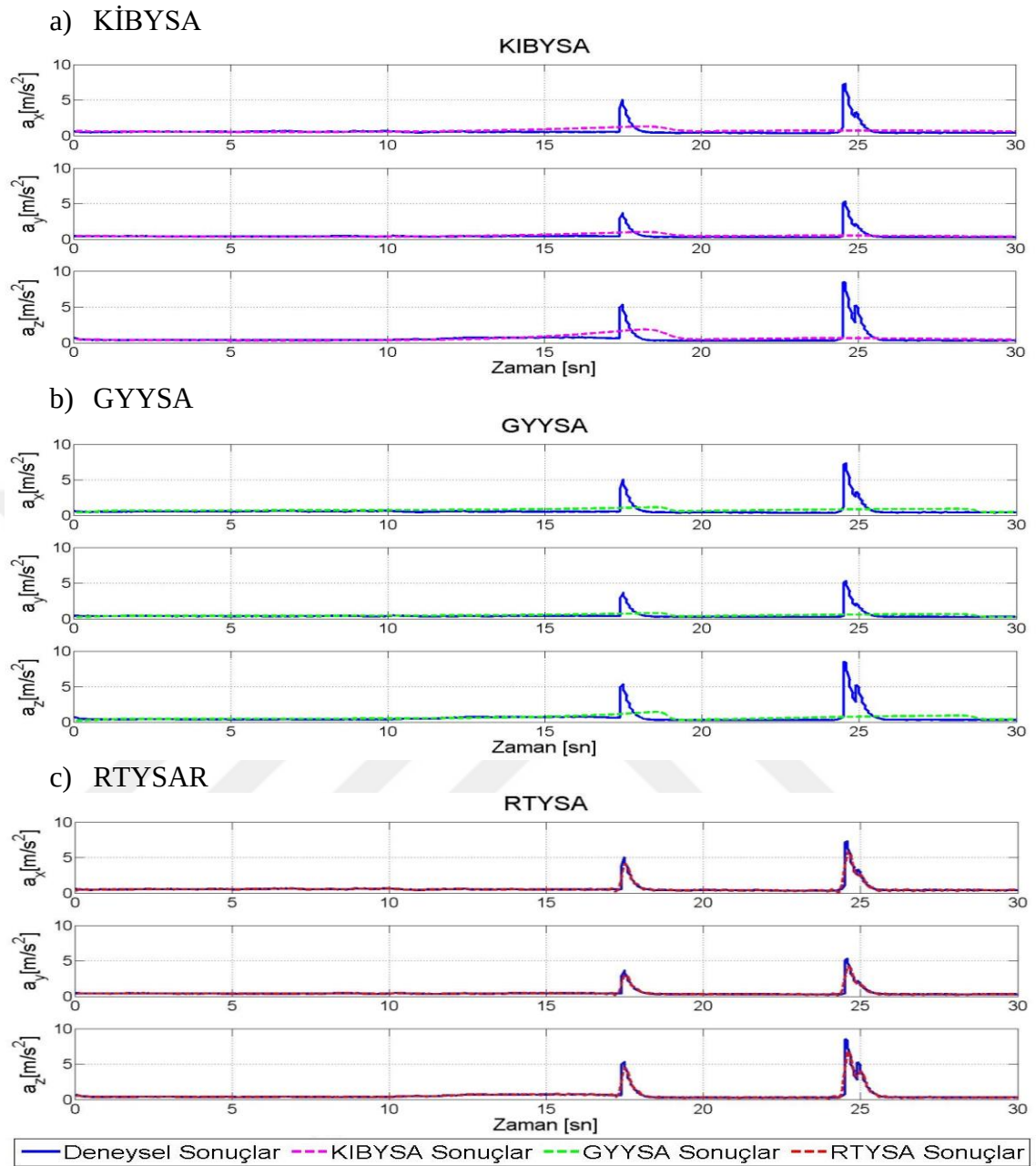
Tablo 12 ve 13'de ise GYYSA algoritmasının sonuçları paylaşılmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında bu algoritmanın da aynı KİBYSA yapısı gibi deneysel sonuçlara uzak sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Farklı malzeme ile normal ve helisel takım için her ikisinde de RMS değerleri yüksek olduğundan bu algoritmanın da bu çalışma koşulları için uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Son olarak RTYSA'nın RMS değerlerine bakıldığında hem KİBYSA hem GYYSA'ya göre hata değerleri oldukça düşük ve deneysel sonuçlara yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. RTYSA'nın alüminyum, pirinç ve elik için hepsinde iyi sonuçlar verdiğini ve ayrıca hem normal kılavuz hem helisel kılavuz için iyi sonuçlar veridiğini görmek mümkündür. Yani bu çalışmada malzemenin ve kılavuz özelliğinin etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. RTYSA'nın hata değerlerinin diğer algoritmalara göre üç kat daha düşük olduğu görülmektedir. Bu tür titreşim verilerine en uygun olarak RTYSA'nın sonuç verdiği ve deneysel sonuçlara en yakın olan algoritmanın o olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 44. Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları. a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

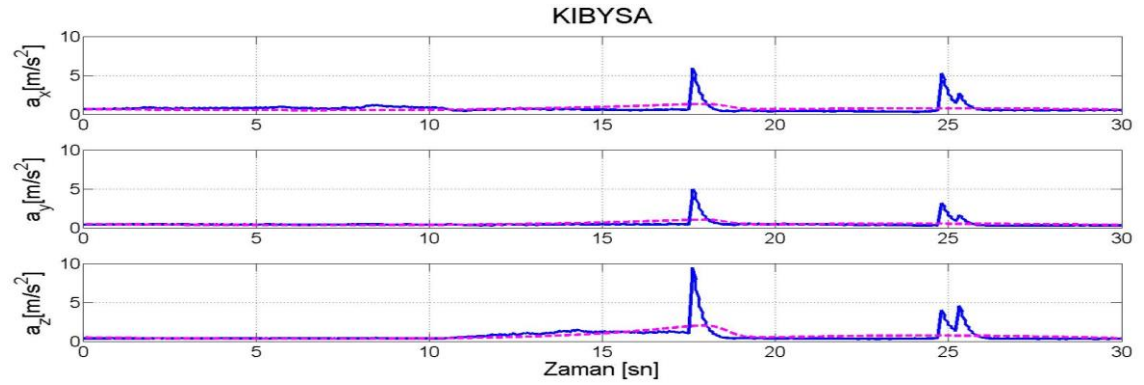
Şekil 44’de, Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile 175dv/dk iş mili hızında ve 1,5mm/dk ilerleme hızında Alüminyum malzeme için elde edilen hem deneysel hem de yapay sinir ağları sonuçlarını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi RTYSA yapısının deneysel sonuçları hem GYYSA hem de KİBYSA yapısından oldukça iyidir.



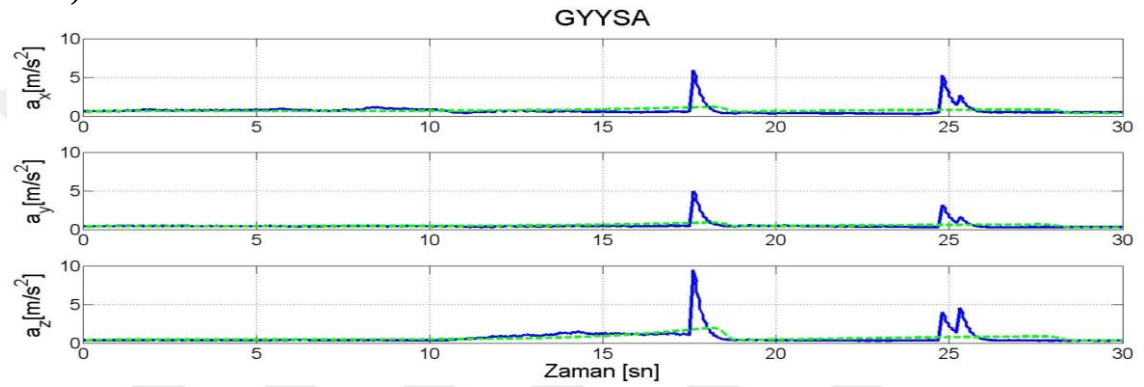
Şekil 45. Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneyel ve yapay sinir ağıları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 45'de Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile 175dv/dk iş mili hızı ve 1,6 mm/dk ilerleme hızı için dış açma değerleri için sonuçlar elde edilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ilerleme değeri biraz artınca titreşim genlikleri biraz artmaktadır. Yapay sinir ağıları algoritmalarından biri olan RTYSA algoritması, Şekil 45 (a), (b) ve (c)'de gösterildiği gibi GYYSA ve KİBYSA algoritmalarına göre daha iyi öğrenme performansı göstermektedir.

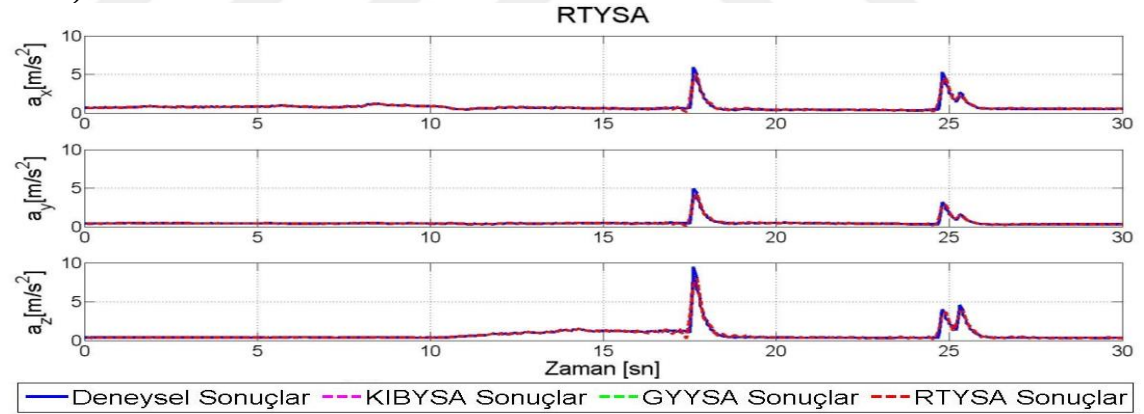
KİBYSA



a) GYSA

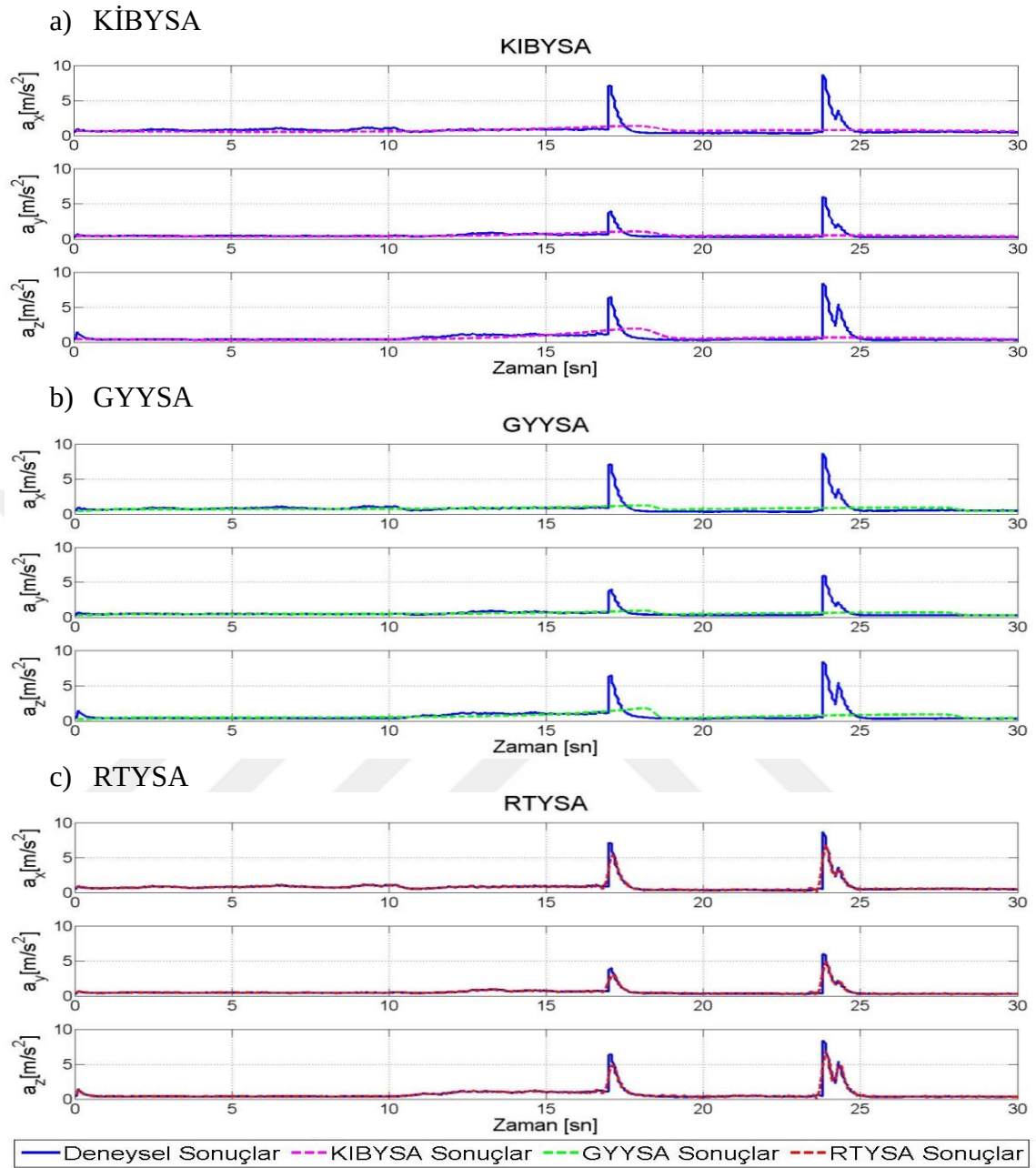


b) RTYA



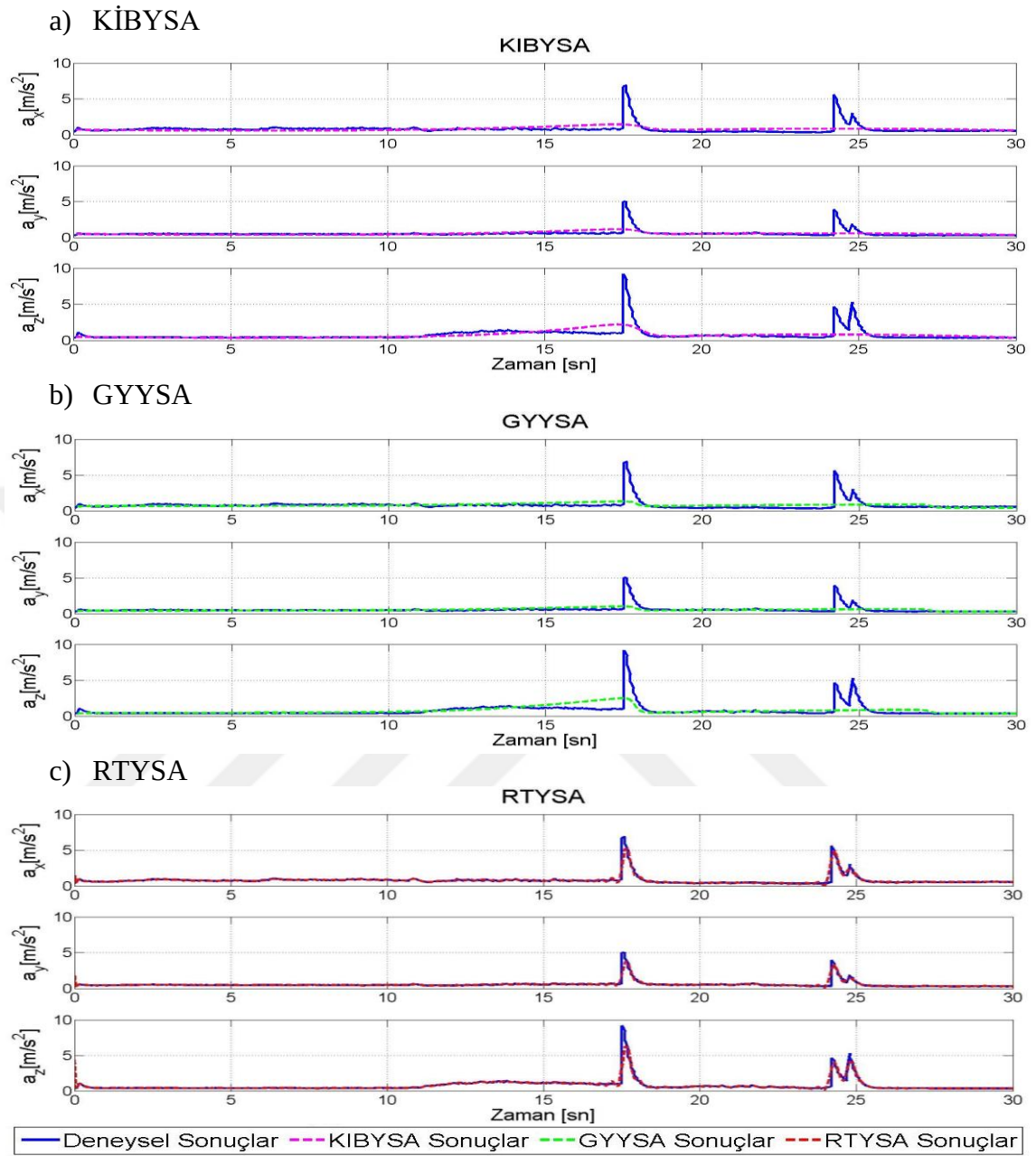
Şekil 46. Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYSA, c) RTYA

Şekil 46'de Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile iş mili devir değeri artırılıp 185dv/dk olarak alındığında ve 175dv/dk ile karşılaştırıldığında, artan iş mili devir değerinin genliği arttırdığı ve titreşim süresini uzadığı gözlemlenmiştir. GYSA biraz da olsa deneysel eğriyi yakalamaya yaklaşmış olsa da yine RTYA algoritmasının deneysel sonuca GYSA ve KİBYSA algoritmasından daha fazla yakınsadığı görülmektedir.



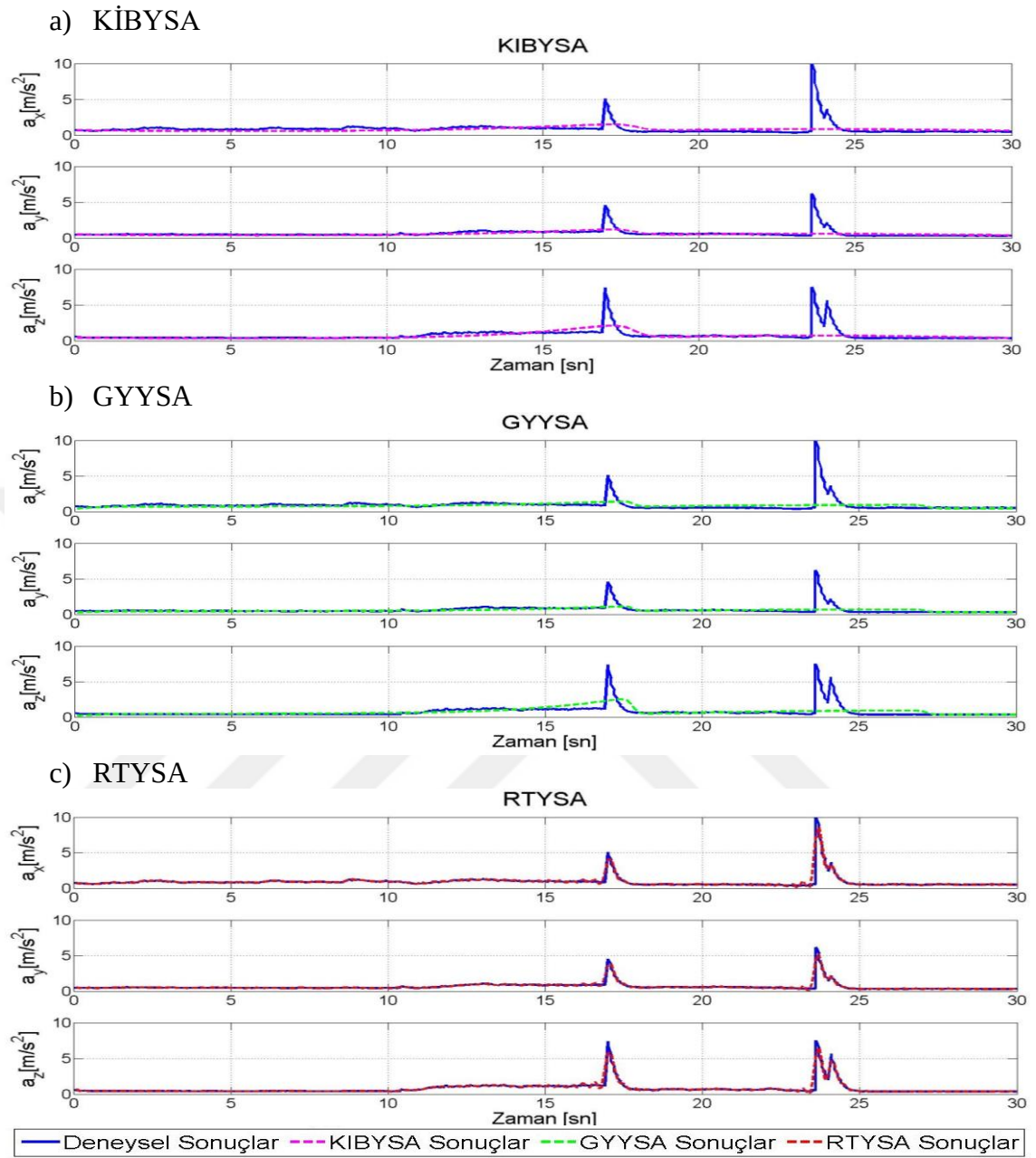
Şekil 47. Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 47, Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile 185dv/dk iş mili hızı ve 1,6mm/dk ilerleme hızı koşulları altında elde edilen deneysel ve yapay sinir ağı sonuçlarını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ilerleme hızındaki artış titreşim genliğinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca titreşim değerlerinin tahmininde RTYSA algoritmasının birbirine yakın olan GYYSA ve KİBYSA algoritmalarına göre daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.



