



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

CNC TORNA VE FREZE TEZGÂHLARINDA TİTREŞİM
ANALİZİ VE GİDERİLMESİ ÜZERİNE BİR YAKLAŞIM

VELİ TOM

KASIM 2021

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

CNC TORNA VE FREZE TEZGÂHLARINDA TİTREŞİM
ANALİZİ VE GİDERİLMESİ ÜZERİNE BİR YAKLAŞIM

VELİ TOM

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Menderes KALKAT

Kasım 2021

Dr. Öğr. Üyesi Menderes KALKAT danışmanlığında **Veli TOM** tarafından hazırlanan “**CNC Torna ve Freze Tezgâhlarında Titreşim Analizi ve Giderilmesi Üzerine Bir Yaklaşım**” Başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. D.r Şahin YILDIRIM, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Menderes KALKAT, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ŞAHİN, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20..

Prof. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Veli TOM



ÖZET

CNC TORNA VE FREZE TEZGÂHLARINDA TİTREŞİM ANALİZİ VE GİDERİLMESİ ÜZERİNE BİR YAKLAŞIM

TOM, Veli

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğretim Üyesi Menderes KALKAT

Kasım 2021, 96 sayfa

Bu çalışmada CNC torna tezgâhlarında ve freze tezgâhlarında meydana gelen titreşimler nedeniyle performans analizleri ve tahminleri yapılmıştır. Titreşim ölçümü için Bruel&Kjaer 3650-b-040 ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deneyde Bruel&Kjaer cihazının ivme ölçüm problemleri CNC torna ve freze tezgâhlarının rulman yatağı ve takım tutucusuna monte edilmiştir. İş parçasını belirli yöntemlerle işlerken titreşim hareketleri; ölçüm ekranına ivme (m/s^2). Cihazdan elde edilen veriler; Teorik programda yapay sinir ağları bölümünde YSA tabanlı grafikler elde edilmiştir. İvme ölçüm problemlerinden elde edilen değerler grafiklerde gösterilmiştir. Numune çelik malzemelerin krom ve karbon alaşımları ile farklı yük hızlarında ve geçiş sayılarında işlenmesinin performans analizi YSA tarafından tahmin edilmiştir. Öte yandan, LQ yapısında kullanılan YSA tahmin modeli yaklaşık %99,4 doğrulukla tahmin edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: CNC torna ve freze tezgâhı, talaşlı imalat, gerilme ve titreşim analizi, titreşim ölçümü, yapay sinir ağları

SUMMARY

A Approach On Vibration Analysis And Elimination
In CNC Lathes And Milling Machines

TOM, Veli

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Dr. Lecturer Menderes KALKAT

September 2021, 96 pages

In this study, performance analyses and estimates due to the vibrations occurred in CNC lathes and milling looms were carried out. Bruel&Kjaer 3650-b-040 measuring device was used for vibration measurement. In the experiment, the acceleration measuring probes of the Bruel&Kjaer device were mounted on the bearing bearing and tool holder of the CNC lathe and milling looms. Vibration movements when processing the workpiece by certain methods; acceleration (m/s^2) to the measuring screen. Data obtained from the device; in the teorical program, YSA-based graphics were obtained in the artificial neural networks section. The values obtained from acceleration measuring probes were shown in the graphs. Performance analysis of the processing of samples with chromium and steel alloys of inserts at different load speeds and in the number of passes was estimated by YSA. On the other hand, the YSA forecast model used in the LQ structure was estimated with approximately 99.4% accuracy.

Keywords: CNC turning and milling machine Machining, stress and vibration analysis, Vibration Measurement, Artificial neural networks

ÖN SÖZ

İmalat sektöründe geniş bir uygulama alanına sahip olan talaşlı imalat yöntemleri, geçmişte ve günümüzde ülke ekonomilerine en çok katkıda bulunan sektörlerden biridir. Makine, otomotiv, havacılık, kalıpcılık gibi önemli sektörlerin içinde yer alan talaşlı imalat, gelecekte de küresel ekonominin vazgeçilmez unsuru olmaya devam edecektir. Talaşlı imalat sektörü günümüzde en iyiyi ürünü, en ucuza üretmeyi hedeflemektedir. Yapılan bu tez çalışmasında talaşlı imalatın en temel taşı olan CNC tezgâhlarda oluşan titreşimler analiz edilerek, tezgâh fener mili ve taret titreşimlerinin uç sarfiyatına etkisini araştırmak için zemin oluşturulmuştur.

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' ne bağlı Makina mühendisliği anabilim dalında Sayın Menderes KALKAT hocamın yardımlarıyla tezimi hazırladım. Yardımlarımdan dolayı kendilerine teşekkürü bir borç bilirim.

Kayseri Erciyes Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölüm başkanı Sayın Şahin YILDIRIM' a yardımları için kendilerine teşekkürü bir borç bilirim.

Yapılan araştırma Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı ana bilim dallarında hazırlanan yüksek lisans ve doktora tezlerinde bilimsel sunum ilkelerine uygun olarak hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
FOTOĞRAFLAR VB. MALZEMELER DİZİNİ	xv
SİMGE VE KISALTMALAR	xvi
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
1.2 Araştırmanın Önemi	1
1.3 Literatür Taraması.....	3
BÖLÜM II CNC TAKIM TEZGAHLARI.....	5
2.1 CNC' nin Genel Tanımı.....	5
2.2 CNC Takım Tezgâhları Tarihçesi Ve Önemi	5
2.3 CNC Tezgâh Çeşitleri	6
2.3.1 CNC torna tezgâhı	6
2.3.2 CNC freze tezgâhı.....	7
BÖLÜM III DENEYDE KULLANILAN TEZGAHLARIN ÖZELLİKLERİ	9
3.1 CNC Torna Tezgâhı Temel Elemanları	9
3.1.1 Tezgâh mili ve temel elemanları.....	9
3.1.2 Torna taretı ve temel elemanları	11
3.2 CNC Torna Tezgâhlarında Talaş Kaldırma İşleminin Teorisi.....	12
3.2.1 Ortogonal kesme	12
3.2.2 Kesme gerilmesi	16
3.2.3 Talaş kaldırma işleminde hız ilişkileri.....	16
3.3 CNC Freze Tezgâhı (İşleme Merkezi) Temel Elemanları	18
3.3.1 CNC freze tezgâhı fener mili	19
3.3.2 CNC freze tezgâhı x-y tablası.....	20
3.4 CNC Freze Tezgâhı Talaş Kaldırma İşleminin Teorisi	20

3.4.1 Yüzey frezeleme işlemi kesme parametreleri	21
3.4.2 Yüzey frezeleme işlemi kesme teorisi	21
3.5 Titreşim Ölçme Yöntemi ve Cihazı	22
BÖLÜM IV CAD ORTAMINDA DENEY MODELİ	23
4.1 3 Boyutlu CAD Programı	23
4.2 CNC Torna Tezgâhı Modellenmesi	23
4.2.1 CNC torna tezgâhının CAD ortamında modellenerek, gerilme ve titreşim analizi	24
4.3 CNC Freze Tezgâhı Modellenmesi	27
4.3.1 CNC freze tezgâhının CAD ortamında modellenerek, gerilme ve titreşim analizi	28
BÖLÜM V TİTREŞİM ÖLÇÜM DENEYİ	31
5.1 CNC Torna Tezgâhı Titreşim Ölçüm Deneyi	31
5.2 CNC Freze (Dikey İşleme Merkezi) Tezgâhı Titreşim Ölçüm Deneyi	34
5.3 Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Fiziksel Özellikleri	37
5.4 Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar	39
5.5 Titreşim Ölçüm Cihazı Sonuçları	40
5.5.1 Titreşim ölçüm cihazı torna tezgâhı analiz sonuçları	40
5.5.2 Freze tezgâhı titreşim analiz sonuçları	51
BÖLÜM VI YAPAY SİNİR AĞLARI	64
6.1 Yapay Sinir Ağları ve Analiz Yaklaşımı	64
6.2 Levenberg-Marquardt Metodu (LMM)	66
BÖLÜM VII DENEYSEL SONUÇLAR	68
7.1 Torna Tezgâhında Yapılan Deneyde Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı	68
7.2 Freze Tezgâhında Yapılan Deneyde Yapay Sinir Ağları Sonuçları	77
7.3 CNC Torna ve Freze Tezgâhlarında Oluşan Titreşim Sonuçları	83
7.3.1 CNC torna tezgâhında 100 Nöron Eğitim sonuçları	85
7.3.2 CNC freze tezgâhında 100 Nöron Eğitim sonuçları	87
BÖLÜM VIII SONUÇLAR	91
8.1 Gelecekte Çalışma ve Öneriler	92
KAYNAKLAR	93
ÖZ GEÇMİŞ	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. CNC torna fener mili parçaların kesit görünümü	10
Çizelge 3.2. Taret parça listesi.....	11
Çizelge 3.3. Fener mili parça listesi.....	19
Çizelge 3.4. X-Y tabla parça listesi	20
Çizelge 5.1. Torna tezgâhı deney parametreleri	31
Çizelge 5.2. Cnc freze tezgâhı deney parametleri	34
Çizelge 5.3. Deneyde kullanılan çeliklerin mekanik özellikleri.....	37
Çizelge 7.1. CNC torna tezgâhı yapay sinir ağları gizli katman sayısı 100 nöron eğitim sonuçları	68
Çizelge 7.2. CNC torna tezgâhı yapay sinir ağları gizli katman sayısı 200 nöron eğitim sonuçları	69
Çizelge 7.3. CNC freze tezgâhı yapay sinir ağları gizli katman 100 nöron eğitim sonuçları	78
Çizelge 7.4. CNC freze tezgâhı yapay sinir ağları gizli katman 200 nöron eğitim sonuçları	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Yatay CNC torna tezgâhı (Tezmaksan, 2015).....	9
Şekil 3.2. CNC torna fener mili parçaların ve ayna kesit görünümü (Haas, 2016)	10
Şekil 3.3. CNC torna fener mili parçaların kesit görünümü (Haas, 2016)	11
Şekil 3.4. Talaş kaldırma anı	12
Şekil 3.5. Talaşın serbest cisim diyagramı	13
Şekil 3.6. Tornalama da oluşan çevrim.....	13
Şekil 3.7. Ortaya çıkan kesme kuvvetinin çözünürlüğü kesme düzlemi (a) ve takım düzlemi (b)	14
Şekil 3.8. Tornalama da oluşan kesme açıları	15
Şekil 3.9 2 boyutlu kesme gerilmesi (a) ve talaş kaldırma anındaki kesme gerilmesi (b)	16
Şekil 3.10. Kesme hızı ilişkisi	16
Şekil 3.11. CNC dikey işleme merkezi tezgâhı temel elemanları (Arslan, 2015)	18
Şekil 3.12. CNC freze fener mili kesit görünümü (Haas, 2016).....	19
Şekil 3.13. CNC freze X-Y tablası görünümü	20
Şekil 3.14. CNC freze tezgâhında tırmanarak kesme işlemi	21
Şekil 3.15. Frezeleme işleminde tırmanarak kesme yönteminde oluşan kesme kuvvetleri	22
Şekil 3.16. Brüel& Kjaer 3650-b-040 ölçme cihazı	22
Şekil 4.1. Torna tezgâhının CAD ortamında modellenmesi	24
Şekil 4.2. Torna fener mili modelinin Von-Mises yöntemine göre gerilme analizi görünümü	25
Şekil 4.3. Torna taret modelinin Von-Mises yöntemine göre gerilme analizi görünümü	25
Şekil 4.4. Torna fener mili modelinin titreşim analizi görünümü	26
Şekil 4.5. Torna taret modelinin titreşim analizi görünümü	26
Şekil 4.6. CNC freze tezgâhının CAD ortamında modellenmesi	28
Şekil 4.7. Freze tezgâhı fener mili modelinin von-Mises yöntemine göre gerilme analizi görünümü.....	28

Şekil 4.8. Freze tezgâhı tabla modelinin von-Mises yöntemine göre gerilme analizi görünümü.....	29
Şekil 4.9. Freze, fener mili modelinin titreşim analizi görünümü	29
Şekil 4.10. Freze, tabla modelinin titreşim analizi görünümü	30
Şekil 5.1. Deneysel ve simülasyon analizlerinin blok diyagramı	33
Şekil 5.2. Deneysel ve simülasyon yaklaşımlarının blok diyagramı	37
Şekil 5.3. Brüel& Kjaer ölçüm cihazı titreşim 500 devir boşa taret eğrisi	41
Şekil 5.4. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir boşa taret titreşim değişim eğrisi	42
Şekil 5.5. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir boşa ayna titreşim değişim eğrisi.....	42
Şekil 5.6. Cihazın 0.5 mm talaş kaldırma işleminde oluşturduğu taret titreşim değişim eğrisi	43
Şekil 5.7. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde titreşim değişim eğrisi	43
Şekil 5.8. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500d/dk 0.5 mm talaş kaldırma işleminde ayna titreşim değişim eğrisi	44
Şekil 5.9. Cihazın 1000 d/dk boşa oluşturduğu titreşim eğrisi	44
Şekil 5.10. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir boşa dönme işleminde ayna titreşim değişimi.....	45
Şekil 5.11. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir boşa dönme işleminde taret titreşim değişim eğrisi	45
Şekil 5.12. Cihazın 1000 devir 0.5mm talaş kaldırma işleminde oluşturduğu titreşim eğrisi.....	46
Şekil 5.13. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde taret titreşim değişim eğrisi	47
Şekil 5.14. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde ayna titreşim değişim eğrisi	47
Şekil 5.15. Cihazın 1500 devir boşa oluşturduğu titreşim eğrisi	48
Şekil 5.16. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir boşa dönme işleminde taret titreşim değişim eğrisi	49
Şekil 5.17. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir boşa dönme işleminde ayna titreşim değişim eğrisi.....	49
Şekil 5.18. Cihazın 1500 devir 0.5mm talaş kaldırma işleminde oluşturduğu titreşim	