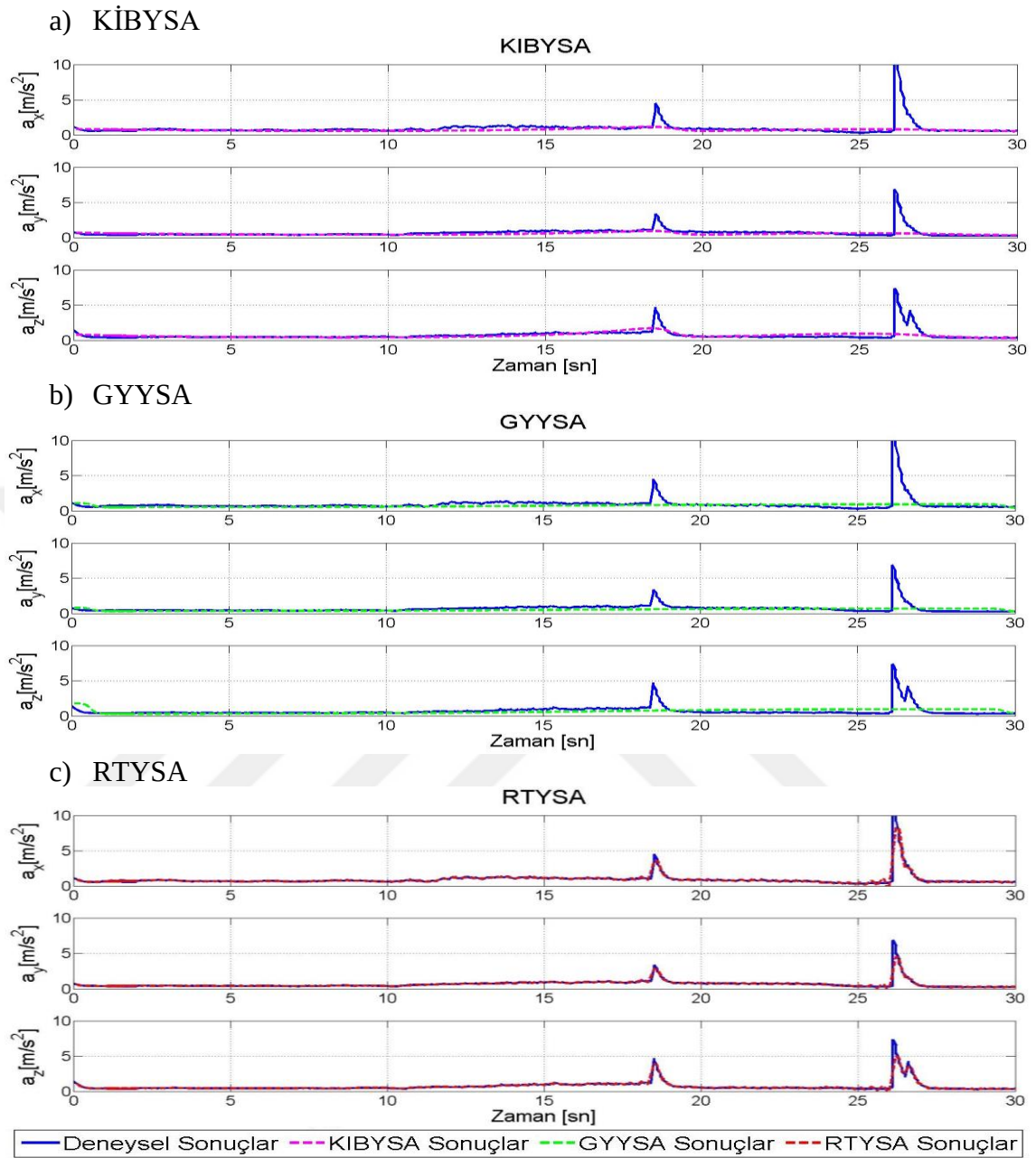
Şekil 48. Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneyel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile iş mili devir değeri artırılarak 200dv/dk olarak alındığında ve ilerleme hızı 1,5mm/dk şartları altında deneyel ve yapay sinir ağı grafikleri Şekil 48’da görülmektedir. Karşılaştırıldığında, artan iş mili devir değerinin genliği düşürdüğü ve titreşim süresini biraz da olsa kısalttığı gözlemlenmiştir. GYYSA ve KİBYSA deneyel eğriyi yakalama yamamış ve yine RTYSA algoritmasının deneyel sonuca hem GYYSA ve KİBYSA algoritmasından daha fazla yakınsadığı görülmektedir.



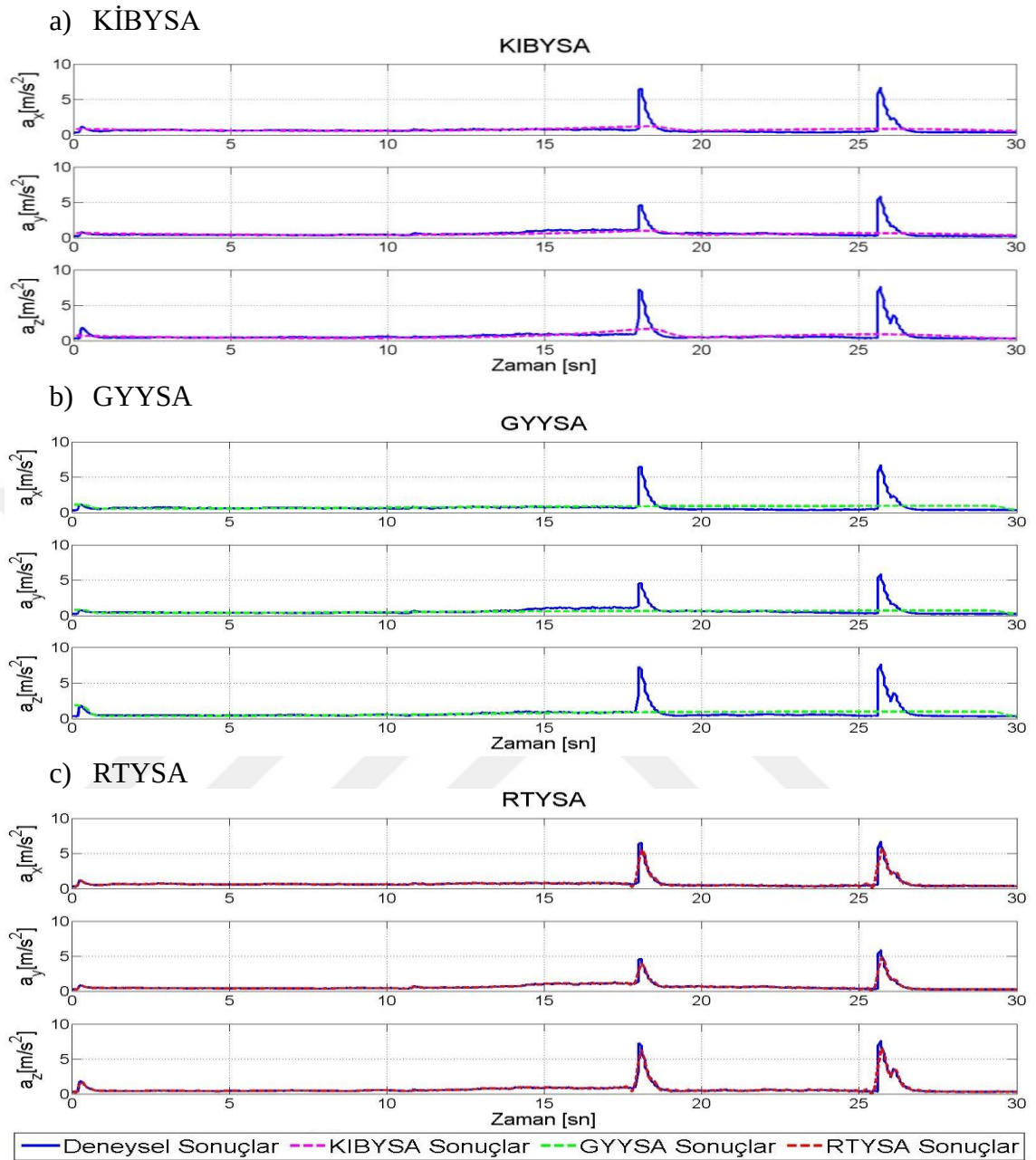
Şekil 49. Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 49'de Alüminyum malzeme, helisel kılavuz ile 200dv/dk iş mili hızı ve 1,6 mm/dk ilerleme hızı için M10 dış açma sonuçları alınmıştır. İlerleme hızı 1,6mm/dk'ya çıkarıldığı taktirde önceki şekillerde de görüldüğü gibi bu şekilde de genliklerin biraz arttığı görülmektedir. En iyi sonucu, RTYSA yapay sinir ağı algoritması ve Şekil 49 (b)'de de görülmekte olan algoritma vermektedir. Şekil 49 (a) ve (c)'de gösterildiği gibi GYYSA ve KİBYSA algoritmaları deneysel sonuçlarını yakalayamamıştır.



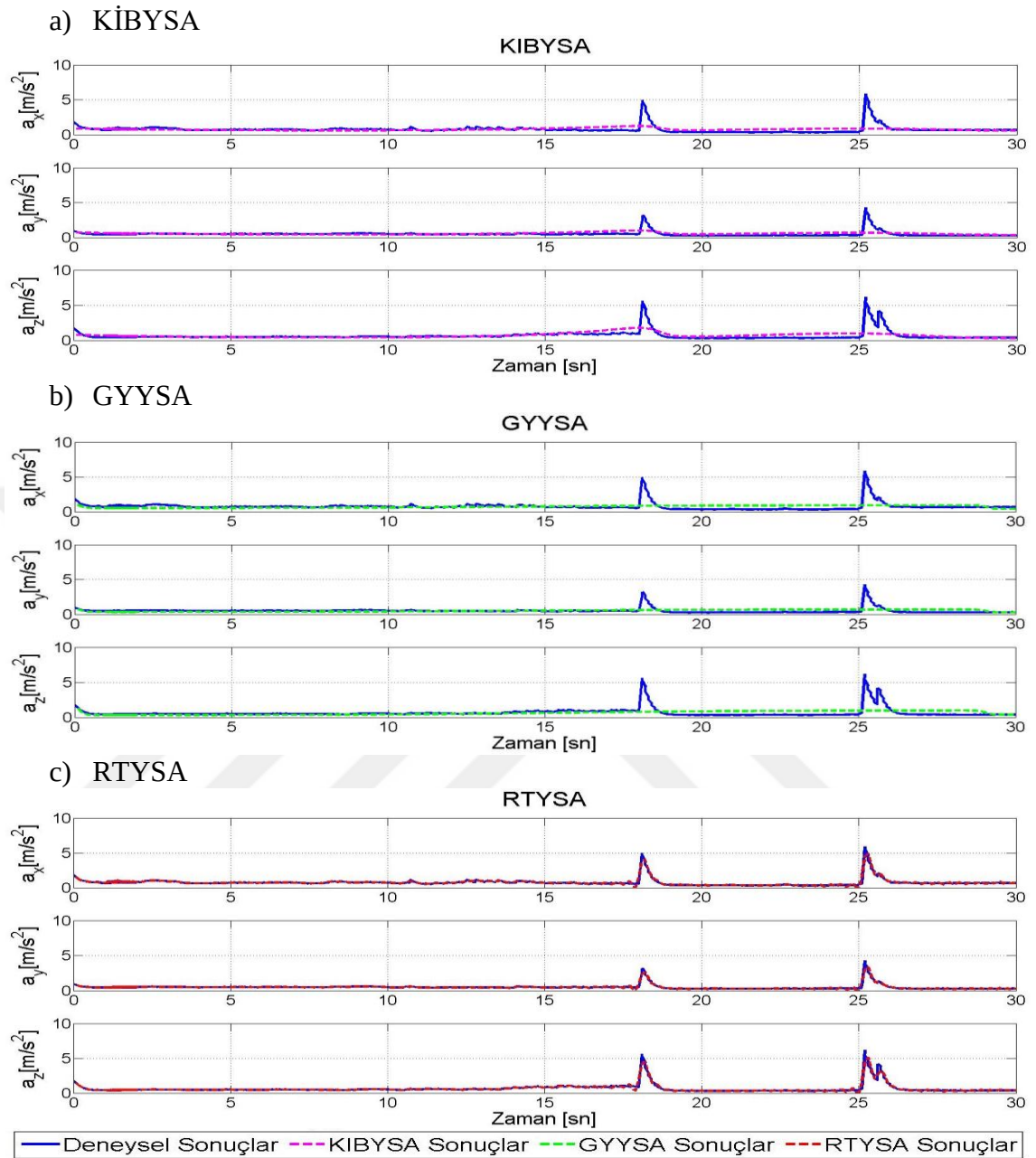
Şekil 50. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Alüminyum malzemede helisel ile normal kılavuz arasında yapısal farklılık olsa da malzeme aynıdır, dış açmadaki titreşim etkilerini tahmin etmek amacıyla helisel ve normal kılavuz için de deneyler ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 50, elde edilen deneysel ve YSA sonuçlarını göstermektedir. Elde edilen sonuçlardan, GYYSA ve KİBYSA algoritmaları deneysel sonuçlarına yakınsamadığı fakat RTYSA algoritmasının deneysel sonuçlara yakınsadığı görülmektedir.



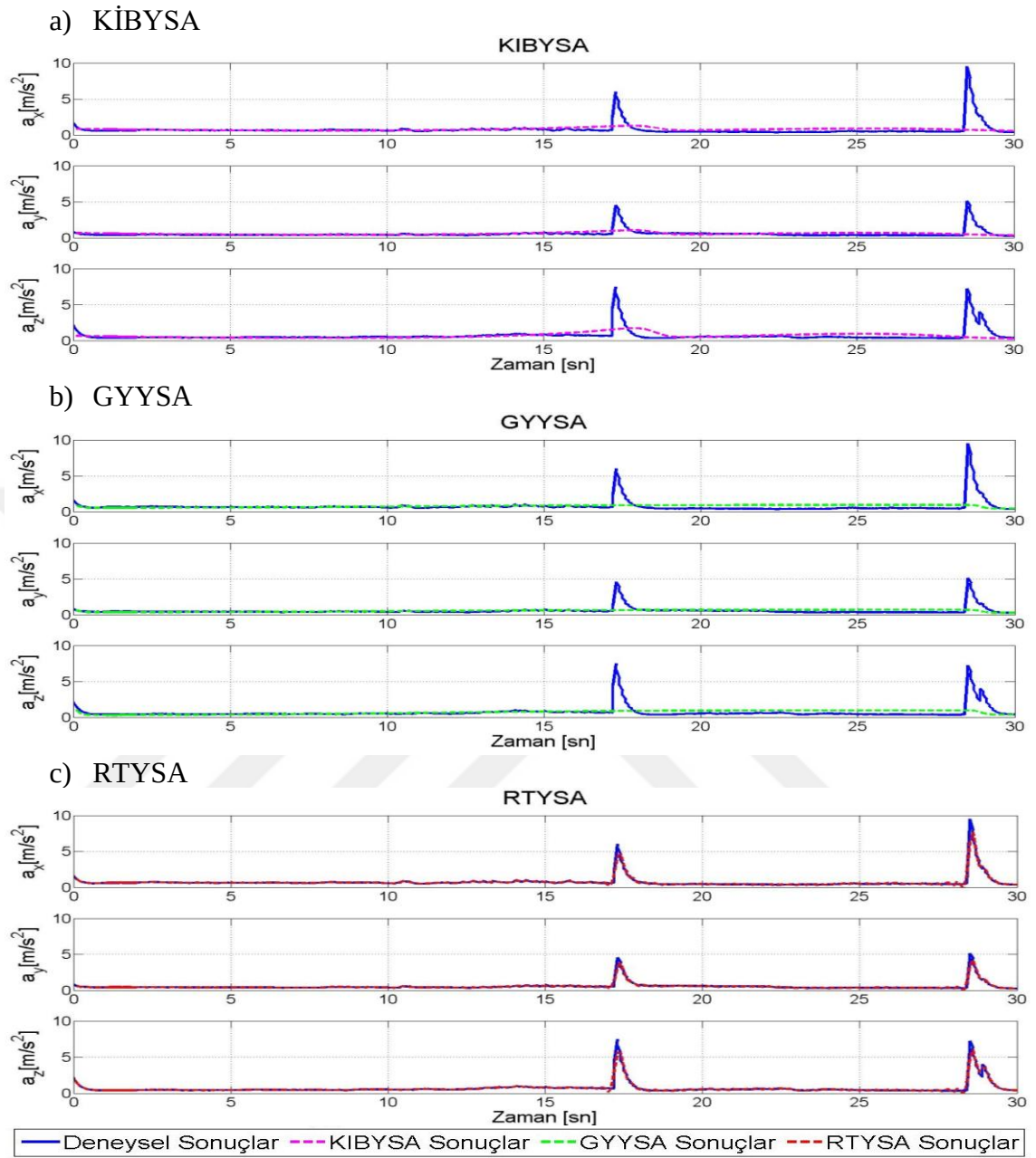
Şekil 51. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil hızı değeri 175dv/dk'da kaldığında ancak ilerleme hızı değeri 1,6mm/dk'ya çıkarıldığında elde edilen titreşim sonuçları Şekil 51'da verilmiştir. Bu durumda titreşim genliğinde neredeyse iki katı bir artış gözlenmiştir. RTYSA algoritması, öğrenme performansı açısından GYYSA ve KİBYSA algoritmalarına göre çok daha iyi sonuç vermektedir.



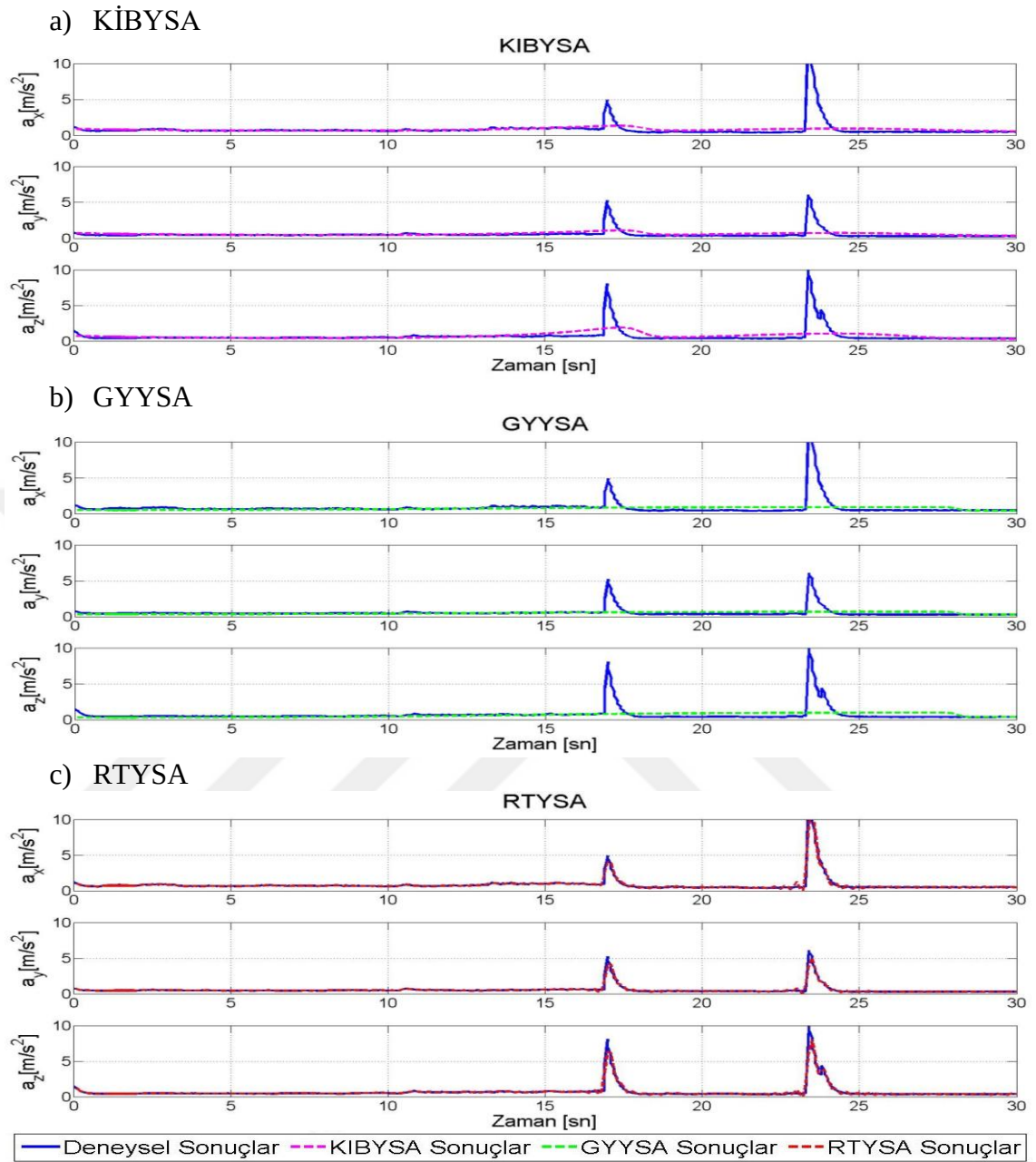
Şekil 52. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, diş açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile iş mili hızı 185dv/dk ve ilerleme hızı 1,5mm/dk parametre değerleri için dikey matkap ile diş açma titreşim özellikleri ve bu parametre değerlerine göre YSA sonuçları Şekil 52'de verilmiştir. Şekil 50 ile karşılaştırıldığında, iş mili hız değeri 175dv/dk dan 185dv/dk'ya arttığında işleme süresi değişmemiş ancak genlik değerleri arttığı gözlemlenmiştir. Bir önceki sonuçlarda da olduğu gibi bu parametrelerde de en iyi sonucu veren RTYSA algoritmasıdır.



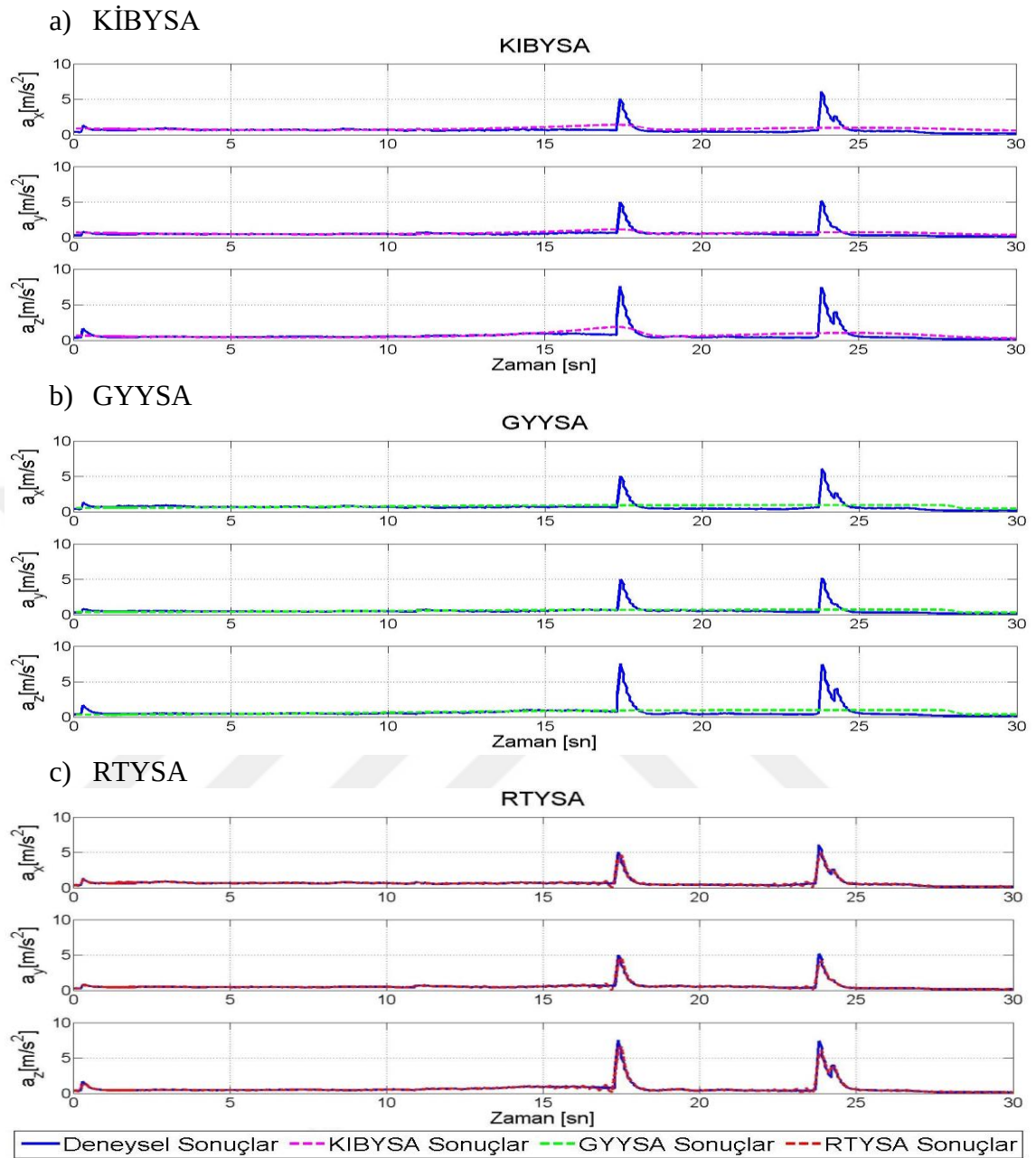
Şekil 53. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 53, Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile iş mili hız değerinin 185dv/dk'da kaldığı ve ilerleme hızı değerinin 1,6mm/dk'ya çıkarıldığı durum için sonuçları göstermektedir. Bu değerler dikkate alındığında Şekil 52'den farklı olarak artan ilerleme hızının genliğe etkisi olduğu görülmüştür. Şekilden görüldüğü gibi, GYYSA ve KİBYSA algoritması deneysel değerlerden çok uzak kalmış. Ve RTYSA algoritması bu çalışma koşulları için iyi performanslar göstermiştir.



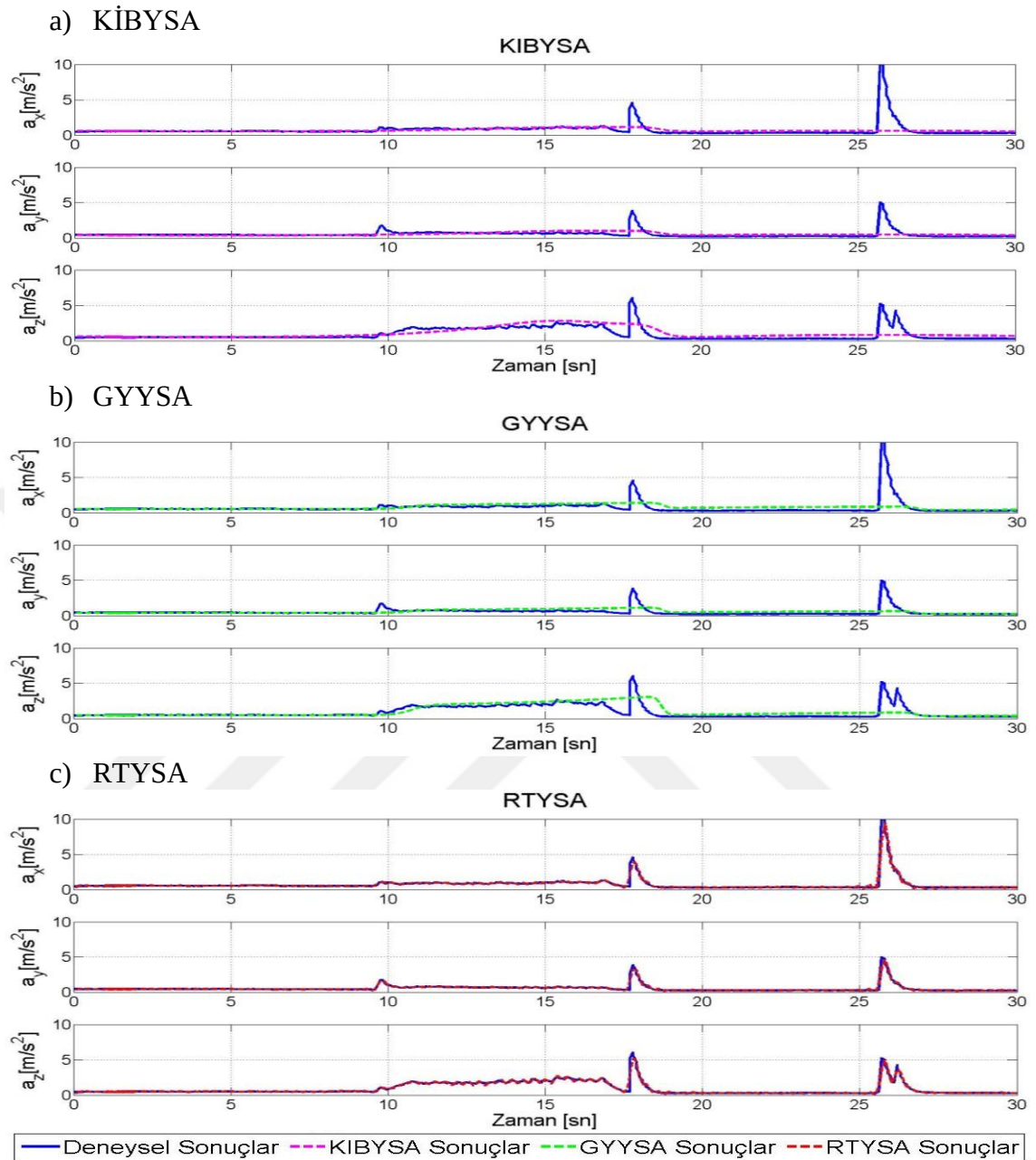
Şekil 54. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, diş açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYSA, c) RTYSA

Şekil 54’de Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile iş mili devir değeri artırılarak 200dv/dk olarak alındığında ve ilerleme hızı 1,5mm/dk şartları altında deneysel ve yapay sinir ağı grafikleri gösterilmektedir. Karşılaştırıldığında, artan iş mili devir değerinin diş açma işlemin başında genliğin azaldığı fakat diş açma işlemin bitişinde ise tam tersi genliğin arttığını görülmektedir. GYSA ve KİBYSA deneysel eğriden çok uzak kalmış ve yine RTYSA algoritmasının deneysel sonuca daha fazla yakınsadığı görülmektedir.



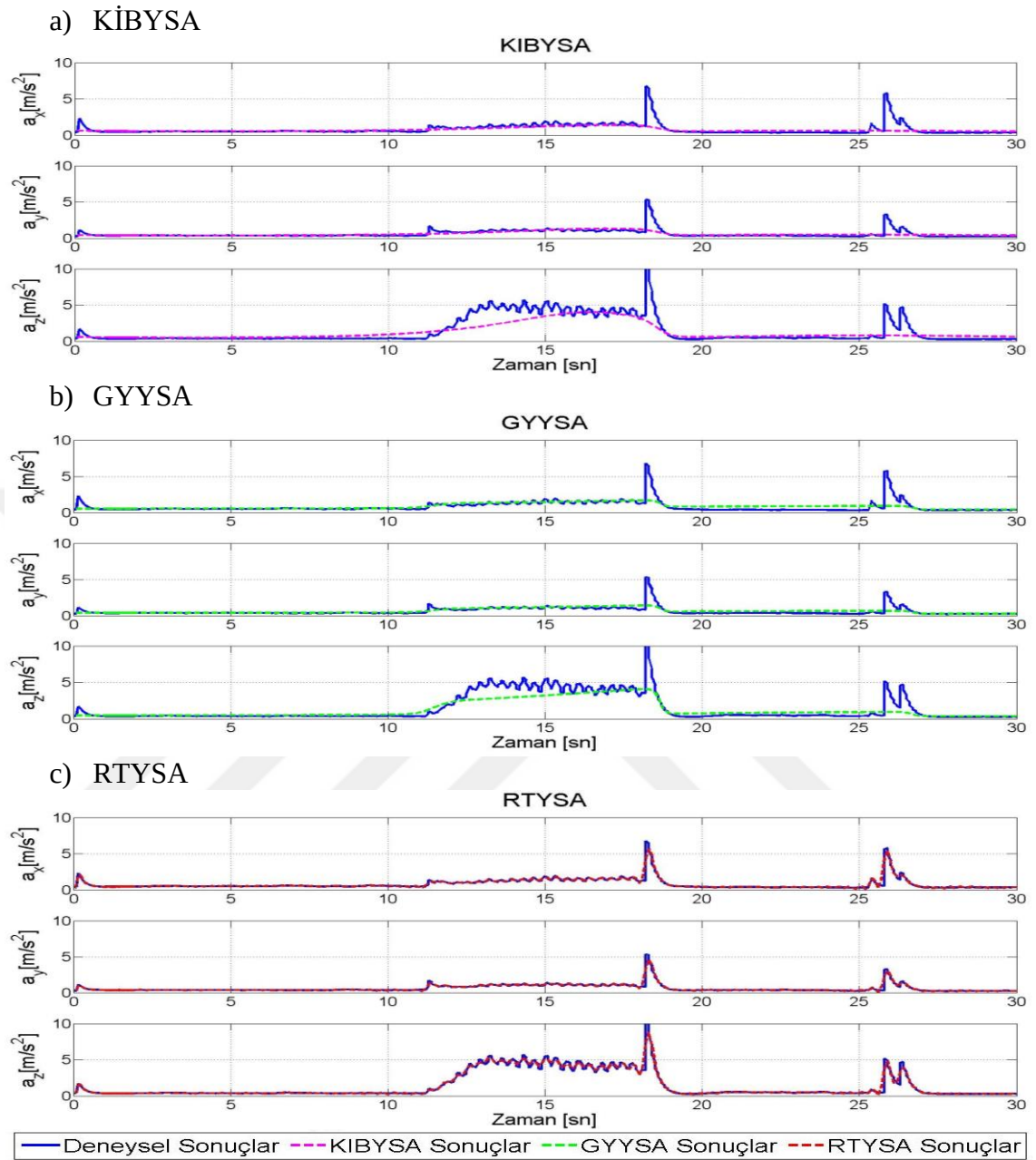
Şekil 55. Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, diş açma M10 için deneysel ve YSA sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 55'de Alüminyum malzeme, normal kılavuz ile 200dv/dk iş mili hızı ve 1,6 mm/dk ilerleme hızı için M10 diş açma sonuçları alınmıştır. İlerleme hızı 1,6mm/dk'ya çıkarıldığı taktirde önceki şekillerde de görüldüğü gibi bu şekilde de genliklerin biraz arttığı görülmektedir. En iyi sonucu, RTYSA yapay sinir ağları algoritması ve Şekil 55 (c)'de de görülmekte olan algoritma vermektedir. Şekil 55 (a) ve (b)'de gösterildiği gibi KİBYSA ve GYYSA algoritmaları deneysel sonuçlarını yakalayamamıştır.



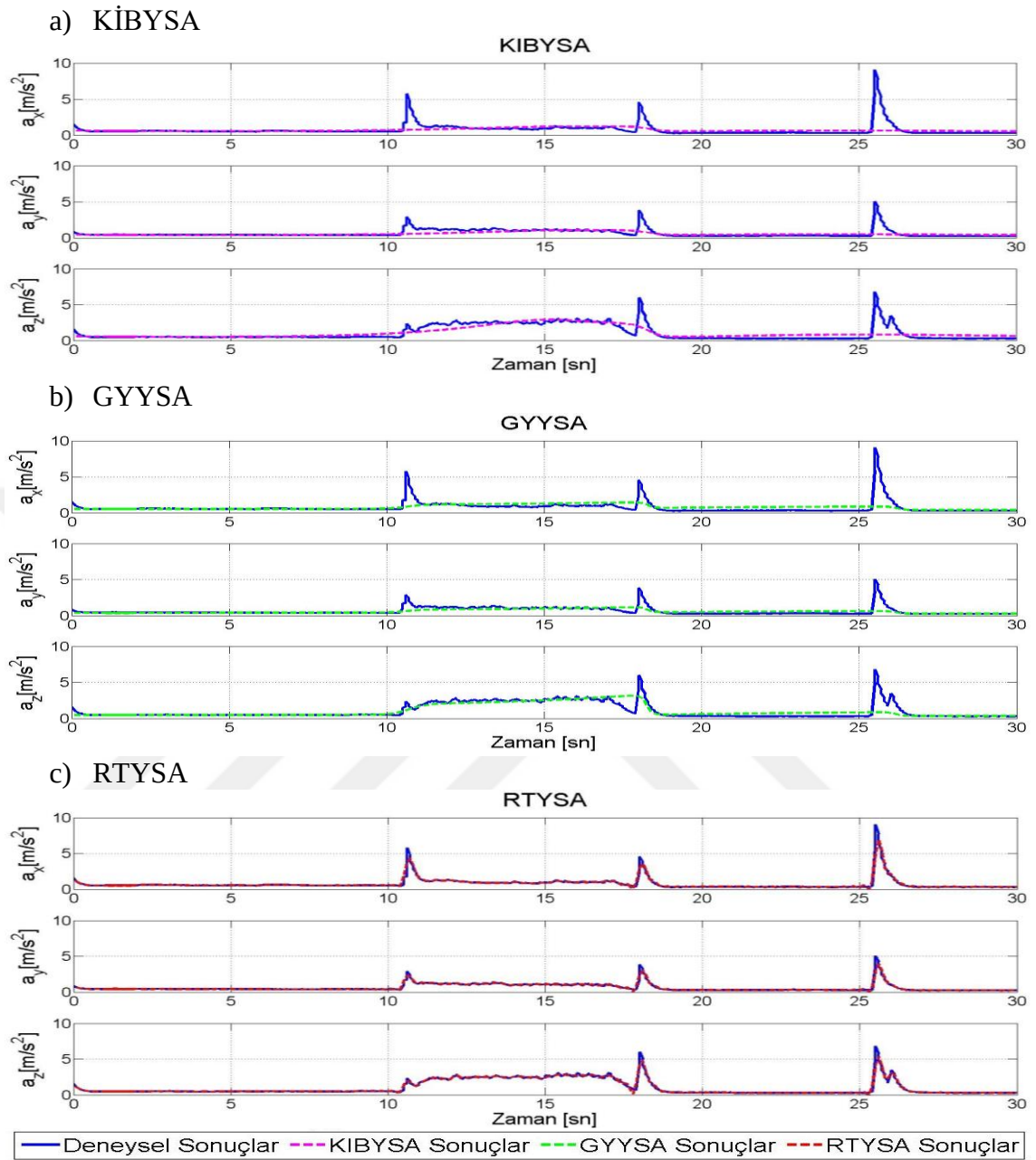
Şekil 56. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Pirince göre alüminyum daha yumuşak ve hafif bir malzeme olduğundan, daha sert malzemelerde dikey matkap ile dış açmadaki titreşim etkilerini tahmin etmek amacıyla pirinç malzeme için de deneyler ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 56, pirinç malzeme için 175dv/dk iş mili hızı ve 1,5mm/dk ilerleme hızında elde edilen deneysel ve YSA sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlara göre, GYYSA ve KİBYSA algoritmaları deneysel sonuçlarına yakınsamadığı fakat RTYSA yapısı yakınsadığı görülmektedir.