eğrisi.....	50
Şekil 5.19. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde ayna titreşim değişim eğrisi	51
Şekil 5.20. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde ayna titreşim değişimi	51
Şekil 5.21. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir boşta z eksenine titreşim değişim eğrisi.....	52
Şekil 5.22. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir boşta tabla titreşim değişim eğrisi	53
Şekil 5.23. Cihazın 500 devir 0.5 mm talaş kaldırma sırasında oluşturduğu titreşim eğrileri	54
Şekil 5.24. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde tabla titreşim değişim eğrisi	54
Şekil 5.25. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, titreşim 500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde z eksenine titreşim değişim eğrisi.....	55
Şekil 5.26. Cihazın 1000 devir boşta oluşturduğu taret titreşim eğrileri	56
Şekil 5.27. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir boşta dönme işleminde tabla titreşim değişimi	56
Şekil 5.28. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir boşta dönme işleminde z eksenine titreşim değişim eğrisi	57
Şekil 5.29. Cihazın 1000 devir 0.5 mm talaş kaldırma esnasında oluşturduğu taret titreşim eğrileri.....	58
Şekil 5.30. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde tabla titreşim değişim eğrisi	58
Şekil 5.31 Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde z eksenine titreşim değişim eğrisi.....	59
Şekil 5.32. Cihazın 1500 devir boşta oluşturduğu taret titreşim değişim eğrisi	60
Şekil 5.33. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir boşta dönme işleminde z eksenine titreşim değişim eğrisi	60
Şekil 5.34. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir boşta dönme işleminde tabla titreşim değişim eğrisi	61
Şekil 5.35. Cihazın 1500 devir 0.5 mm talaş kaldırma esnasında oluşturduğu taret titreşim değişim eğrileri	62
Şekil 5.36. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir 0.5 mm talaş	

test eğrisi	79
Şekil 7.18. Freze tezgâhı 500 d/dk paso derinliği olmadan oluşan tabla YSA test eğrisi	79
Şekil 7.19. Freze tezgâhı 500 d/dk 0.5mm paso derinliğinde oluşan fener mili YSA test eğrisi	80
Şekil 7.20. Freze tezgâhı 500 d/dk 0.5mm paso derinliğinde oluşan tabla YSA test eğrisi	80
Şekil 7.21. Freze tezgâhı 1000 d/dk paso derinliği olmadan oluşan fener mili YSA test eğrisi	81
Şekil 7.22. Freze tezgâhı 1000 d/dk paso derinliği olmadan oluşan tabla YSA test eğrisi	81
Şekil 7.23. Freze tezgâhı 1000 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan fener mili YSA test eğrisi	82
Şekil 7.24. Freze tezgâhı 1000 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan tabla test eğrisi .	82
Şekil 7.25. Freze tezgâhı 1500 d/dk paso derinliği olmadan oluşan fener mili YSA test eğrisi	83
Şekil 7.26. Freze tezgâhı 1500 d/dk paso derinliği olmadan oluşan tabla YSA test eğrisi	83
Şekil 7.27. Freze tezgâhı 1500 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan fener mili YSA test eğrisi	84
Şekil 7.28. Freze tezgâhı 1500 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan tabla test eğrisi .	84
Şekil 7.29. CNC torna fener mili paso derinliği olmadan 100 nöron eğitim sonucu.....	85
Şekil 7.30. CNC torna taretı paso derinliği olmadan 100 nöron eğitim eğrisi	86
Şekil 7.31. CNC torna taretı 0.5 mm paso derinliğinde 100 nöron eğitim eğrisi	86
Şekil 7.32. CNC torna fener mili 0.5 mm paso derinliğinde 100 nöron eğitim eğrisi....	87
Şekil 7.33. CNC freze fener mili paso derinliği olmadan 100 nöron eğitim eğrisi	88
Şekil 7.34. CNC freze tablası paso derinliği olmadan 100 nöron eğitim grafiği.....	89
Şekil 7.35. CNC freze fener mili 0.5 mm paso derinliğinde 100 nöron eğitim eğrisi	89
Şekil 7.36. CNC freze tabla 0.5 mm paso derinliğinde 100 nöron eğitim eğrisi	90

FOTOĞRAFLAR VB. MALZEMELER DİZİNİ

Fotoğraf 2.1. İlk CNC tezgâhı (Howe, 1955)	6
Fotoğraf 2.2. Yatay CNC torna tezgâhı	7
Fotoğraf 2.3. CNC freze (dikey işleme) tezgâhı	7
Fotoğraf 5.1. CNC torna tezgâhı titreşim ölçüm deney düzeneği görünümü	32
Fotoğraf 5.2. CNC torna tezgâhı fener mili titreşim ölçüm noktası görünümü	32
Fotoğraf 5.3. CNC torna tezgâhı fener mili titreşim ölçüm noktası görünümü	33
Fotoğraf 5.4. CNC freze tezgâhı titreşim ölçüm deney düzeneği görünümü	35
Fotoğraf 5.5. CNC freze iş parçası bağlama aparatı titreşim ölçüm noktası görünümü	35
Fotoğraf 5.6. CNC freze fener mili titreşim ölçüm noktası görünümü	36
Fotoğraf 5.7. PWLNR 2525M08 takım tutucu (a), WNMG kesici uç (b)	39
Fotoğraf 5.8. Torna tezgâhı taret takım tutucusu	40

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
ϕ	Kayma açısı
β	Sürtünme açısı
α	Talaş açısı
σ_s	Kesme gerilmesi
b	Kesme derinliği
T	Kesme kalınlığı
%	Yüzde
τ_s	Kayma gerilmesi
V	Kesme hızı
D	Parça çapı
N	Devir sayısı
P	Kesme gücü
F_V	Kesme Kuvveti
Z	Kesici ağız sayısı
F_f	Y yönündeki kesme kuvveti
F_{fn}	X yönündeki kesme kuvveti
λ	Marquardt parametresi
I	Birim veya tanımlama matrisi
W_k	Parametre vektörü
δ_{wk}	Değerlendirilmiş jakobiyen
F_P	Yatay yönde talaş kaldırma kuvveti
F_Q	Dikey yönde talaş kaldırma kuvveti
N_S	Kesme düzleminde oluşan dik kuvvet
F_C	Takım düzlemi boyunca oluşan kuvvet
N_C	Takım düzlemine dik kuvvet

Kısaltmalar	Açıklama
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
THÜ	Tezgâh Kontrol Ünitesi
MEMS	Mikro Elektronik Mekanik Sistem
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
C	Karbon
AISI	Amerikan Demir Çelik Sınıflandırma
IN	Alman Çelik Sınıflandırma
SAE	Otomotiv Mühendisleri Çelik Sınıflandırma
YSA	Yapay Sinir Ağları
LMM	Levenberg-Marquardt Yöntemi
MSE	Hataların Karelerin Ortalaması
R	Random Kuralı

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu yüksek lisans bitirme çalışmasında CNC tezgâhların titreşim durumu giderilmesinin kesici uç giderlerine etkisi üzerine bir araştırma yapılmıştır. CNC tezgâhlar ülkemizde ve dünyada kalıpcılık, tarım, savunma ve uzay sanayi, otomotiv, tesisat gibi her imalat alanında en önemli makinelerdir. Bu makinaların fiyatı oldukça pahalı olup firma ve ülke ekonomisinde büyük değer kapsarlar. Bu nedendir ki CNC tezgâhlarında oluşabilecek titreşimler, böylesine değerli makinaların ömrünü azaltmaktadır. Dolayısıyla işletmelerin bakım maliyetini artırmakta olup bu durumda ülke ekonomisine eksi yönde yansımaktadır.