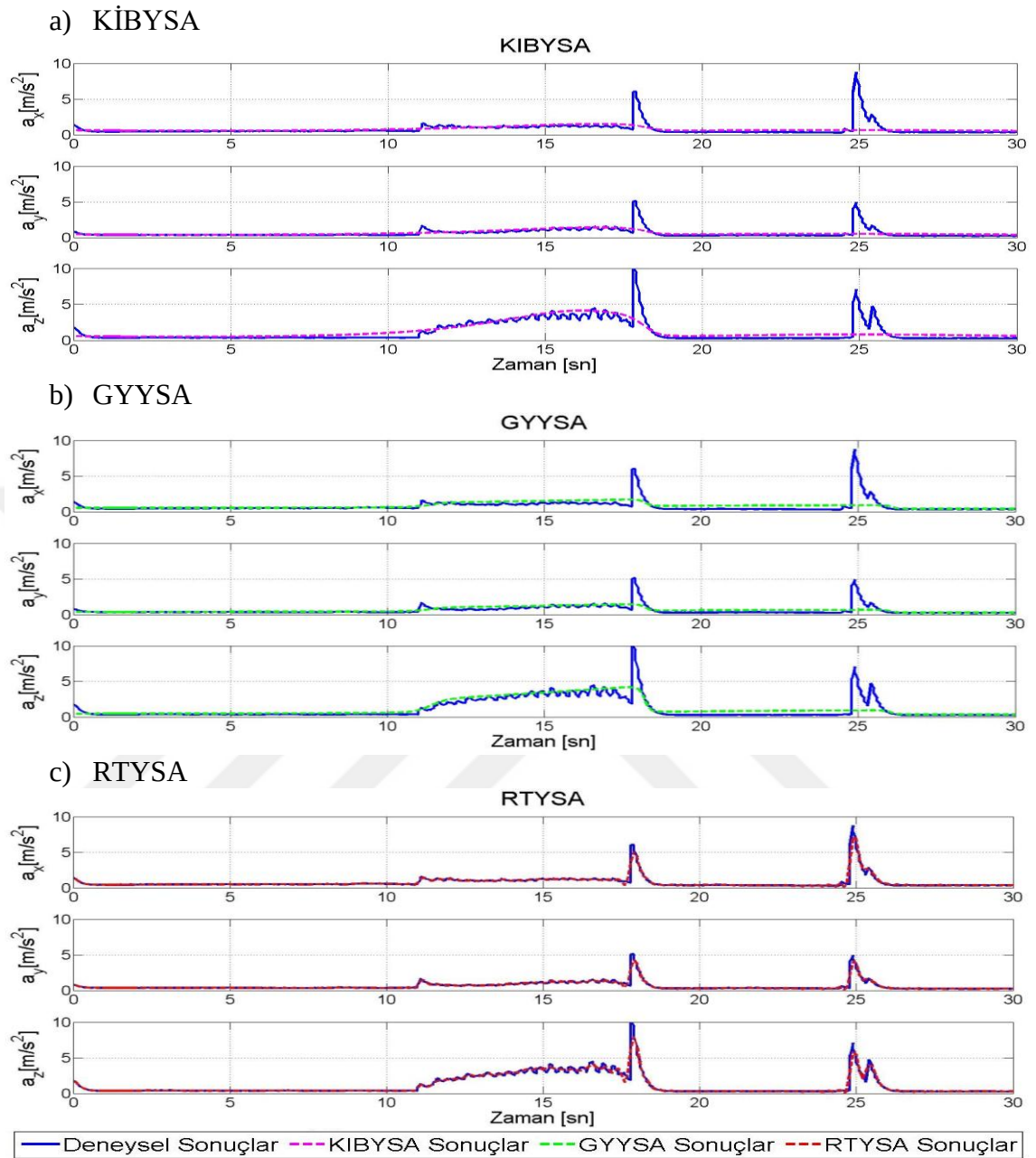
Şekil 57. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 57'de Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile 175dv/dk iş mili hızı ve 1,6 mm/dk ilerleme hızı için dış açma değerleri için sonuçlar elde edilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ilerleme değeri biraz artınca titreşim genlikleri artmaktadır. Yapay sinir ağı algoritmalarından biri olan RTYSA algoritması, Şekil 57 (a), (b) ve (c)'de gösterildiği gibi GYYSA ve KİBYSA algoritmalarına göre daha iyi öğrenme performansı göstermektedir.



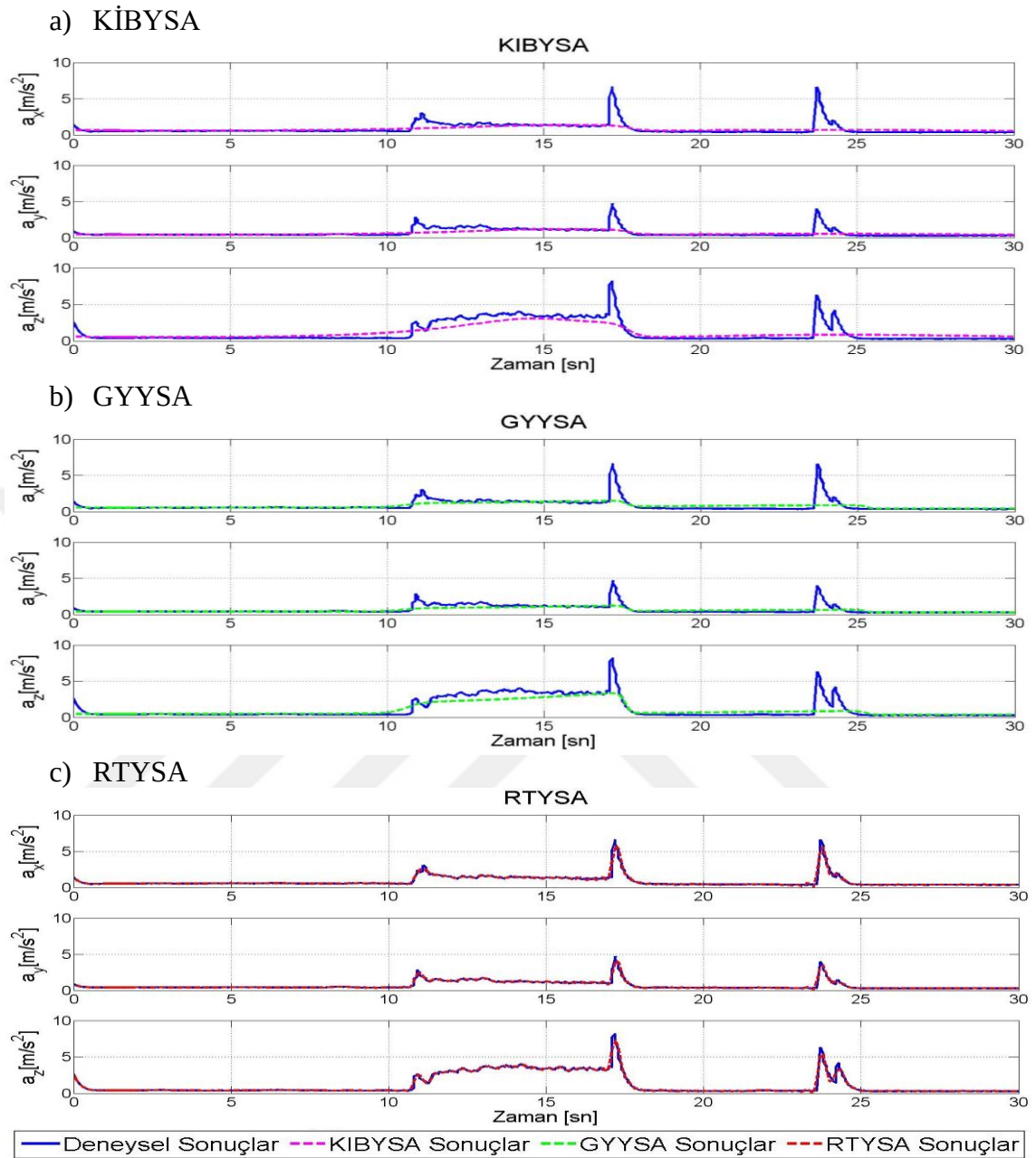
Şekil 58. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 58’de Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile iş mili devir değeri artırılıp 185dv/dk olarak alındığında ve 175dv/dk ile karşılaştırıldığında, artan iş mili devir değerinin genliği arttırdığı ve titreşim süresinin uzadığı gözlemlenmiştir. GYYSA biraz deneysel eğriyi yakalamaya yaklaşmış olsa da yine RTYSA algoritmasının deneysel sonuca GYYSA ve KİBYSA algoritmasından daha fazla yakınsadığı görülmektedir.



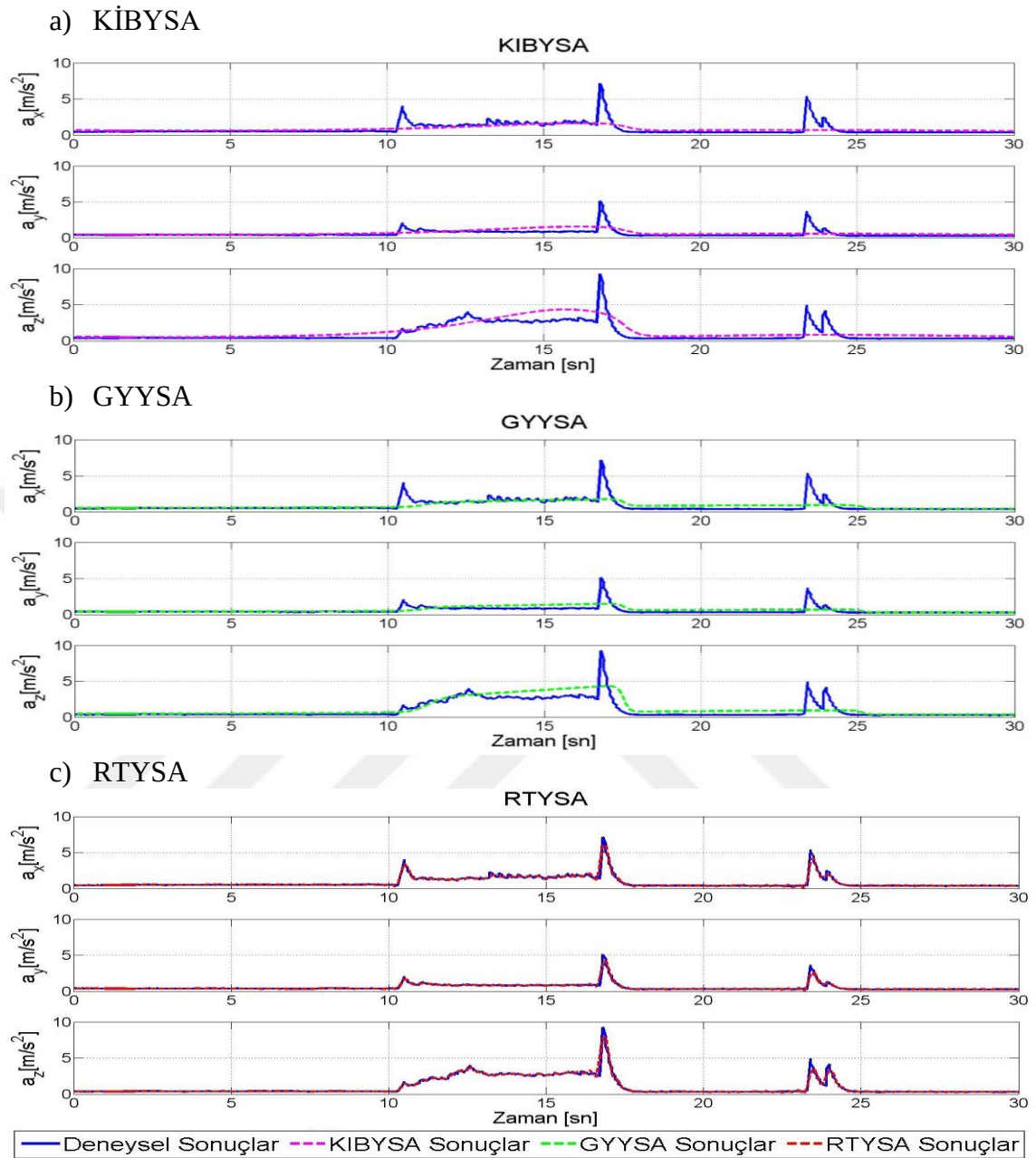
Şekil 59. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 59, Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile 185dv/dk iş mili hızı ve 1,6mm/dk ilerleme hızı koşulları altında elde edilen deneysel ve yapay sinir ağı sonuçlarını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ilerleme hızındaki artış titreşim genliğinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca titreşim değerlerinin RTYSA algoritmasının birbirine yakın olan GYYSA ve KİBYSA algoritmalarına göre daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.



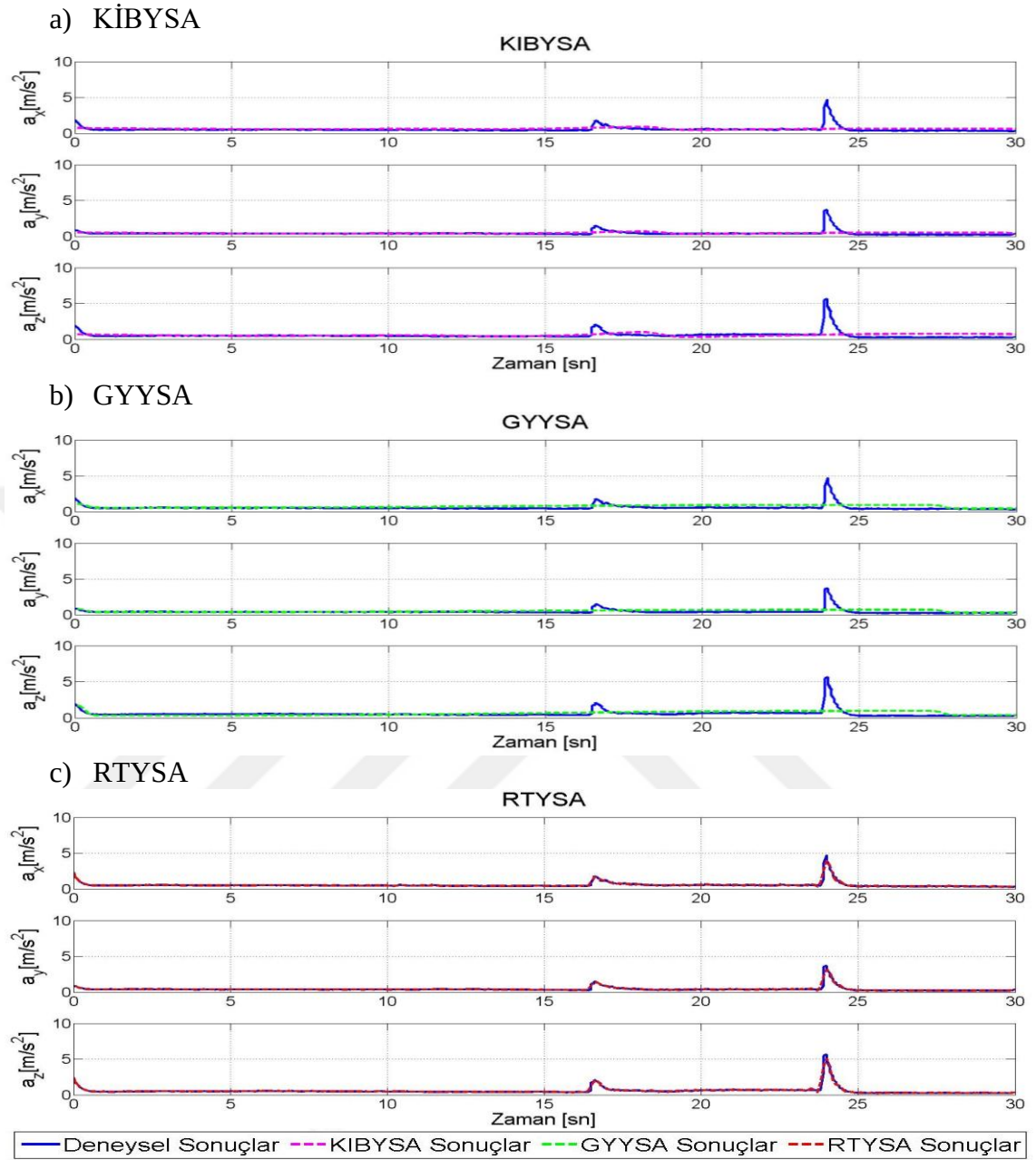
Şekil 60. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 60'da Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile iş mili devir değeri artırılarak 200dv/dk olarak alındığında ve ilerleme hızı 1,5mm/dk şartları altında deneysel ve yapay sinir ağı grafikleri Şekil 60'da görülmektedir. Karşılaştırıldığında, artan iş mili devir değerinin genliği düşürdüğü ve titreşim süresini biraz da olsa kısalttığı gözlemlenmiştir. GYYSA ve KİBYSA deneysel eğriyi yakalayamamış ve yine RTYSA algoritmasının deneysel sonuca GYYSA ve KİBYSA algoritmasından daha fazla yakınsadığı görülmektedir.



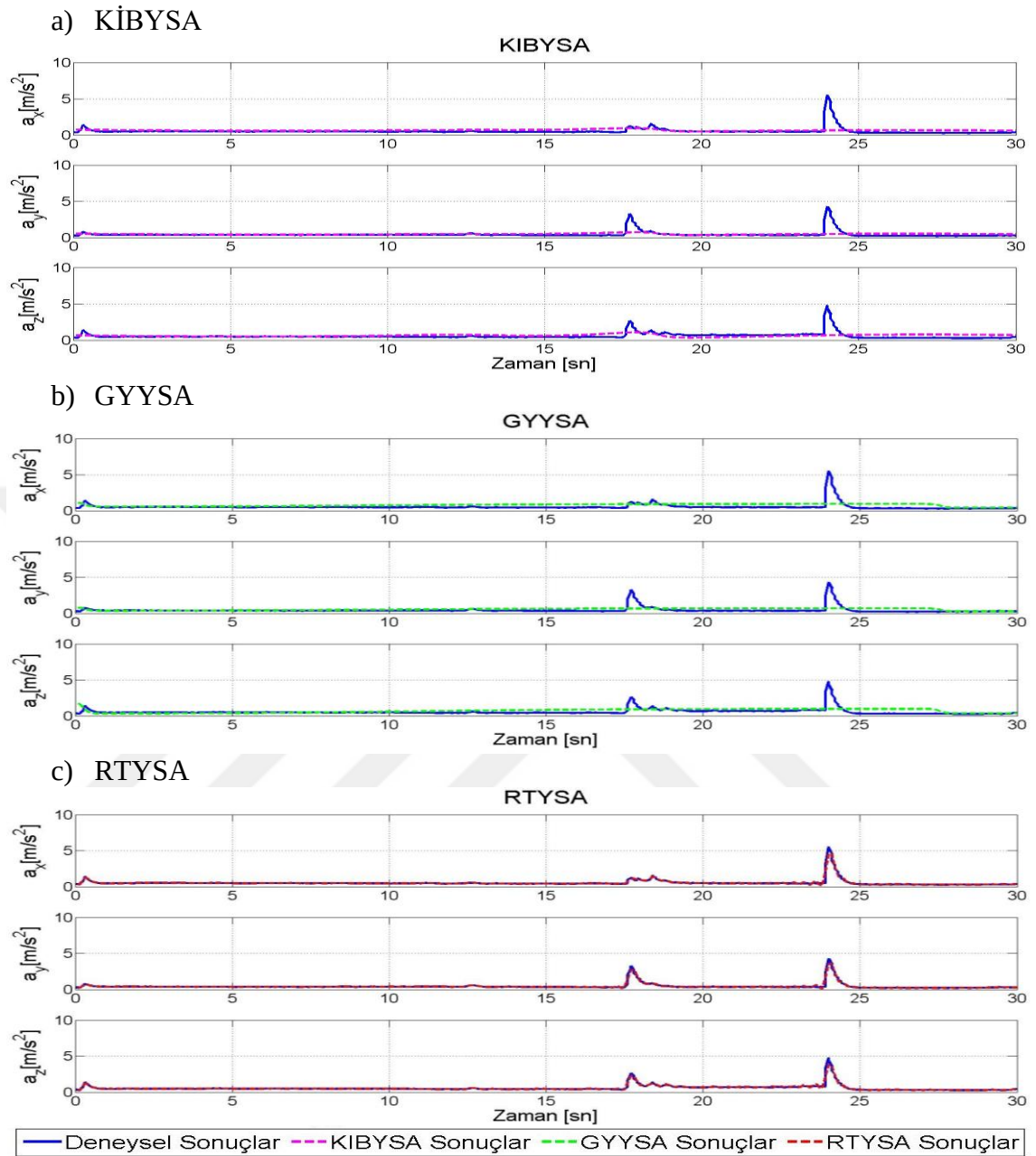
Şekil 61. Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 61'de Pirinç malzeme, helisel kılavuz ile 200dv/dk iş mili hızı ve 1,6 mm/dk ilerleme hızı için M10 dış açma sonuçları alınmıştır. İlerleme hızı 1,6mm/dk'ya çıkarıldığı taktirde önceki şekillerde de görüldüğü gibi bu şekilde de genliklerin biraz arttığı görülmektedir. En iyi sonucu, RTYSA yapay sinir ağı algoritması ve Şekil 61 (b)'da da görülmekte olan algoritma vermektedir. Şekil 61 (a) ve (c)'de gösterildiği gibi GYYSA ve KİBYSA algoritmaları deneysel sonuçlarını yakalayamamıştır.



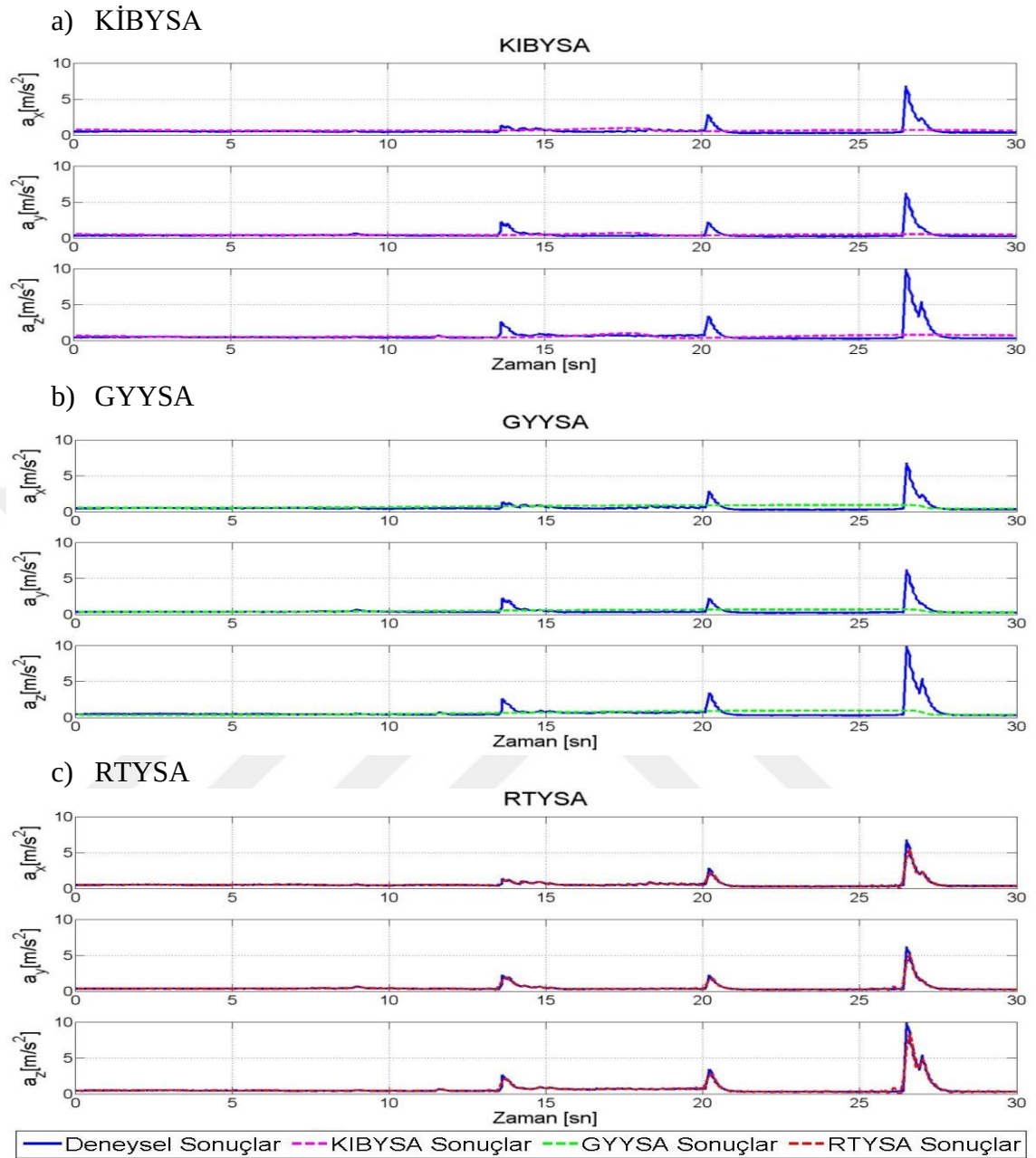
Şekil 62. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Pirinç malzemede helisel ile normal kılavuz arasında yapısal farklılık olsa da malzeme aynıdır, dikey matkap ile dış açmadaki titreşim etkilerini tahmin etmek amacıyla helisel ve normal kılavuz için de deneyler ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 62, normal kılavuz için 175dv/dk iş mili hızı ve 1,5mm/dk ilerleme hızında elde edilen deneysel ve YSA sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlara göre, GYYSA ve KİBYSA algoritmaları deneysel sonuçlarına yakınsamadığı fakat RTYSA yapısının yakınsadığı görülmektedir.



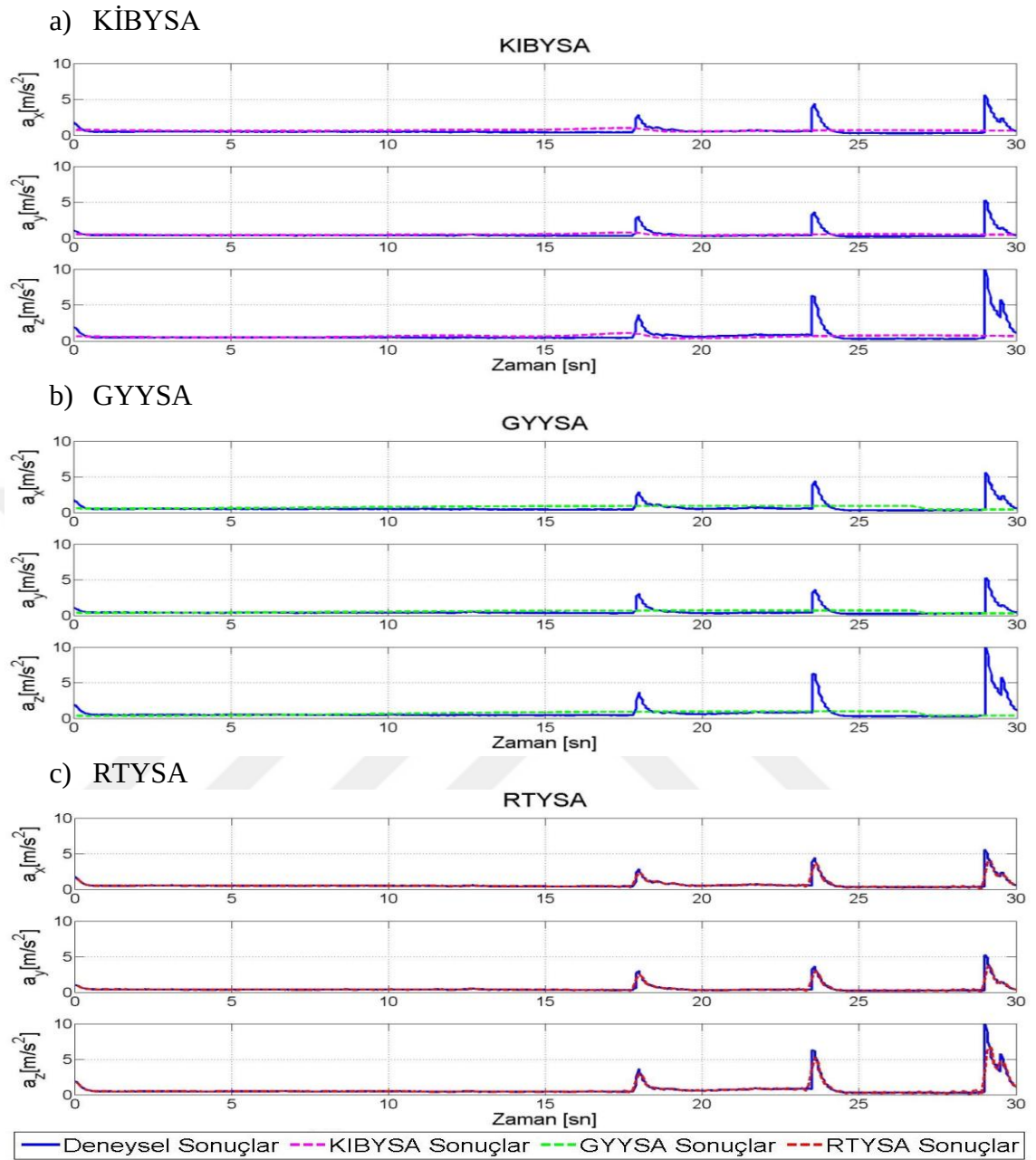
Şekil 63. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil hızı değeri 175dv/dk'da kaldığında ancak ilerleme hızı değeri 1,6mm/dk'ya çıkarıldığında elde edilen titreşim sonuçları Şekil 63'da verilmiştir. Bu durumda titreşim genliğinde neredeyse iki katı bir artış gözlenmiştir. RTYSA algoritması, öğrenme performansı açısından hem GYYSA hem KİBYSA algoritmalarına göre çok daha iyi sonuç vermektedir.



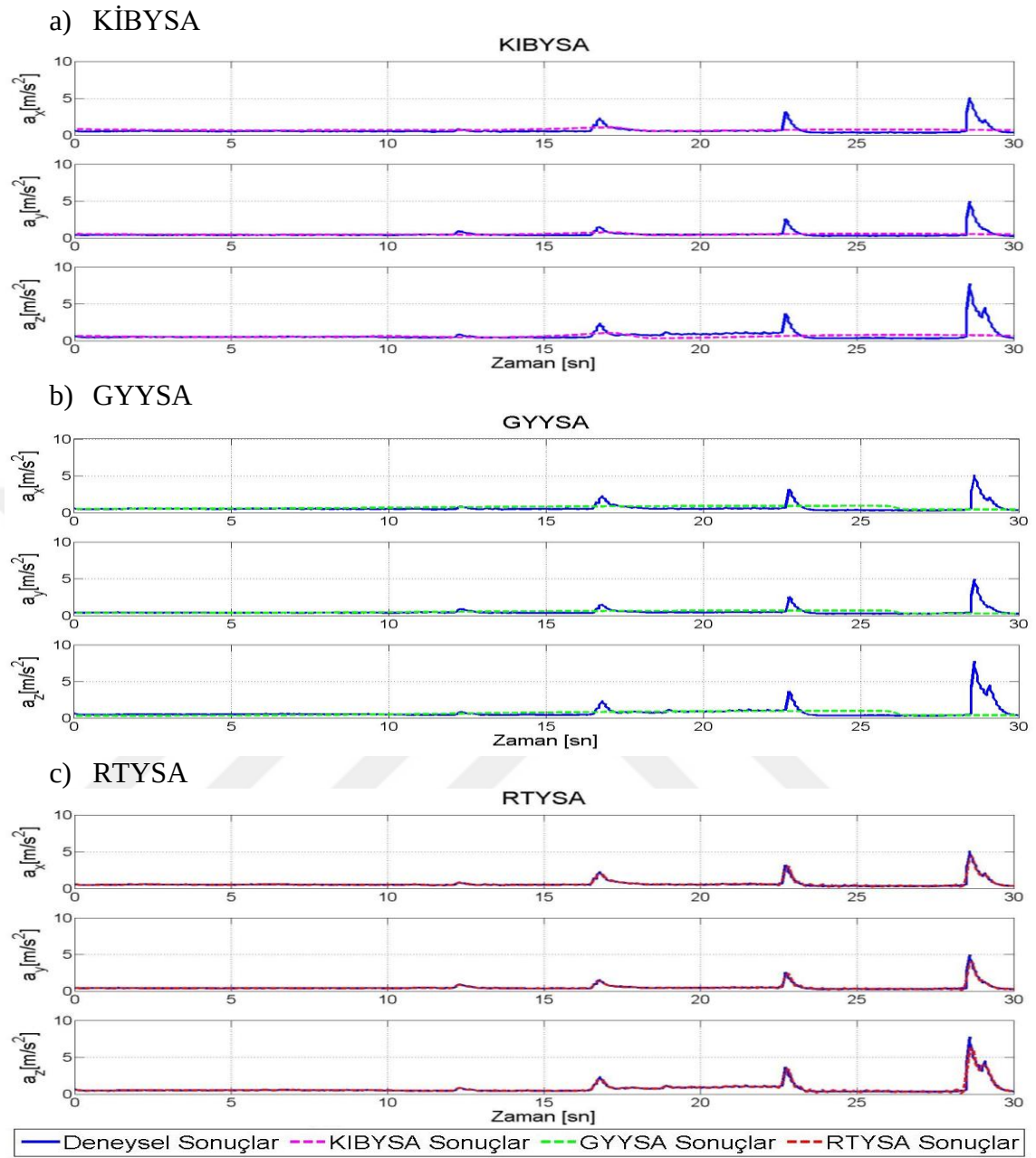
Şekil 64. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Pirinç malzeme, normal kılavuz ile iş mili hızı 185dv/dk ve ilerleme hızı 1,5mm/dk parametre değerleri için dikey matkap ile dış açma titreşim özellikleri ve bu parametre değerlerine göre YSA sonuçları Şekil 64'de verilmiştir. Şekil 62 ile karşılaştırıldığında, iş mili hız değeri 175dv/dk dan 185dv/dk'ya arttığında işleme süresi değişmemiş ancak genlik değerleri arttığı gözlemlenmiştir. Bir önceki sonuçlarda da olduğu gibi bu parametrelerde en iyi sonucu veren RTYSA algoritmasıdır.



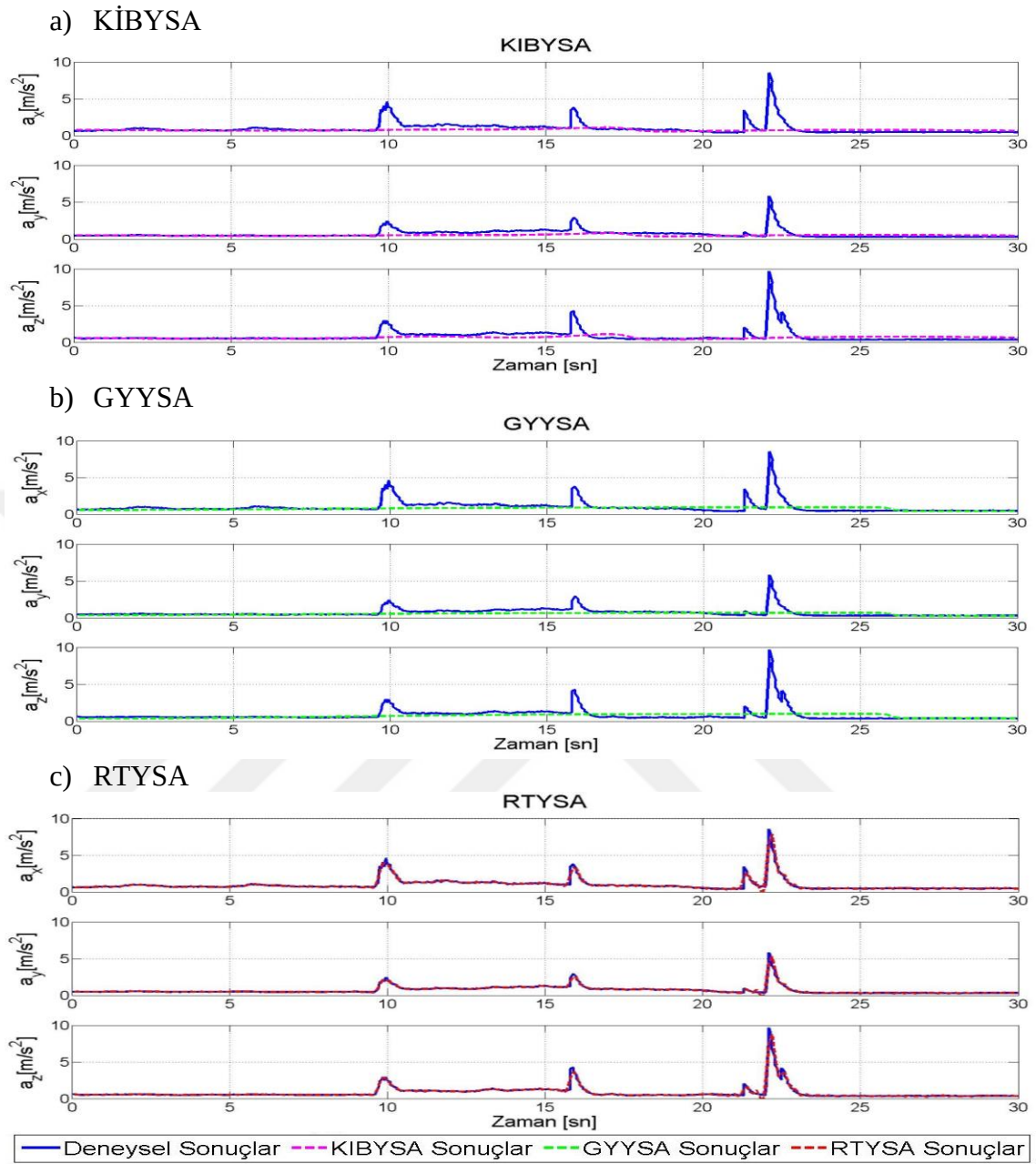
Şekil 65. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 65, Pirinç malzeme, normal kılavuz ile iş mili hız değerinin 185dv/dk'da kaldığı ve ilerleme hızı değerinin 1,6mm/dk'ya çıkarıldığı durum için sonuçları göstermektedir. Bu değerler dikkate alındığında Şekil 64'den farklı olarak artan ilerleme hızının genliğe etkisi olduğu görülmüştür. Şekilden görüldüğü gibi, GYYSA algoritması biraz öğrenmeye çalışmış ama yeterli olmamıştır. KİBYSA algoritmasında deneysel değerlerden çok uzak kalmıştır. RTYSA algoritması ise bu çalışma koşulları için iyi performanslar göstermiştir.



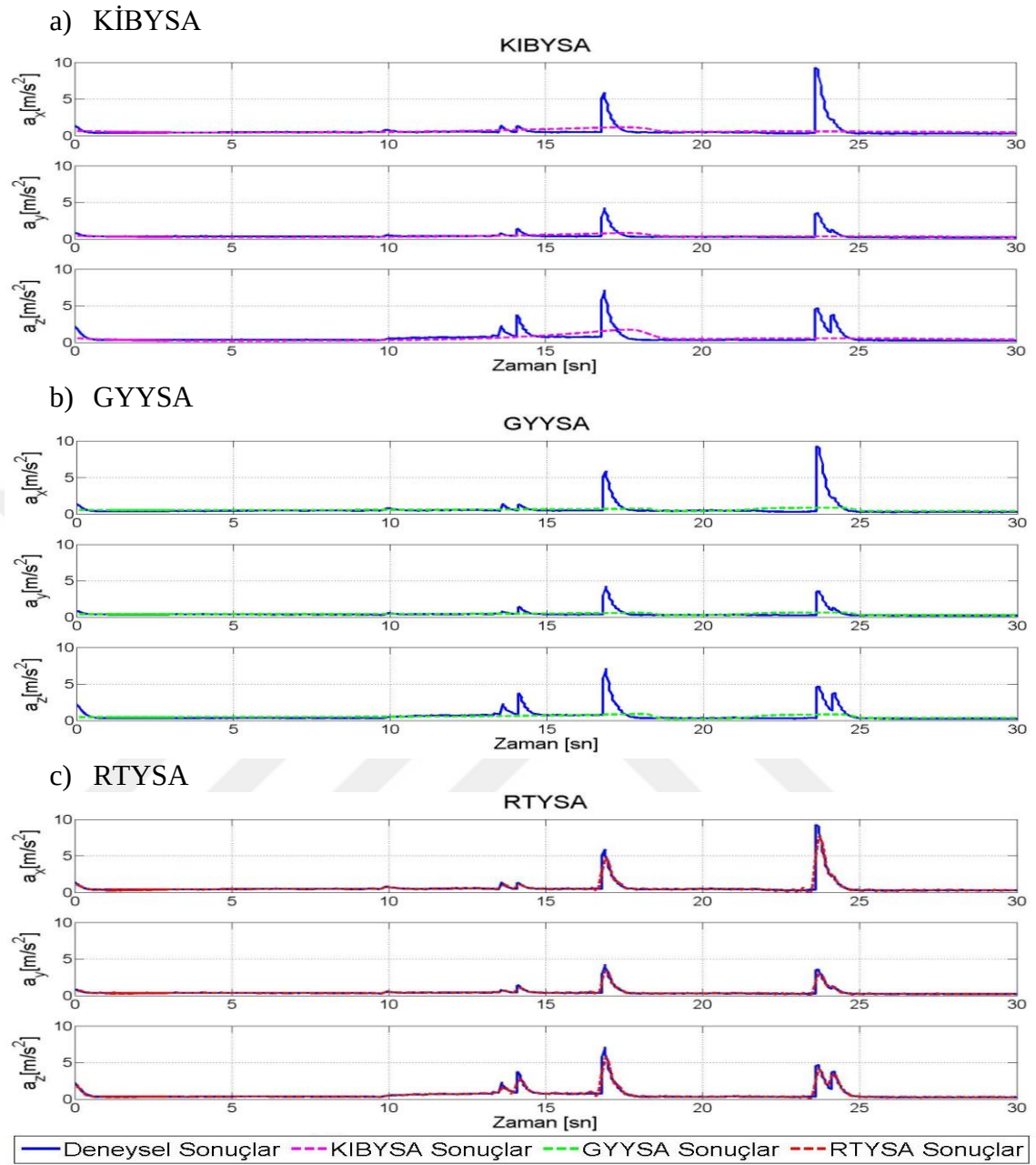
Şekil 66. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 66’de Pirinç malzeme, normal kılavuz ile iş mili devir değeri biraz daha artırılarak 200dv/dk olarak alındığında ve ilerleme hızı 1,5mm/dk şartları altında deneysel ve yapay sinir ağı grafikleri gösterilmektedir. Karşılaştırıldığında, artan iş mili devir değerinin dış açma işlemin başında genliğin azaldığı fakat dış açma işlemin bitişinde ise tam tersi genliğin arttığı görülmektedir. GYYSA ve KİBYSA deneysel eğriden çok uzak kalmış ve yine RTYSA algoritmasının deneysel sonuca daha fazla yakınsadığı görülmektedir.