CNC torna ve freze tezgâhlarında talaşlı imalat sırasında oluşan titreşimlerin kesici uçlara etkisini ispatlamak ve tezgâhlarda ki titreşimleri azaltarak kesici uç deformasyonlarını engellemektir. Araştırmada CNC torna ve CNC freze tezgâhlarının iş mili ve rulmanlarındaki titreşim değerleri yapay sinir ağlarında kullanılarak titreşim tahmin modelleri oluşturuldu. Titreşim değerleri referans alınarak, talaşlı imalattaki kesici karbür uç kullanımının azaltılmasına yönelik bir çalışma yapılacaktır.

Yerli ve milli ekonomiye katkı sağlayabilmek amacıyla, talaşlı imalatın vazgeçilmezi olan kesici karbür uçların kullanımı sırasında makinedeki rulmanlarda ve ya yataklamalarda ki titreşimlerden dolayı kullanım ömrünü azaltacak faktörlerin etkisini azaltarak ya da ortadan kaldırarak kesici karbür uçlardan daha fazla verim almak hedeflenmiştir.

1.2 Araştırmanın Önemi

Talaşlı imalat sektörü günümüzde uzay sanayisinde, endüstriyel tarımda, sağlık ekipmanları sektöründe, plastik, otomotiv gibi bütün sektörlerde vazgeçilmez bir konumdadır. Kullandığımız her ürün dolaylı veya direkt olarak talaşlı imalat aşamasından geçmektedir. Talaşlı imalat sektöründeki işyerlerinin üretim

kapasitesine her vardiyada saatlik olarak onlarca ve ya yüzlerce kesici karbür uç kullanılmaktadır. Örnek verecek olursak Niğde de talaşlı imalat yapan bir firmada günde ortalama beş yüz adet çelik, döküm ve ya krom alaşımlı çelik işlenmektedir. Bu ürünleri işleyebilmek için kullanılan uç sayısı günde 40 adet yaklaşık 10 çeşit kesici karbür uç kullanılmaktadır. Kullanılan kesici karbür uçların adet fiyatı ortalama 5 EURO – 20 EURO Arasında değişim göstermektedir. Eğer bunlara özel yapım kesici uçlar da katılırsa bu durum 400 EURO' ya kadar çıkmaktadır. Bunu ülke geneline yansıttığımızda ülkemizde bu sektörde senede milyarlarca lira dış sermayeye gitmektedir. Görüldüğü gibi karbür kesici uçlar çok sık tüketilen ürünlerdir. Bu durumlara ek olarak kesici uçlar ülkemize Çin, İsrail gibi yabancı ülkelere ithal edilmektedir. Ülkemizde üretilmemektedir. Bu sebepten dolayı kesici karbür uç kullanımını titreşime bağlı %5 oranında azaltmak bile Milli ekonomiye çok büyük katkı sağlayacaktır. Kesici karbür uçlara yapılacak yatırımlar, ar-ge çalışmalarında ve ya makine teçhizat yatırımında kullanılarak teknolojik anlamda ilgili kurumu geliştirecektir.

Tezgâhlarda talaşlı imalat sırasında oluşan titreşimler, kesici karbür uçlara zarar vermekte ve tezgâhın statik ve dinamik rijitliğini bozmaktadır. Söz konusu bu rijitliğin sağlanmaması; rulman dağılmasına, taşlanmış kızakların aşınmasına, taret ve ya takım tutucu pimlerinin kırılmasına, taret dişlisinin aşınmasına, hidrolik pompalarda ki keçe ve o-ring kanallarının aşınmasından dolayı yağ kaçaqlarına ve hidrolik basıncın düşmesine, tezgâhın elektrik panosu içerisinde bulunan sigorta ve rölelerin soket bağlantılarının çıkmasına sebebiyet vermektedir. Oluşan titreşimlerin zararlarını giderebilmek adına hazırlanan bu çalışma sayesinde ülkenin sanayi ekonomisine, bakım maliyetlerinin azaltılması durumuna da fayda sağlayacaktır. İstenmeyen titreşimlerin azaltılmasıyla, tamamı Çin, İsrail, Amerika vb. ülkelere ithal yoluyla alınan özellikle kesici uçların kullanım süresi uzayacaktır. Sonuç olarak talaşlı imalat atölyelerinde ve ya fabrikalarında üretim maliyeti azalacaktır. Azalan maliyetler sayesinde yatırım maliyet yerine, ar-ge çalışmalarına yapılarak ülkenin teknolojik kalkınmasına katkı sağlanabilecektir. Azalan maliyetlerin yanı sıra daha kaliteli ve hızlı imalat yapılacaktır.

CNC tezgâhlar saatlik ücretlerle çalışmaktadırlar ve maliyetleri yüksek makinelerdir. Özellikle kullandıkları kesici takımlar ve uçlar işletme maliyetini arttıran

temel unsurlardır. Bu noktada CNC takım tezgâhlarında takım ve işletme maliyetlerini düşürebilmek için araştırmacılar sürekli deneysel çalışmalar yapmaktadırlar. Fakat bu araştırmalar çoğunlukla makinelerin takım yolları, ilerleme hızları ve devir sayıları ile alakalı operatörün kontrol edebileceği etkenlerdir. Bu çalışmada tezgâh da hali hazırda bulunan ve çalışan rulmanlar ve yataklamaları üzerindeki titreşimler incelenecektir. Bu da operatörden bağımsız olarak gerçekleşen titreşimlerin giderilmesiyle imalat maliyetlerinde tasarruf sağlanacaktır.

1.3 Literatür Taraması

CNC tezgâhlarda farklı titreşim analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler tezgâhın operatöründen kaynaklı titreşimleri kapsamaktadır. Torna ayağı ve punta hidrolik basıncının üzerine araştırma yapılmış ve punta basınç değerinin iş parçası titreşimine etki ettiği tespit edilmiştir (Gürbüz ve Baday, 2019).

Benzer bir çalışma olarak CNC freze tezgâhındaki titreşimleri, MEMS sensörleri ile ölçmek için titreşim ölçüm cihazı tasarlanmıştır. Fakat bu çalışmada tezgâhın hangi elemanında ölçüm yapılacağı bilgisi bulunmamaktadır (Wszolek vd., 2019).

Bir diğer çalışma da CNC tezgâhların eksen motorlarında ki kuvvetin talaş kaldırma esnasında takım tırlamaları etkisi üzerine araştırma yapılmıştır (Shanshin vd. 2019).