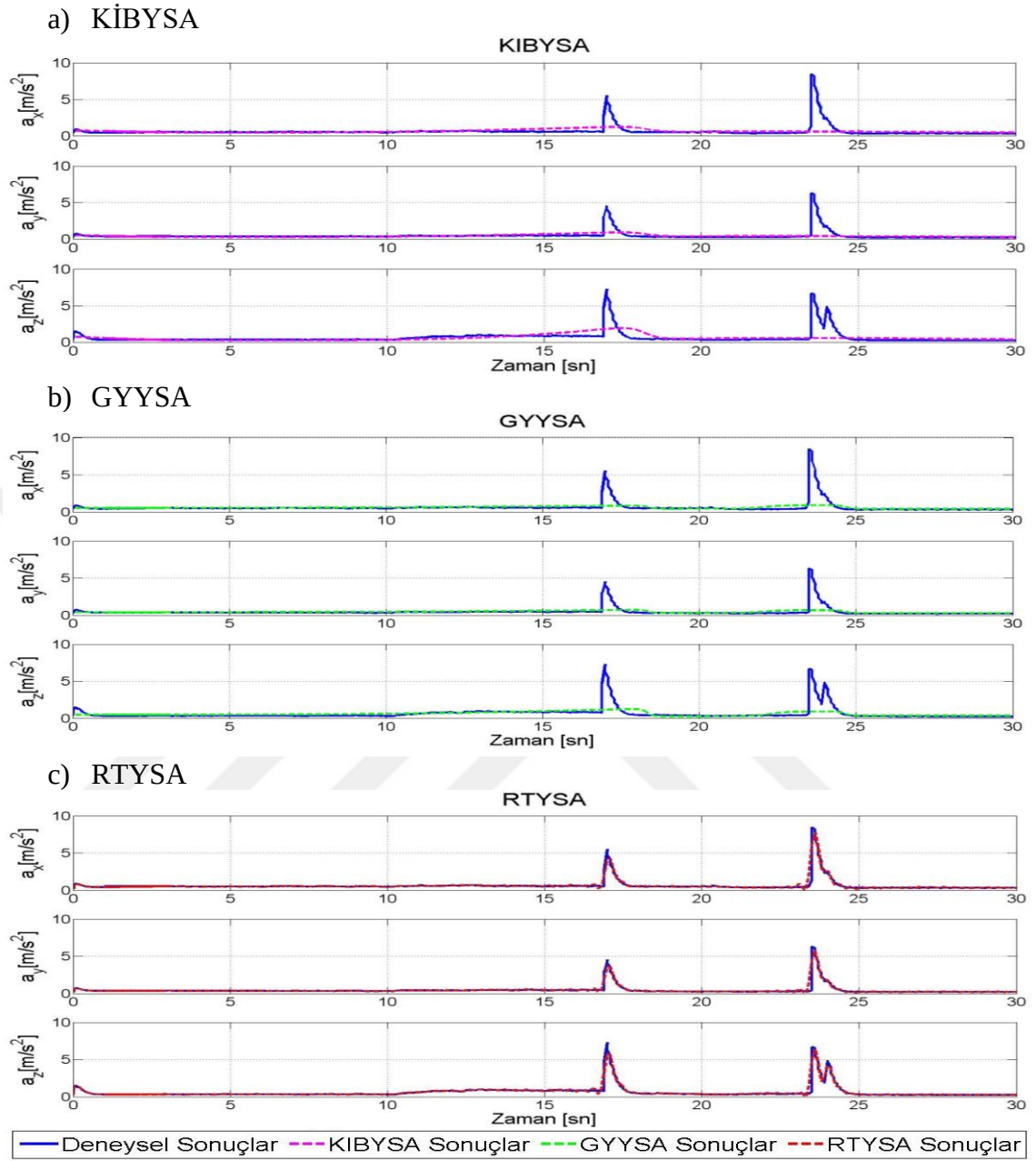
Şekil 67. Pirinç malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, diş açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 67'de Pirinç malzeme, normal kılavuz ile 200dv/dk iş mili hızı ve 1,6 mm/dk ilerleme hızı için M10 diş açma sonuçları alınmıştır. İlerleme hızı 1,6mm/dk'ya çıkarıldığı taktirde önceki şekillerde de görüldüğü gibi bu şekilde de genliklerin biraz arttığı görülmektedir. En iyi sonucu, RTYSA yapay sinir ağları algoritması ve Şekil 67 (c)'de de görülmekte olan algoritma vermektedir. Şekil 67 (a) ve (b)'de gösterildiği gibi KİBYSA ve GYYSA algoritmaları deneysel sonuçlarını yakalayamamıştır.



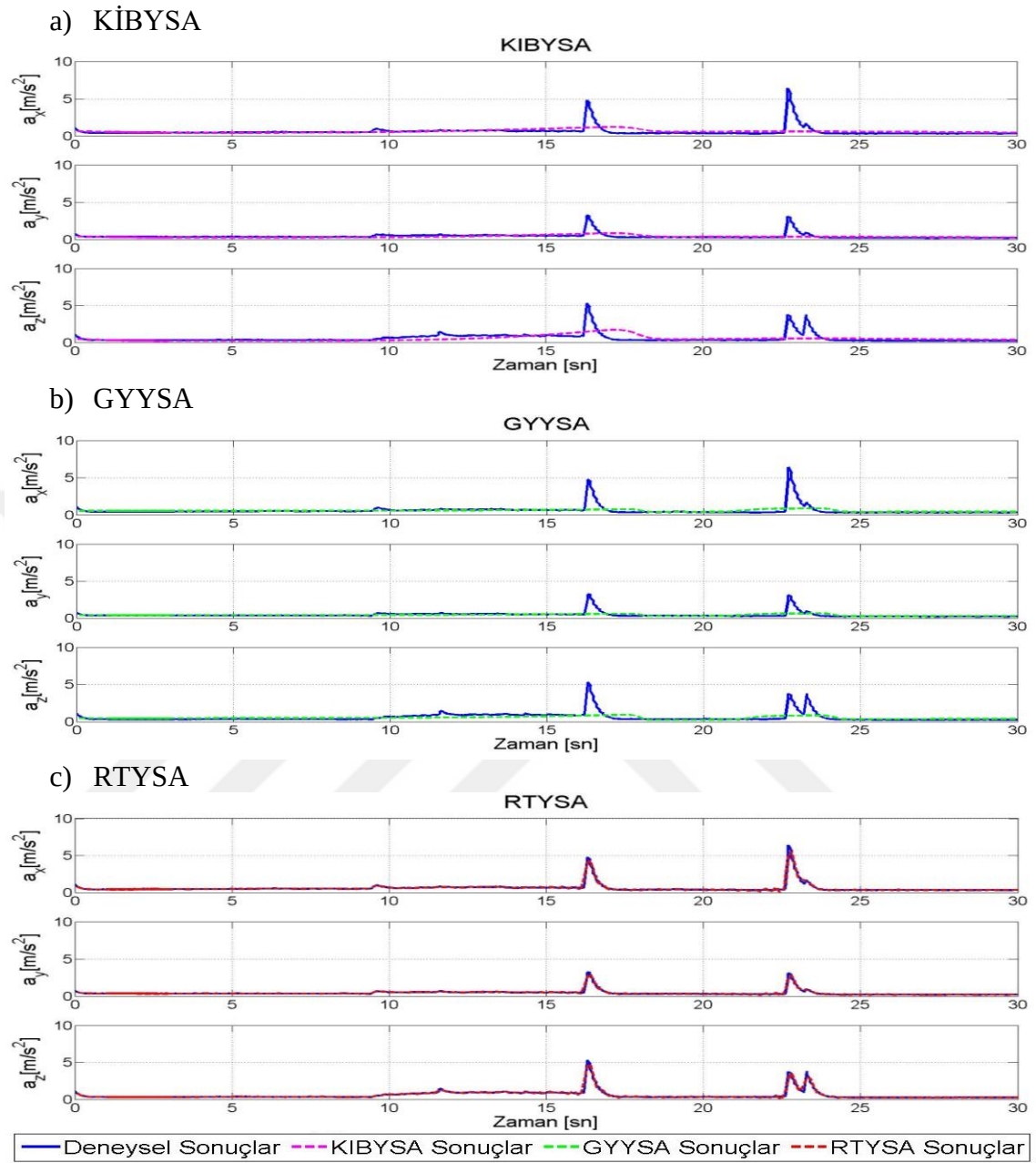
Şekil 68. Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Çeliğe göre hem pirinç hem alüminyum daha yumuşak ve hafif bir malzeme olduğundan, daha sert malzemelerde dış açmadaki titreşim etkilerini tahmin etmek amacıyla çelik malzeme için de deneyler ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 68, pirinç malzeme için 175dv/dk iş mili hızı ve 1,5mm/dk ilerleme hızında elde edilen deneysel ve YSA sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlara göre, GYYSA ve KİBYSA algoritmaları deneysel sonuçlarına yakınsamadığı fakat RTYSA algoritması yakınsadığı görülmektedir.



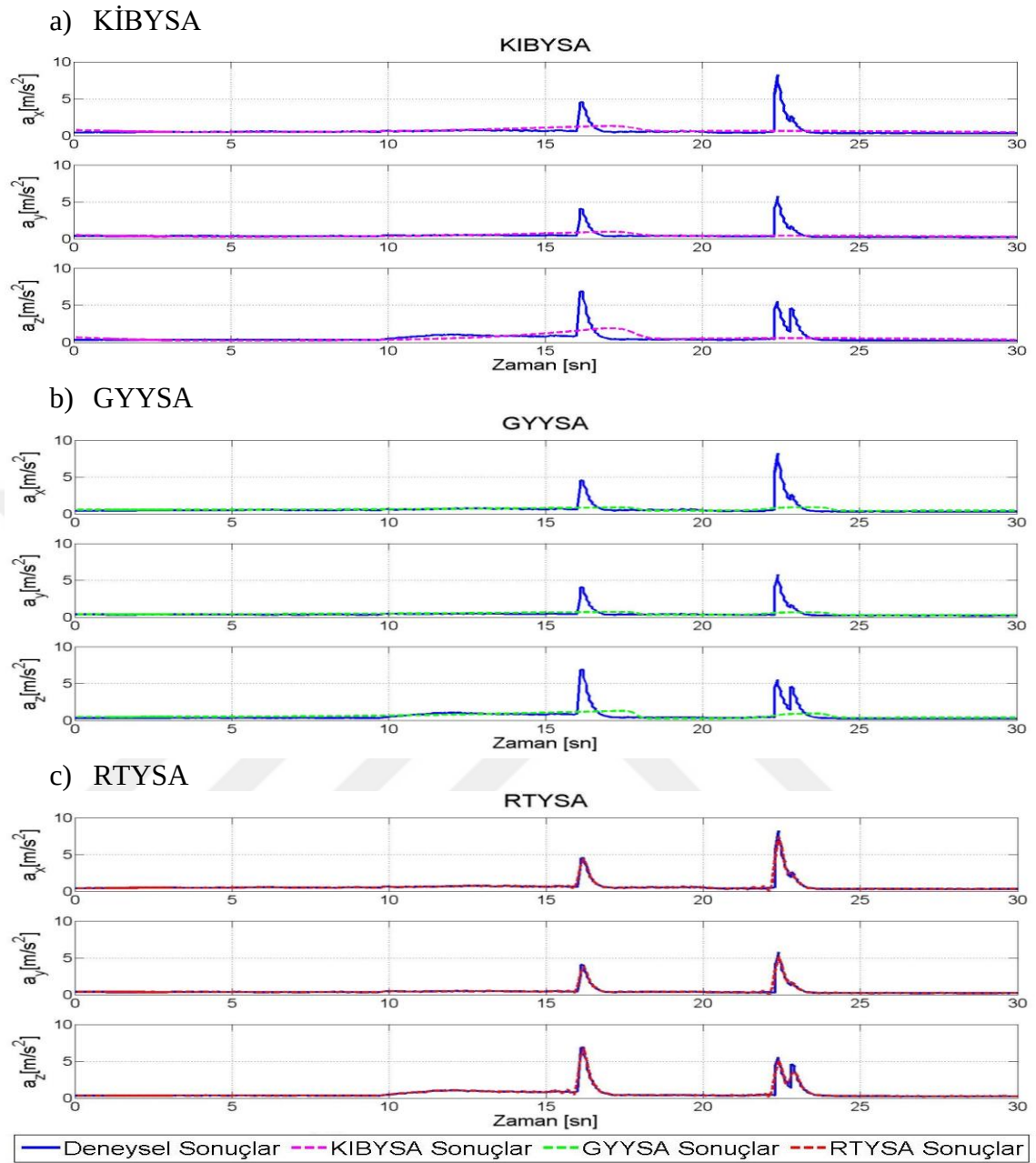
Şekil 69. Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 69'de Çelik malzeme, helisel kılavuz ile 175dv/dk iş mili hızı ve 1,6 mm/dk ilerleme hızı için dış açma değerleri için sonuçlar elde edilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ilerleme değeri biraz artınca titreşim genlikleri biraz artmaktadır. Yapay sinir ağı algoritmalarından biri olan RTYSA algoritması, Şekil 69 (a), (b) ve (c)'de gösterildiği gibi GYYSA ve KİBYSA algoritmalarına göre daha iyi öğrenme performansı göstermektedir.



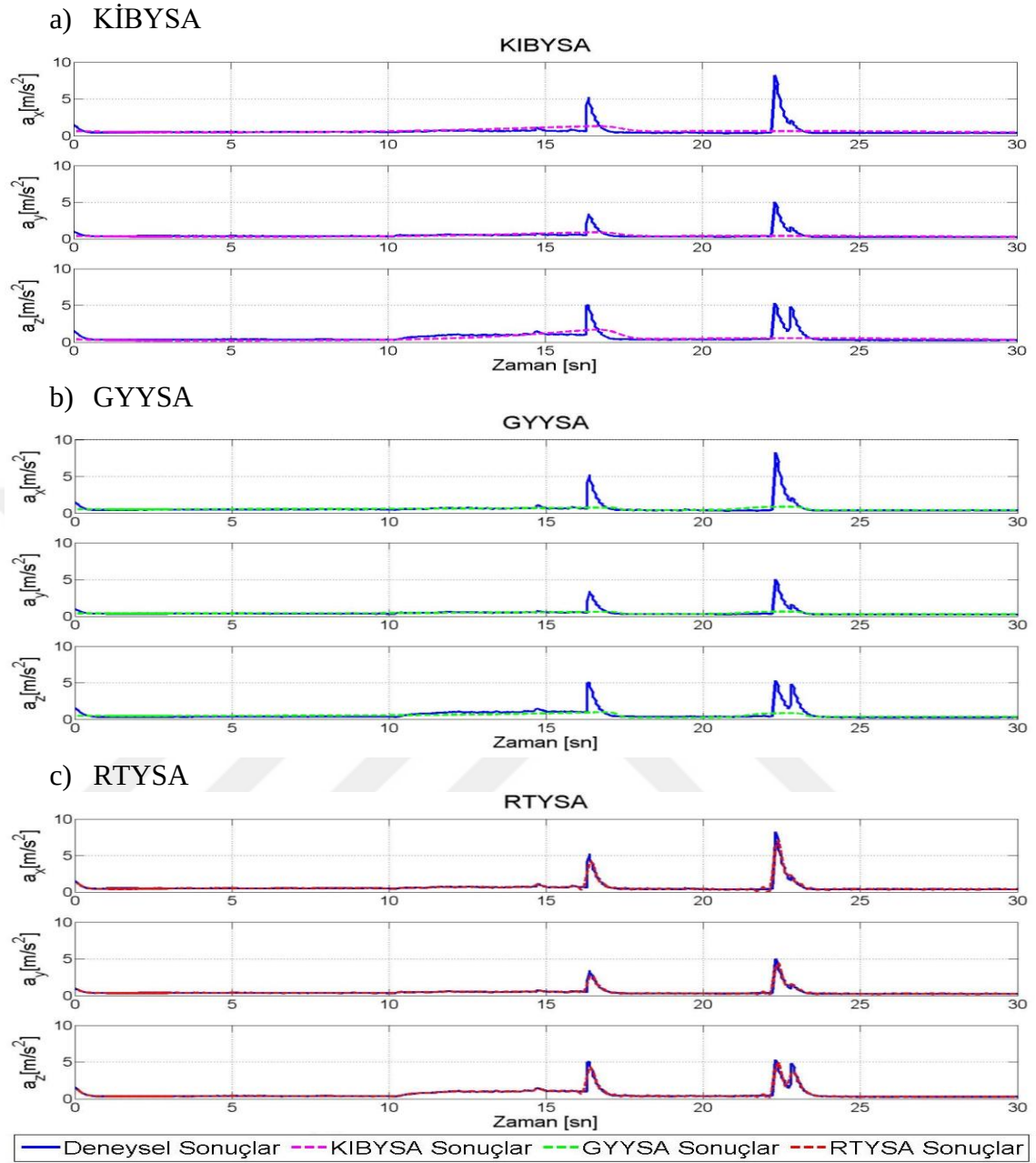
Şekil 70. Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, diş açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 70’de Çelik malzeme, helisel kılavuz ile iş mili devir değeri artırılıp 185dv/dk olarak alındığında ve 175dv/dk ile karşılaştırıldığında, artan iş mili devir değerinin genliği arttırdığı ve titreşim süresini uzadığı gözlemlenmiştir. GYYSA biraz da olsa deneysel eğriyi yakalamaya yaklaşmış olsa da yine RTYSA algoritmasının deneysel sonuca hem GYYSA ve KİBYSA algoritmasından daha fazla yakınsadığı görülmektedir.



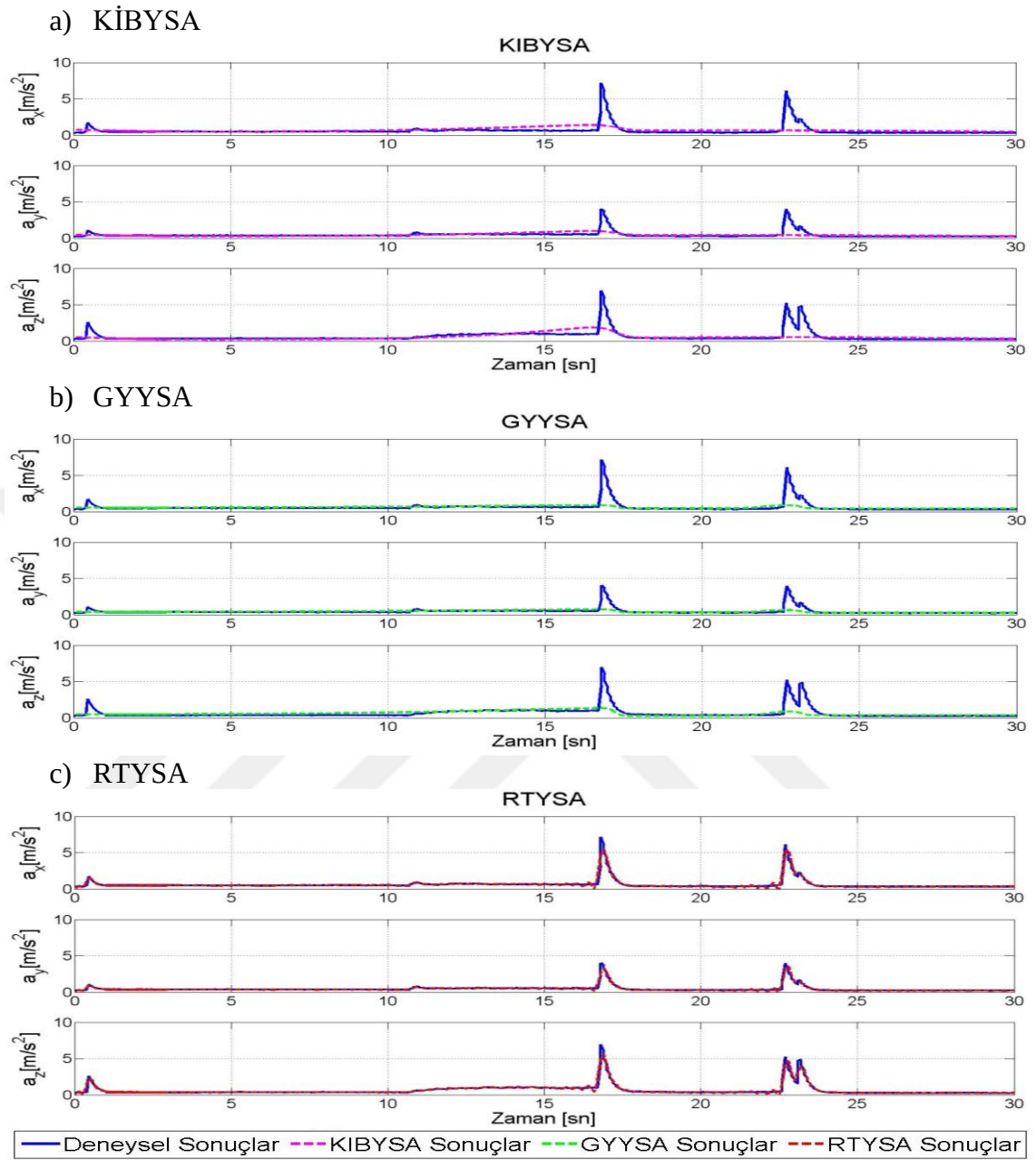
Şekil 71. Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 71, Çelik malzeme, helisel kılavuz ile 185dv/dk iş mili hızı ve 1,6mm/dk ilerleme hızı koşulları altında elde edilen deneysel ve yapay sinir ağları sonuçlarını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ilerleme hızındaki artış titreşim genliğinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca titreşim değerlerinin tahmininde RTYSA algoritmasının birbirine yakın olan GYYSA ve KİBYSA algoritmalarına göre daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.



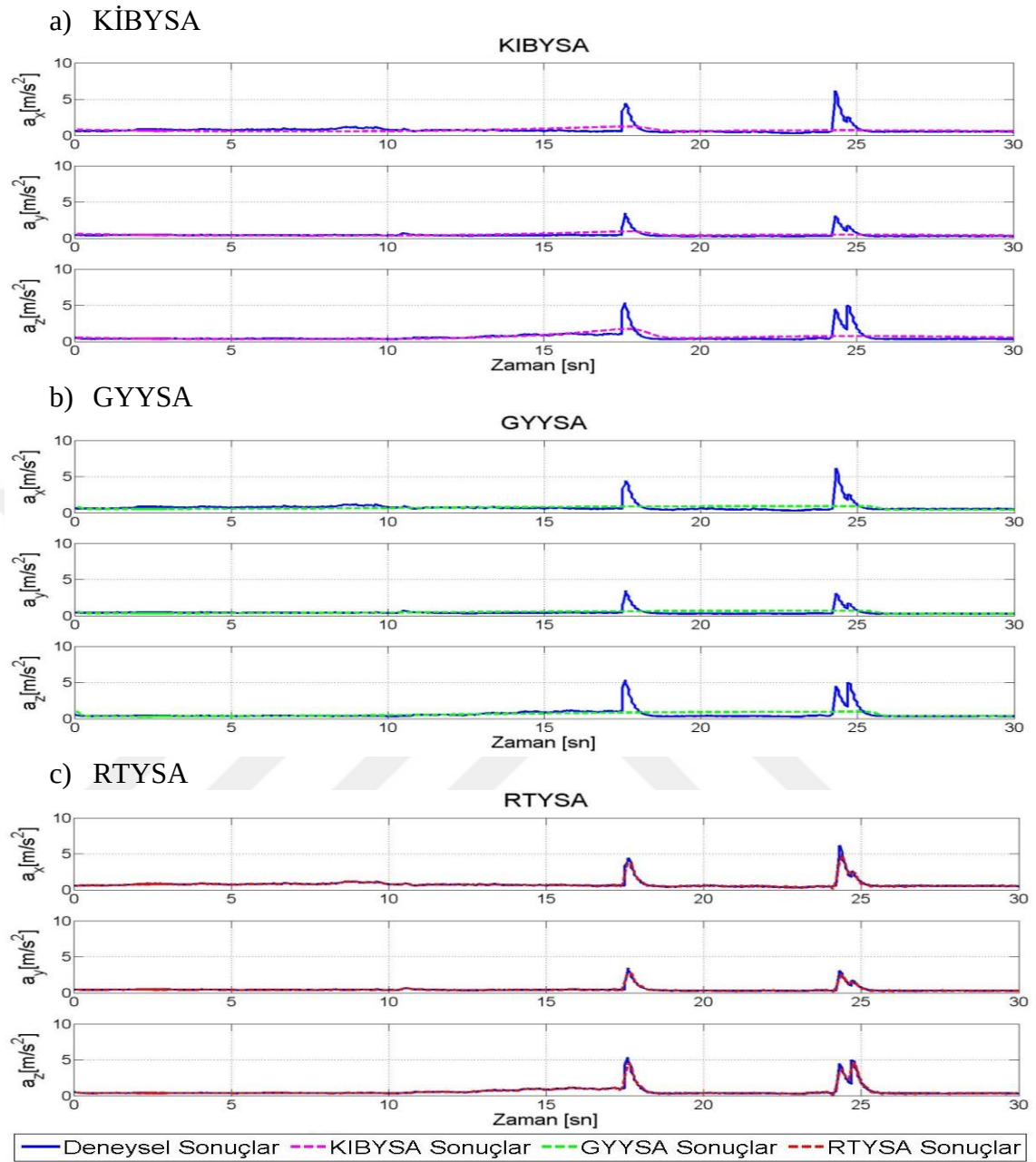
Şekil 72. Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Çelik malzeme, helisel kılavuz ile iş mili devir değeri biraz daha artırılarak 200dv/dk olarak alındığında ve ilerleme hızı 1,5mm/dk şartları altında deneysel ve yapay sinir ağı grafikleri Şekil 72’da görülmektedir. Karşılaştırıldığında, artan iş mili devir değerinin genliği düşürdüğü ve titreşim süresini biraz da olsa kısalttığı gözlemlenmiştir. GYYSA ve KİBYSA deneysel eğriyi yakalayamamış ve yine RTYSA algoritmasının deneysel sonuca GYYSA ve KİBYSA algoritmasından daha fazla yakınsadığı görülmektedir.



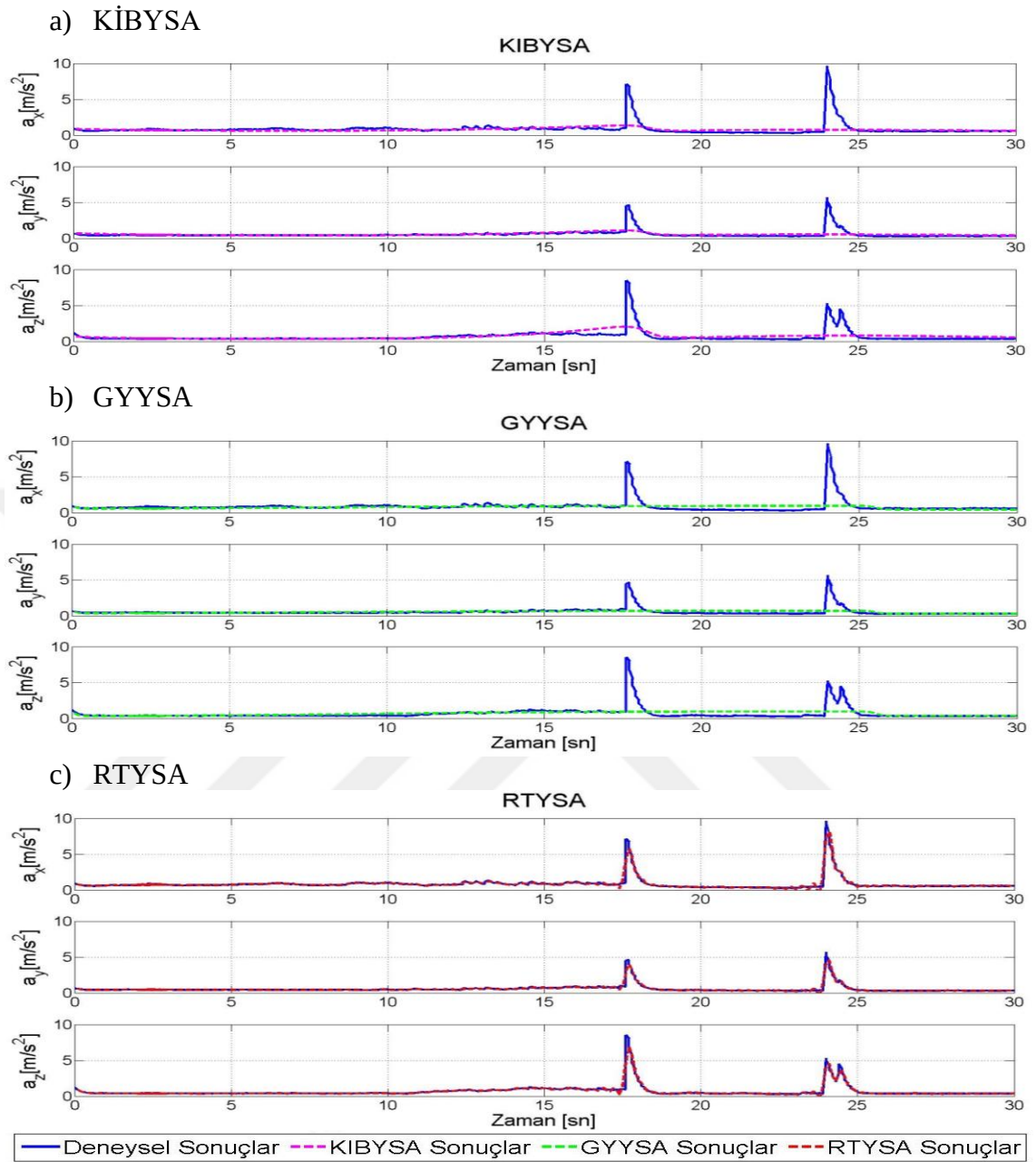
Şekil 73. Çelik malzeme, helisel kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, diş açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 73'de Çelik malzeme, helisel kılavuz ile 200dv/dk iş mili hızı ve 1,6 mm/dk ilerleme hızı için M10 diş açma sonuçları alınmıştır. İlerleme hızı 1,5mm/dk'dan 1,6mm/dk'ya çıkarıldığı taktirde önceki şekillerde de görüldüğü gibi bu şekilde de genliklerin biraz arttığı görülmektedir. En iyi sonucu, RTYSA yapay sinir ağı algoritması ve Şekil 73 (b)'de de görülmekte olan algoritma vermektedir. Şekil 73 (a) ve (c)'de gösterildiği gibi GYYSA ve KİBYSA algoritmaları deneysel sonuçlarını yakalayamamıştır.



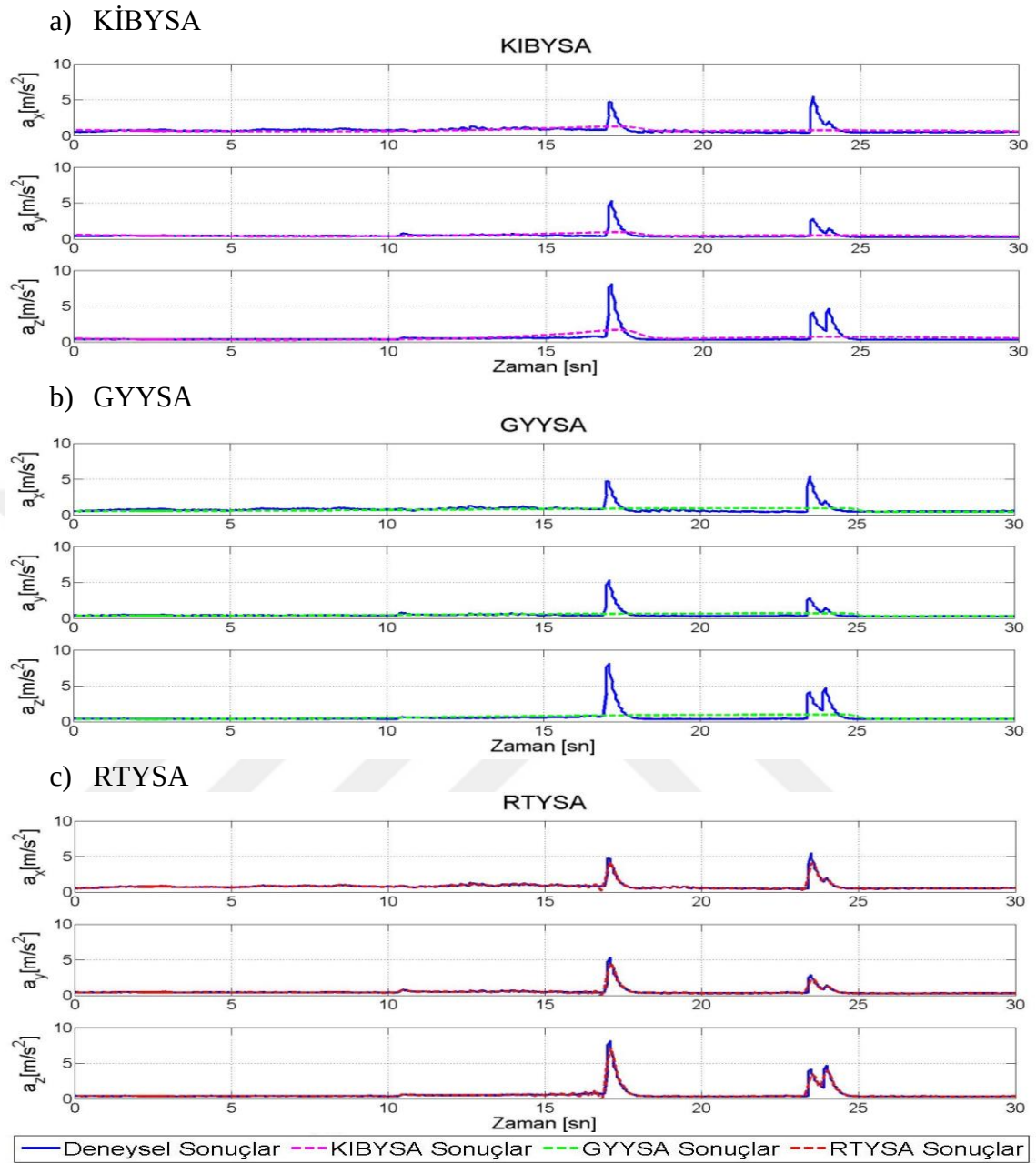
Şekil 74. Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Çelik malzemede helisel ile normal kılavuz arasında yapısal farklılık olsa da malzeme aynıdır, dikey matkap ile dış açmadaki titreşim etkilerini tahmin etmek amacıyla helisel ve normal kılavuz için de deneyler ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 74, normal kılavuz için 175dv/dk iş mili hızı ve 1,5mm/dk ilerleme hızında elde edilen deneysel ve YSA sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlara göre, GYYSA ve KİBYSA algoritmaları deneysel sonuçlarına yakınsamadığı fakat RTYSA yapısının yakınsadığı görülmektedir.



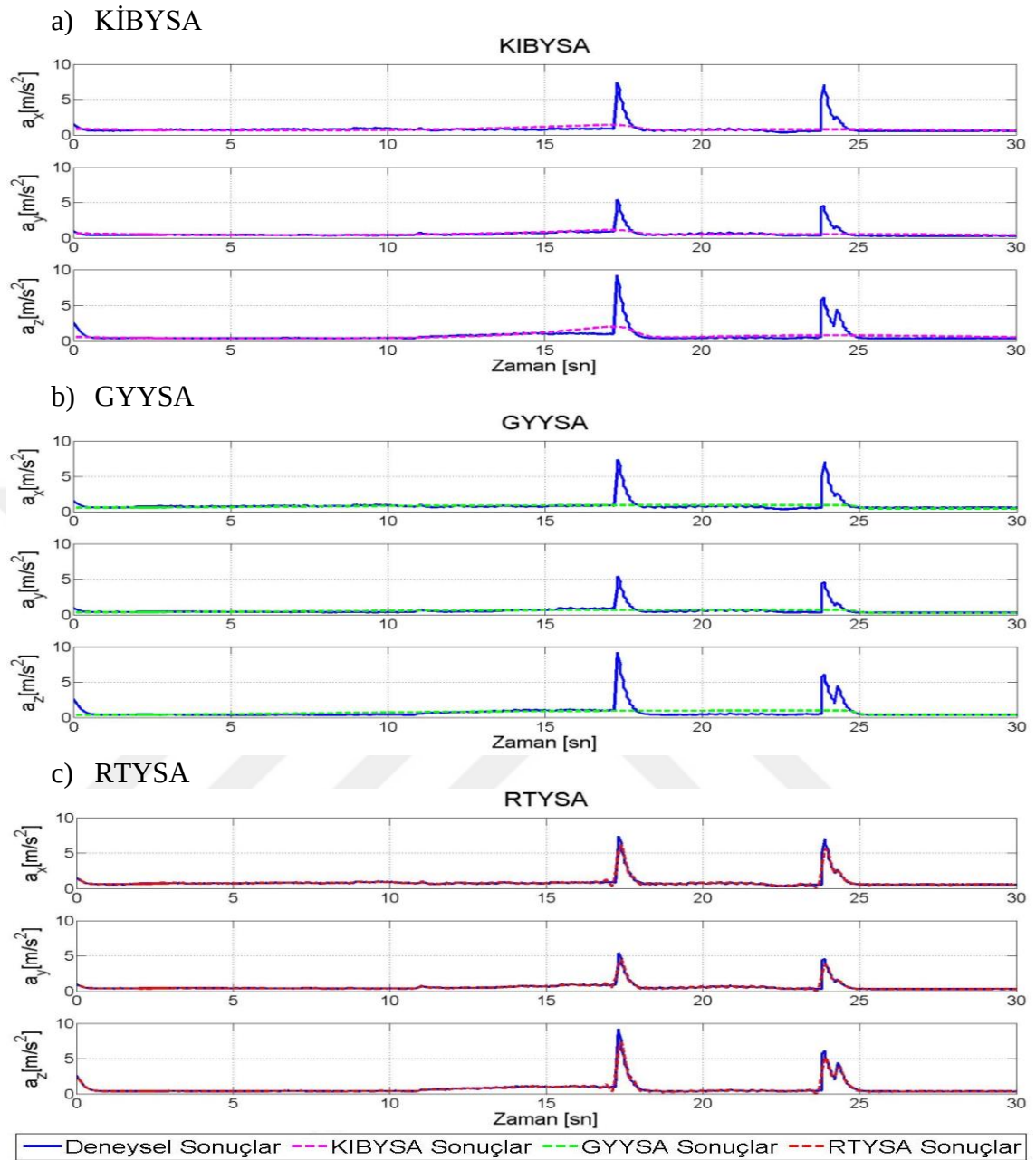
Şekil 75. Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 175dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil hızı değeri 175dv/dk'da kaldığında ancak ilerleme hızı değeri 1,6mm/dk'ya çıkarıldığında elde edilen titreşim sonuçları Şekil 75'de verilmiştir. Bu durumda titreşim genliğinde neredeyse iki katı bir artış gözlenmiştir. RTYSA algoritması, öğrenme performansı açısından hem GYYSA hem KİBYSA algoritmalarına göre çok daha iyi sonuç vermektedir.