Metal kesme işlemleri modern üretim sürecinde çok önemli bir role sahiptir. İş parçaları yüksek ölçü doğruluğunda ve istenilen yüzey kalitesinde işlenmelidir. En yaygın metal kesme işlemleri tornalama, frezeleme, delme ve taşlamadır. 1950'lilerin ortalarına kadar yüksek oranda kalifiye işgücüne dayanan bu metal kesme işlemlerinde, kısa zamanda verimi arttıran ve maliyeti düşüren otomatik işleme süreçleri insan operatörlerin yerini almıştır. Zamanla önce büyük işletmelerde daha sonra da geleneksel atölyelerde otomatik metal kesme işlemlerinin yaygınlaşmasıyla üretim maliyetleri düşürülmüş, üretim ve ürünün kalitesi de arttırılmıştır. Ancak işleme durumlarında bozulmalar meydana geldiği için üreticiler sık sık işlemeye ara vermek zorunda kalmışlardır (Dalmış, 2012).

Bir takım tezgâhı hassas ve kaliteli iş parçaları üretmek için statik ve dinamik

olarak rijit olmalıdır. Fakat kesme sürecinde dinamik rijitliği sağlanabilmesi, sistemdeki dinamik kuvvetlerin doğru olarak tespitiyle mümkündür. Dinamik rijitliğin hem analitik hem de deneye dayalı inceleme amacıyla basitleştirilerek daha iyi anlaşılabilmesi için, talaş kaldırma süreci ve takım tezgâhı arasındaki etkileşim, dinamik kesme kuvvetlerinin de dikkate alındığı bir kapalı çevrim (closed loop) sistemi ile açıklanır. Bu sisteme göre takım-iş parçası ikilisinin kesme anındaki yer değişim hareketleri, kesme kuvvetlerinin anlık talaş kalınlığına bağlı olarak değişken/dinamik olmasına neden olur. Oluşan dinamik kuvvetler iş parçası üzerinde titreşim izleri bırakır. Eğer titreşim doğal olarak engellenmezse takımın dalgalı parça yüzeyinden bir sonraki geçişinde faz gecikmesinden ve buna bağlı değişen talaş kalınlığından kaynaklı titreşimlerin şiddeti üssel olarak artar. Yine istenmeyen bu kendi kendini yenileyen titreşimlerin yani tırlamaların sönümlenerek kararlı kesme koşullarının oluşturulması gerekmektedir (Neşeli, 2013).

CNC tezgâhın delik delme, tormalama ve frezeleme esnasında iş parçası üzerinde oluşturduğu titreşimler incelemiştir. İş parçası uzunluğunun titreşim üzerine etkileri Çalışmalar neticesinde rulman yataklamaları ve takım tutucusuna etki eden titreşimin tespit edilmesi en zor olan az pasoda silindirik tormalama ve yüzey frezeleme işlemi deneye dâhil edilmiştir (Myress, 2013).

BÖLÜM II

CNC TAKIM TEZGÂHLARI

2.1 CNC' nin Genel Tanımı

Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (Computer Numerical Control) en genel ifadesiyle takım tezgâhlarının sayı, harf vb. sembollerden oluşan ve belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar sayesinde işlenebilmesi ve Tezgâh Kontrol Ünitesinin (TKÜ) parça programıyla kontrol edilmesidir. CNC' de tezgâh kontrol ünitesinin kompüteriz edilmesiyle, programların korumasının yanında parça üretiminin her kademesin de programı durdurma, programda istenilen değişiklikleri yapabilme, programa istediğimiz yerden tekrar devam edebilme ve programı son şekliyle hafızada saklamak mümkündür. Bu nedenle programı kontrol ünitesine bir kez yüklemek yeterlidir.

2.2 CNC Takım Tezgâhları Tarihçesi ve Önemi

CNC tezgâhlar, 18. yüzyılda geliştirilen bir işleme tekniğini kullanır. 'Metali kendi eksenini etrafında döndürerek işleme' hassas işlemler yaratmayı amaçlayan uzun bir makine serisinin ilki olan 1751'de icat edildi. Bu sanayileşmenin başlangıcı oldu (Büyükşahin, 2005)

Ancak, otomasyonun gelişimi Soğuk Savaş'a kadar ele alınmadı. O zaman, Parsons Works şirketi, helikopter kanatları için üretim hattının verimliliğini artırmak için ABD Donanması tarafından görevlendirildi. John T. Parsons daha sonra bu kanatları imal etmek için makinelerin eksenlerini motorize etti. IBM ile birlikte çalışarak bu makineleri bilgisayarla kontrol etme olanaklarını inceledi. Bu, CNC ile talaş kaldırma yönteminin başlangıç noktasıydı (Prototechasia,2020)

1952'de Richard Kegg, MIT ile birlikte ilk CNC freze makinesini geliştirdi: Cincinnati Milacron Beş yıl sonra, 1958'de "Konumlandırma Takım Tezgâhi için Motor Kontrollü Aparat" için patent başvurusunda bulundu. Bu, bu teknolojinin ticari doğuşuydu.



Fotoğraf 2.1. İlk CNC tezgâhı (Howe, 1955)

2.3 CNC Tezgâh Çeşitleri

Temel olarak CNC tezgâh çeşitleri; torna, freze, taşlama ve dişli azdırma tezgâhından oluşmaktadır. Yapılan bu araştırma da CNC torna ve freze tezgâhı üzerinde deney yapılmıştır.

2.3.1 CNC torna tezgâhı

Bilgisayar desteği ile çalışan torna tezgâhları CNC torna tezgâhı diye adlandırılmaktadır. CNC torna tezgâhlarında genel olarak 2 eksen bulunmaktadır. Çapta ilerlemeyi sağlayan eksene “X ekseni” ve boyda ilerlemeyi sağlayan eksene “Z ekseni” denir. CNC torna tezgâhları yatay ve dikey olarak iki durumda imal edilirler. Aynanın dönme ekseni yere paralel olması durumunda “Yatay CNC Torna”, yere dik olması halinde ise “Dik CNC Torna” tezgâhı denir. Yatay CNC Torna tezgâhları Fotoğraf 2.2’ de gösterilmiştir.



Fotoğraf 2.2. Yatay CNC torna tezgâhı

2.3.2 CNC freze tezgâhı

Temel freze tezgâhları X,Y,Z eksen hareketleri ile prizmatik parçaların üretiminde kullanılan, bilgisayar desteği ile çalışan tezgâhlardır. CNC freze tezgâhları dikey ve yatay olacak şekilde iki gruba ayrılır. Dikey freze tezgâhlarında iş parçasının bağlı olduğu tezgâh tablası X ekseninde boyuna, Y ekseninde enine ve kesici takımın bağlı olduğu iş mili Z ekseninde dikine hareket eder. Yatay CNC freze tezgâhlarında iş parçasının bağlı olduğu tezgâh tablası X ekseninde boyuna, kesici takımın bağlı olduğu iş mili Y ekseninde yukarı-aşağı ve Z ekseninde ileri-geri hareket eder. Dik CNC freze tezgâhlarına “Dik işleme merkezi” ve Yatay CNC freze tezgâhlarına “Yatay işleme merkezi” denir. Bu tezgâhlar Fotoğraf 2.3’ deki gibi gösterilmiştir.