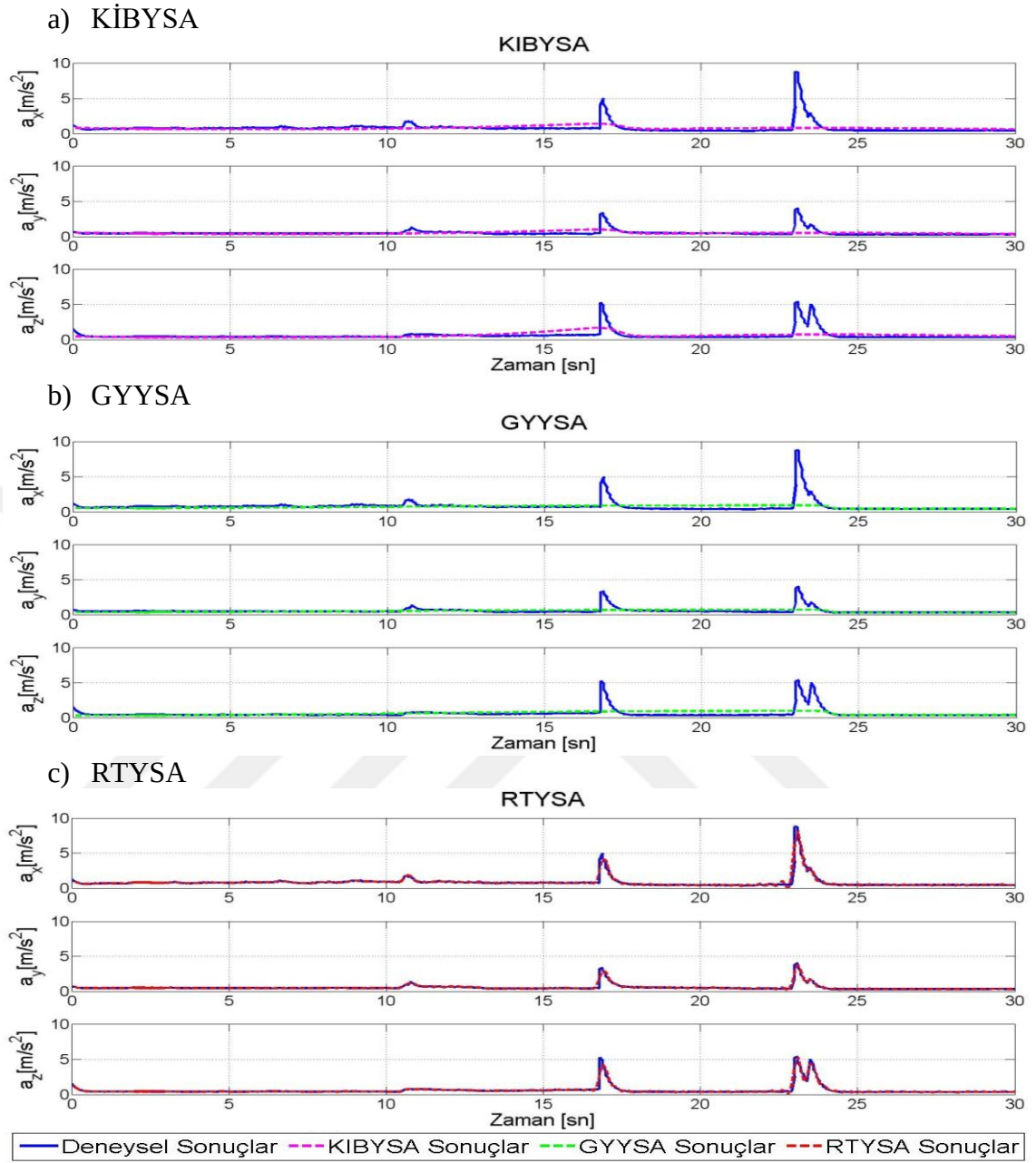
Şekil 76. Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Çelik malzeme, normal kılavuz ile iş mili hızı 185dv/dk ve ilerleme hızı 1,5mm/dk parametre değerleri için dikey matkap ile dış açma titreşim özellikleri ve bu parametre değerlerine göre YSA sonuçları Şekil 76'de verilmiştir. Şekil 74 ile karşılaştırıldığında, iş mili hız değeri 175dv/dk dan 185dv/dk'ya arttığında işleme süresi değişmemiş ancak genlik değerleri arttığı gözlemlenmiştir. Bir önceki sonuçlarda da olduğu gibi bu parametrelerde en iyi sonucu veren RTYSA algoritmasıdır.



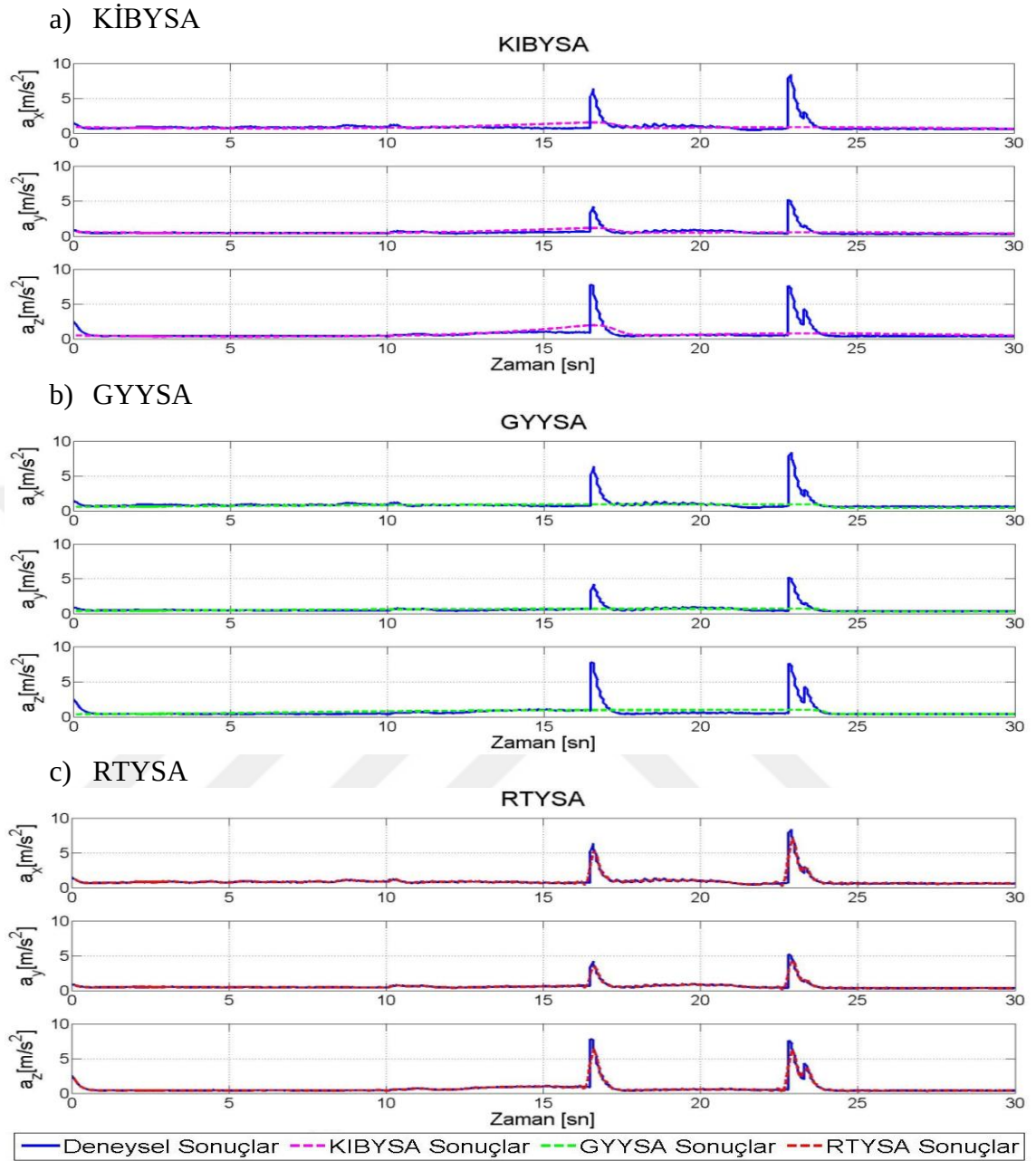
Şekil 77. Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 185dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 77, Çelik malzeme, normal kılavuz ile iş mili hız değerinin 185dv/dk'da kaldığı ve ilerleme hızı değerinin 1,6mm/dk'ya çıkarıldığı durum için sonuçları göstermektedir. Bu değerler dikkate alındığında Şekil 76'den farklı olarak artan ilerleme hızının genliğe etkisi olduğu görülmüştür. Şekilde görüldüğü gibi, GYYSA algoritması biraz öğrenmeye çalışmış ama yeterli olmamış. KİBYSA algoritması ise deneysel değerlerden çok uzak kalmış. Ve RTYSA algoritması bu çalışma koşulları için iyi performans göstermiştir.



Şekil 78. Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,5mm/dk, delik çapı 8,5mm, dış açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 78’de Çelik malzeme, normal kılavuz ile iş mili devir değeri biraz daha artırılarak 200dv/dk olarak alındığında ve ilerleme hızı 1,5mm/dk şartları altında deneysel ve yapay sinir ağı grafikleri gösterilmektedir. Karşılaştırıldığında, artan iş mili devir değerinin dış açma işlemin başında genliğin azaldığı fakat dış açma işlemin bitişinde ise tam tersi genliğin arttığı görülmektedir. GYYSA ve KİBYSA deneysel eğriden çok uzak kalmış ve yine RTYSA algoritmasının deneysel sonuca daha fazla yakınsadığı görülmektedir.



Şekil 79. Çelik malzeme, normal kılavuz ile mil dönme hızı 200dv/dk, ilerleme hızı 1,6mm/dk, delik çapı 8,5mm, diş açma M10 için deneysel ve yapay sinir ağları sonuçları, a) KİBYSA, b) GYYSA, c) RTYSA

Şekil 79'de Çelik malzeme, normal kılavuz ile 200dv/dk iş mili hızı ve 1,6 mm/dk ilerleme hızı için M10 diş açma sonuçları alınmıştır. İlerleme hızı 1,6mm/dk'ya çıkarıldığı taktirde önceki şekillerde de görüldüğü gibi bu şekilde de genliklerin biraz arttığı görülmektedir. En iyi sonucu, RTYSA yapay sinir ağları algoritması ve Şekil 79 (c)'de de görülmekte olan algoritma vermektedir. Şekil 79 (a) ve (b)'de gösterildiği gibi KİBYSA ve GYYSA algoritmaları deneysel sonuçları yakalayamamıştır.

5. BÖLÜM

SONUÇLAR

5.1. Tartışmalar

Titreşimler nedeniyle mekanik sistemlerde oluşan gerilme, sapma ve yer değiştirme gibi bozucu faktörlerin bilgisayar destekli tespiti ve modellenmesi son yıllarda aktif bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu dış etkilerin yüksek doğrulukla tespiti ve modellenmesi sağlam sistemlerin tasarımı için çok önemlidir. Doğru tasarım ve malzeme seçimi için kullanılan sonlu elemanlar metodu ile hem statik hem dinamik analizleri gerçekleştirerek mekanik yapının analiz sonuçlarını elde etmek mümkündür.

Titreşim verileri ile bilgisayar destekli yaklaşımlardan biri olan YSA, gerçek zamanlı analizde bozucu faktörlerin doğru tahmini açısından yüksek performans göstermektedir. Bu çalışmada, simülasyonlar KİBYSA (Kademeli İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı), GYYSA (Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı) ve RTYSA (Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı) tabanlı YSA yapıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm çalışma koşulları için elde edilen sonuçlardan, önerilen RTYSA yapısının dış açma aşamasında dikey matkap mili sisteminin titreşim karakteristik yapılarını analiz etmede etkili bir performansa sahip olduğu görülmüştür. Öte yandan, KİBYSA ve GYYSA yapılarının birbirine benzer ancak kötü sonuçlar ürettiği ve özellikle anlık titreşimleri temsil eden yüksek genlikli tepe değerlerinin tahmininde yetersiz bir performans gösterdiği de görülmüştür. Deneysel sonuçların YSA tabanlı tahmini için elde edilen simülasyon sonuçlarından, RTYSA'nın tüm çalışma koşulları altında KİBYSA ve GYYSA'den daha etkili sonuçlar ürettiği görülmektedir.

5.2. Sonuçlar

Başlangıçta çeşitli mil uzunlukları, farklı malzemeler ve iki çeşit M10 kılavuz ile teknik verileri toplandı. Diş açma esnasında M10 kılavuz ile dikey matkap milin simölasyon modeli geliştirildi. Takım tezgahının tepkisini değerlendirmek için Sonlu Elemanlar Metodu ile Statik, Modal, Geçici Rejim ve Harmonik Analiz gerçekleştirildi. Statik analizi ile toplam yer değiştirme ve güvenlik katsayısı belirlendi. Modal analiz sonucunda, matkap milinin farklı malzeme ve shaft pozisyonu için 6 Mod için doğal frekansları belirlendi. Frekanslar 0 Hz ile 1200 Hz arasında değişıyordu. Bileşen 480 Hz ve 950 Hz frekansında titreştiğinde sistemin doğal frekans değerine geldiği görüldü. Harmonik analizden, 480 Hz frekansı için 10^3 mm/s^2 ve 950 Hz frekansı için 10^{-1} mm/s^2 tepe genliği elde edildi. Analizden elde edilen değerler için milin çalışma koşulları, doğal frekanstan uzaklaştırmak için değiştirildi ve Harmonik analiz, etki eden kuvvetlerin makine takımı milini nasıl etkileyebileceği konusunda net bir fikir elde edildi.

Devamında, literatürdeki en etkili YSA yapıları arasında yer alan KİBYSA, GYYSA ve RTYSA algoritmaları, talaşlı imalat yöntemlerinden biri olan diş açma işlemi sırasında bir dikey matkap mili sisteminde deneysel olarak elde edilen gerçek zamanlı 3 eksenli titreşim verilerinin tahmini için kullanıldı. Simölasyon sonuçlarından, algoritmaların tahmin ve RMS hata değeri açısından KİBYSA ve GYYSA performanslarının birbirine yakın olduğu görüldü, ancak RTYSA'nın tüm çalışma koşulları altında, özellikle her biri anlık bir titreşim değerini temsil eden tepe değerleri için çok daha sağlam bir davranış ürettiği de görüldü. Sonuç olarak, elde edilen sonuçlardan, KİBYSA ve GYYSA algoritmalarının tahmin açısından performanslarının çok benzer olduğu ve RTYSA algoritmasının performansı gerçek zamanlı tepkilerin tahmininde verimli bir şekilde kullanılabileceği açıkça görüldü.

Ayrıca, ulaşılan RMS hata değerleri, RTYSA tabanlı YSA yapılarının gerçek zamanlı sistem tepkilerini tahmin etmede daha etkili ve kararlı çözümler sağladığı kanıtlandı.

5.3. neriler

Gelecekteki araştırmalarda, ilk olarak, deneysel çalışmalar farklı kılavuz boyutları ile sisteminin farklı titreşim verileri ve kuvvetleri ölçümüne odaklanacaktır. Ayrıca çeşitli kılavuzlarlar dikey matkap mili sisteminin maruz kaldığı kuvvetler nedeniyle oluşan

gerilme, gerilim, sapma ve yer değiştirme gibi bozucu faktörler de ayrıntılı olarak analiz edilecektir. Deneysel çalışmalar 3 eksenli titreşim sensörü kullanılarak gerçekleştirilecek ve titreşim sonuçlarının YSA tabanlı modellemesi ve derin öğrenme yöntemleri ile gerçekleştirilecektir.



KAYNAKÇA

1. Kilundu, B., Dehombreux, P., 2007. Analyse spectrale singuliere des signaux vibratoires et machine learning pour la surveillance d'usure d'outils, <https://doi.org/10.1051/meca:2008001>, mayıs 2007.
2. Tolouei-Rad, M., Aamir, M., 2021. Analysis of the performance of drilling operations for improving productivity, <https://www.researchgate.net/publication/349971840>, mart 2021.
3. Aravindh, R.B.R., 2018. Analysis of vibration in rotary equipment. <https://www.researchgate.net/publication/326035188>, ağustos 2018.
4. Islam, M.M., Kim, J.M., 2018. Motor bearing fault diagnosis using deep convolutional neural networks with 2d analysis of vibration signal. **Advances in Artificial Intelligence**, 10832:144–155.
5. Wu, T.Y., Lei, K.W., 2019. Prediction of surface roughness in milling process using vibration signal analysis and artificial neural network. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 102:305–314.
6. Sanaa, K., 2016. Extraction des Paramètres et Classification Dynamique Dans le Cadre de la Detection et du Suivi de Defaut de Roulements. Université de Reims, Doktora Tezi, Reims, s.264.
7. Jiantao, L., Xiaoxiang, Y., 2018. Learning to see the vibration: a neural network for vibration frequency prediction, <http://doi.org.tr/10.3390/s18082530>, ağustos 2018.
8. Yıldırım, Ş., Esim, E., 2021. Vibration analysis of an experimental double bridge crane system with artificial neural networks, **Journal of Vibration and Control**, 27(23–24):2724–2737.
9. Özmen, N. G., Karabacak, Y.E., 2022. Rulmanlarda titreşim verilerinden durum izleme ve arıza teşhisi için derin öğrenme yönteminin uygulanması, **Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 10 (2):346–365.

10. Çetinkaya, M. B., Esim, E., İşci, M., 2021. Analysis of the vibration characteristic of an experimental turning lathe using artificial neural network. **Arabian journal for science and engineering**, **46**:2597–2611.
11. Esim, E., Yıldırım, Ş., 2016. Drilling performance analysis of drill column machine using proposed neural networks, **Neural computing & application**, **28**:163–166.
12. Chi-Wei, L., Yang-Kuei, L. Chih-Hsing, C., 2013. Dynamic models and design of spindle-bearing systems of machine tools, **International journal of precision engineering and manufacturing**, **14** (3):513–521.
13. Kumar, T., Prof. P. Kumar, S., Prof. Saini, J., 2021. Use FEM to investigate the static and dynamic nature of the lathe spindle (shaft) under conventional machining, **International research journal of engineering and technology**, **8** (4):2851–2858.
14. Senkus, A., Jotautiene, E., 2016. Fem numerical analysis of tool holder of turning lathe. **Engineering for rural development**, **15**:1355–1360.
15. Delgado, A. S., Ozturk, E., Sims, N., 2013. Analysis of non-linear machine tool dynamic behavior. **Procedia Engineering**, **63**:761–770.
16. Telang, A., 2014. Static stiffness analysis of high frequency milling spindle. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, **3**(3):577–585.
17. Devi, P. A., Laxmaiah, G., Reddy, V. J., 2022. Static and dynamic analysis of high speed motorized spindle. **International Research Journal of Engineering and Technology**, **9**(5):3573–3578.
18. Bhatia, R.S., Er Nikhilesh, S. N., Sinha, P. K., 2018. Study and vibration analysis of multipoint cutting tools of milling machine by fem and ansys benchwork 14.0, **International Journal of Engineering Sciences & Research Technology**, **7**(6):459–468.
19. Bhatkorse, A., Raju, G. U., 2022. Modal analysis and harmonic response of machine tool spindle. 1–12, *AIP Conference Proceedings*, 06 Ocak 2022, AIP Publishing, s/pp 12.

20. Zhang, S., Zhang, S., Wang, B., Habetler, T. G., 2019. Machine learning and deep learning algorithms for bearing fault diagnostics - A comprehensive review, <https://www.researchgate.net/publication/330617205>, ocak 2019.
21. Rajesh, D., Krishna, M., Fazal, A. S., 2021. Design and finite element analysis for static and dynamic behaviour of composite shaft, **Iconic Research and Engineering Journals**, 5(1):188–200.
22. Muhsin, J., 2019. Dynamic analysis of a rotating stepped shaft with and without defects, 1–14, *IOP conference series: materials science and engineering*. 04-06 Kasim 2019, AIP Publishing, s/pp 14.
23. Qichen, N., 2020. Dynamic performance and fatigue analysis of asp pump rotor, 1–8, *Journal of physics: conference series*, 10-12 Temmuz 2020, Purpose-Led Publishing, s/pp 8.
24. Rushikesh, B. G., Abhay, V. G., 2018. Static and dynamic analysis of shaft (EN24) of foot mounting motor using FEA. **International journal of innovations in engineering research and technology**, 5(6):2394–2396.
25. Koçak, M. T., Bayraklılar, M. S., 2023. Mechanical shaft optimization: a study on static structural analysis and topological optimization in ansys. **International Journal of 3d Printing Technologies and Digital Industry**, 7(3):541–549.
26. Yıldırım, Ş., Eski, İ., 2009. Vibration analysis of an experimental suspension system using artificial neural networks, **Journal of Scientific & Industrial Research**, 68:522–529.
27. Haggag, S., Adly, A. R., Abdelaal, M. Z., 2022. Artificial neural network model for fault diagnosis of rotating machine in ETRR-2. **Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications**, 55 (3):55–61.
28. Liu, J., Yang, X., 2018. Learning to see the vibration: a neural network for vibration frequency prediction. <https://doi.org/10.3390/s18082530>, ağustos 2018.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Muhammed Demirel

Uyruğu: Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

e-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mekatronik Bölümü	2025
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mekatronik Bölümü	2020
Önlisans	Lycee Louis Couffignal, Strasbourg/Fransa	2008
Lise	Lycee Louis Marchal, Molsheim/Fransa	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2023-Halen	Euromac	Yönetici
2019-2023	Güven Makina	Yazılım Mühendisi
2014-2019	Eltes Elektrik	Elektrik Proje
2008-2014	Clemessy	Elektrik Teknikeri

YABANCI DİL

İngilizce - Fransızca

YAYINLAR

1. Muhammed Demirel ve Emir Esim (2024). Static and dynamic analysis of drill machine spindle based on ansys for tapping operation, Icheas 8th International Conference On Health, Engineering And Applied Sciences November 15 - 17, 2024 - Rome, ss 719-734.