Fotoğraf 2.3. CNC freze (dikey işleme) tezgâhı

Diğer CNC tezgâh çeşitleri;

- Tel Erozyon Tezgâhı,
- Satıh Taşlama Tezgâhı
- Dişli Azdırma Tezgâhı
- Silindirik Taşlama Tezgâhı
- Planya Tezgâhı
- Abkant Tezgâhı
- Lazer Tezgâhı
- Plazma Tezgâhı

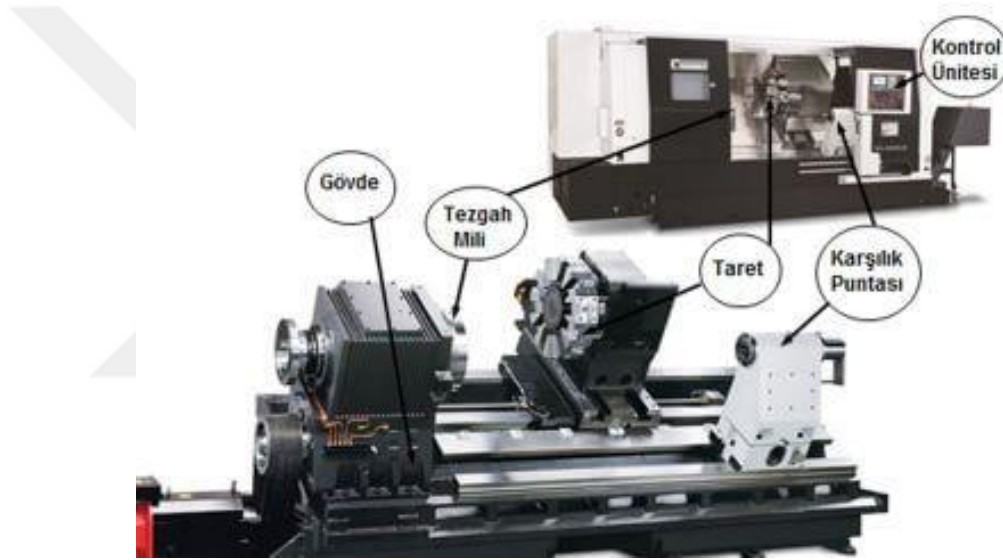


BÖLÜM III

DENEYDE KULLANILAN TEZGÂHLARIN ÖZELLİKLERİ

3.1 CNC Torna Tezgâhı Temel Elemanları

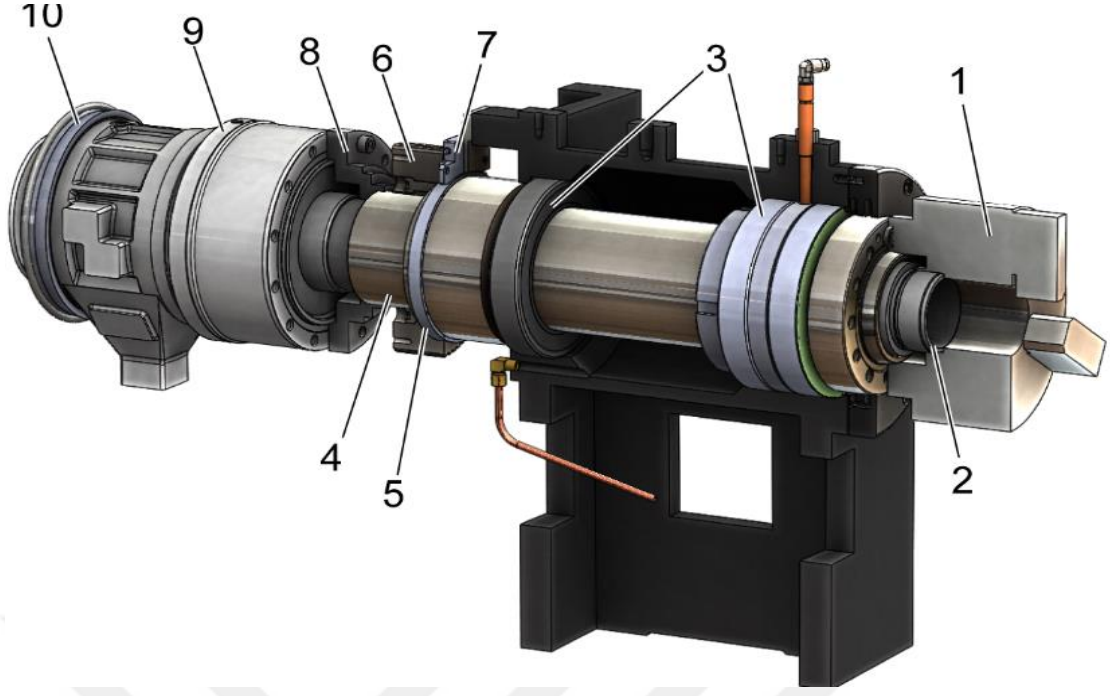
CNC torna tezgâhı; gövde, gövdeye bağlı olan taret, fener (Tezgâh mili), punta ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Deneyde titreşim ölçümü kesici takımın bağlı bulunduğu taret kısmında ve İş parçasının bulunduğu fener mili kısmında yapılmıştır. (Tezmaksan, 2015)



Şekil 3.1. Yatay CNC torna tezgâhı (Tezmaksan, 2015)

3.1.1 Tezgâh mili ve temel elemanları

Tezgâh mili iş parçasının belirli devirde dönebilmesi ve talaşlı imalata hazır olması için iş parçasını sabitlemek ve rijit şekilde atalet verebilmek için tasarlanmıştır. Şekil 3.2 deki parçalardan oluşmaktadır.



Şekil 3.2. CNC torna fener mili parçaların ve ayna kesit görünümü (Haas, 2016)

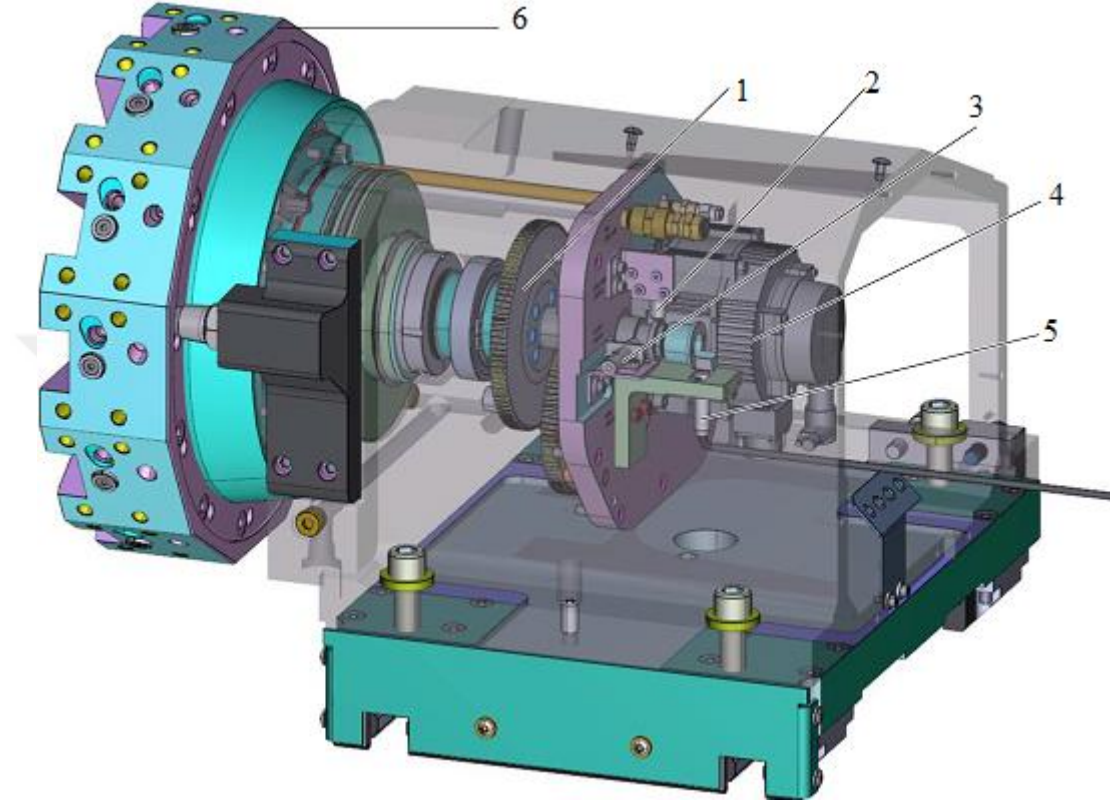
Çizelge 3.1. CNC torna fener mili parçaların kesit görünümü

NO	PARÇA
1	AYNA
2	AYNA- FENER MİLİ SIKMA BORUSU
3	FENER MİLİ RULMANLARI
4	TEZGÂH MİLİNİN MİLİ
5	ENKODER HALKASI
6	ENKODER KAYIŞ DİLİŞİ
7	ENKODER SENSÖRÜ
8	MOTOR- FENERMİLİ BAĞLANTI FLANŞI
9	SERVO MOTOR
10	MOTOR SOĞUTUCU

Fener milinde bulunan parçalardan Ayna kısmı hassas şekilde taşlama yöntemleriyle imal edilmiş olup, iş parçasını sabitlemeye yarar. Sıkma borusu ayna ve fener mili bağlantısını sağlar. Fener mili mikron seviyesinde imal edilmesi gerekmektedir. İş parçasının kaliteli işlenmesi için devir ile dönme işleminde salgısız dönmesini sağlar. Fener mili rulmanları, yataklamayı sağlamaktadır. Enkoder bölgesi iş mili devrinin tespitini sağlar. Servo motor fener miline tahriki vermektedir.

3.1.2 Torna taret ve temel elemanları

Taret kısmı, iş parçasını imal edecek olan takım tutucusunun monte edildi ve sabitlendiği yerdir. Talaşlı imalat için büyük önem arz eder.



Şekil 3.3. CNC torna fener mili parçaların kesit görünümü (Haas, 2016)

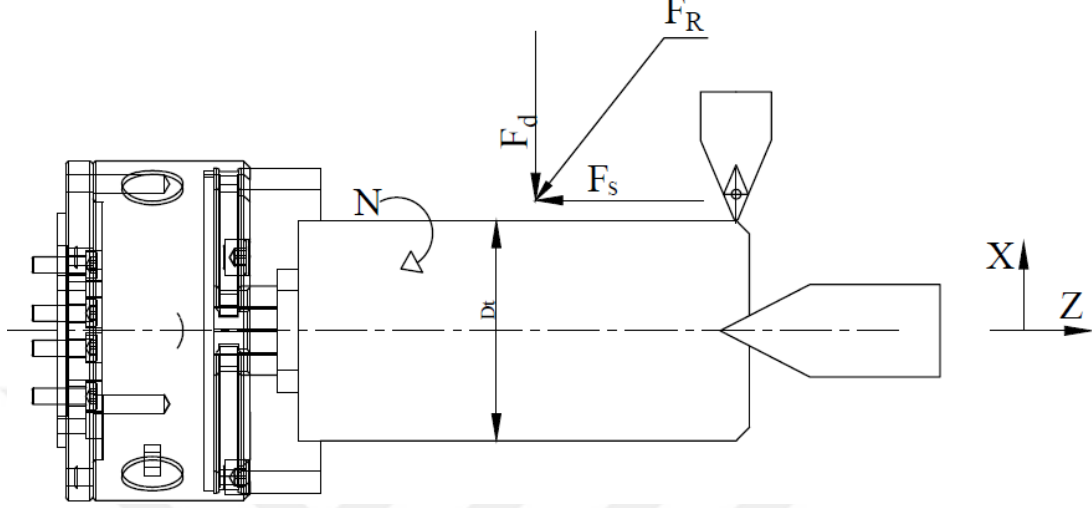
Çizelge 3.2. Taret parça listesi

NO	PARÇA
1	TARET DİŞLİSİ
2	TARET AÇMA ANAHTARI
3	TARET KİLİTLEME ANAHTARI
4	SERVO MOTOR
5	REFERANS SENSÖRÜ
6	TAKIM TUTUCU BÖLGESİ

Taret dişlisi taret operatörün ayarladığı konuma getirmek için kendi eksenini etrafında çevirmeyi sağlamaktadır. Takım numarasının değişeceği andaki konumunu belirlemek için anahtarlar devreye girmektedir. Taretin kendi eksenini etrafında dönmesi için tahrik servo motor tarafından sağlanır. Kesici takımın bağlı bulunduğu bölge yüksek

dayanımlı malzemeden imal edilen taret tutucu bölgesidir.

3.2 CNC Torna Tezgâhlarında Talaş Kaldırma İşleminin Teorisi



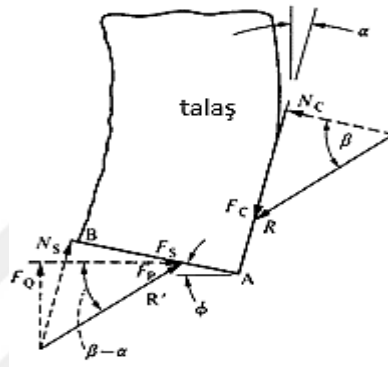
Şekil 3.4. Talaş kaldırma anı

Tezgâh iş milinin parça işleme modeli Şekilde gösterildiği gibidir. Tornalama esnasında meydana gelen yükler X eksenine paralel olan kuvvet iş parçasını eğmeye (kesme kuvvetine) zorlayacaktır. Z eksenine gelen kuvvetler ise iş parçasını burulmaya zorlayacaktır. Bu iki kuvvetin bileşkesi olarak da Bileşke kuvvet hesaplanır. Oluşan bu kuvvetleri belirleyen birçok unsur bulunur. Tezgâh fener mili rulmanlarında ve ya kızaklarında ki titreşimler Talaş kaldırma miktarı(talaş derinliği), Dakikada ilerleme mesafesi, Fener mili devri, İş parçası çapı, Malzemenin akma ve kesme dayanımları kesme kuvvetlerini belirleyen başlıca etkenlerdir. Titreşimler hariç diğer maddeler manuel olarak kolayca kontrol edilebilir ancak tezgâhtaki titreşimleri operatör fark edemeyebilir. Bundan dolayı kesici uç tüketimi kontrol edilemeden artabilir (Şekil3.4).

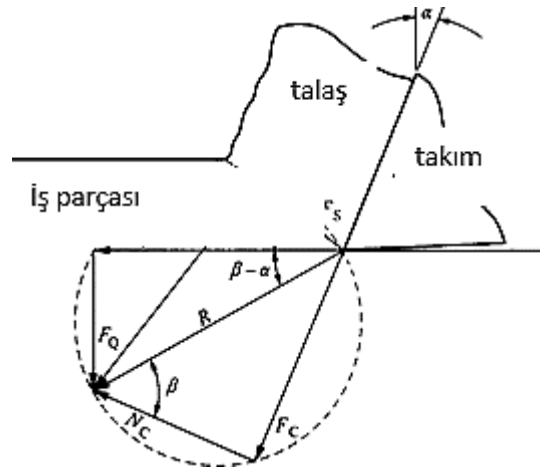
3.2.1 Ortogonal kesme

Birçok yaygın kesme işlemleri üç boyutlu ve karmaşık geometrilere sahip olmasına rağmen, iki boyutlu ortogonal kesme metal talaş kaldırma işleminin genel mekaniğini açıklamak için kullanılır (Milton, 2005). Ortogonal kesmede malzeme ile takım kesme kenarı arasında dik açı altında talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Daha karmaşık üç boyutlu eğik kesme işlemleri; genellikle ortogonal kesme işleminde uygulanmış

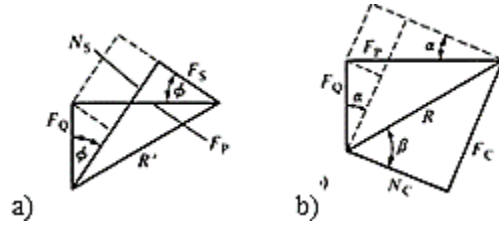
geometrik ve kinematik şekil değiştirmelerle değerlendirilir. Şekil 3.5’de de şematik olarak ortogonal ve eğik kesme işlemlerinin gösterimi yapılmıştır. Ortogonal kesmede, kesme kenarı kesme hızına dik olan takım kullanılmaktadır. Kesme genişliği (b) ve kesme derinliği (paso) (h) boyutunda bir metal talaş, iş parçasından kesilerek ayrılır. Ortogonal kesmede kesme işlemi kesme kenarı boyunca uniform olarak düşünülür. Böylelikle malzemenin yanına yayılma olmadan iki boyutlu düz gerilimli şekil değiştirme işlemi gerçekleşmektedir. (Mohammed and Feng, 2019) Detaylı olarak kuvvetlerin hesaplanması ve kuvvetlerin tanımlanması şu şekildedir.



Şekil 3.5. Talaşın serbest cisim diyagramı



Şekil 3.6. Tornalama da oluşan çevrim



Şekil 3.7. Ortaya çıkan kesme kuvvetinin çözünürlüğü kesme düzlemi (a) takım düzlemi (b)

Şekil 3.7 a' da bulunan kuvvetler Denklem 3.1 ve 3.2' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$F_S = F_P \cos \phi - F_Q \sin \phi \quad (3.1)$$

$$N_S = F_Q \cos \phi + F_P \sin \phi = F_S \tan (\phi + \beta - \alpha) \quad (3.2)$$

Şekil 3.7 b' de bulunan kuvvetler Denklem 3.3 ve 3.4' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$F_C = F_P \sin \alpha + F_Q \cos \alpha \quad (3.3)$$

$$N_C = F_P \cos \alpha - F_Q \sin \alpha \quad (3.4)$$

Takım yüzü bileşenleri, takım yüzündeki sürtünme katsayısının belirlenmesini sağladıkları için önemlidir. Bu bileşenlerden ilki μ , $\tan \beta$ ' ye eşittir ve Denklem 3.5' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mu = \frac{F_C}{N_C} = \frac{F_P \cos \theta + F_Q \sin \theta}{F_P \cos \theta - F_Q \sin \theta} = \frac{F_P + F_Q \tan \theta}{F_P - F_Q \tan \theta} \quad (3.5)$$

Kesme (kayma) düzlemindeki üniform gerilim dağılımı (τ) Denklem 3.6' daki gibi hesaplanır.

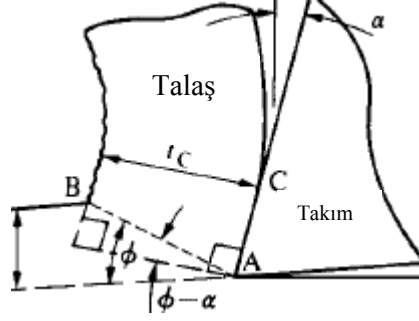
$$\tau_S = \frac{F_S}{A_S} \quad (3.6)$$

$$\tau = \frac{F_P (\cos \theta - F_Q \sin \theta) \sin \theta}{b_t} \quad (3.7)$$

Kayma düzlemindeki normal gerilme σ_s , Denklem 3.8 ve 3.9 daki gibi hesaplanır.

$$\sigma_s = \frac{F_{NS}}{A} \quad (3.8)$$

$$\tau = \frac{F_P (\cos \theta + F_Q \sin \theta) \sin \theta}{b_t} \quad (3.9)$$



Şekil 3.8. Tornalama da oluşan kesme açıları

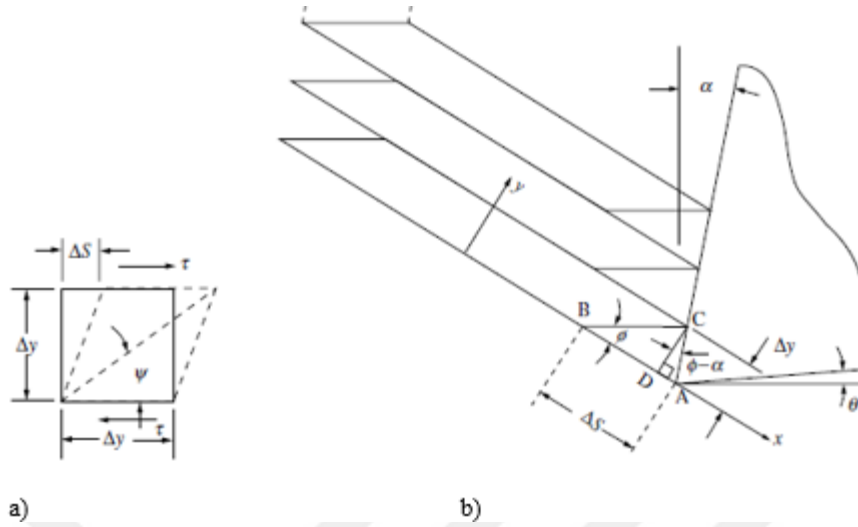
Silindirik dış çap tornalama işleminde Şekil 3.8’ de gösterilen kesme açıları Denklem 3.10 ve 3.11’ deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\frac{t}{t_c} = \frac{l_c}{l} = \frac{AB \sin \varphi}{AB \cos (\varphi - \alpha)} \quad (3.10)$$

$$\tan \varphi = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \quad (3.11)$$

Kesme oranı; talaş kalınlığını (t_c) kesme derinliğine (t), bölerek elde edinilebilir. Fakat net sonuç vermez. Sebebi bir talaşın arka yüzeyindeki pürüzlülüğünden dolayı sağlıklı bir talaş kalınlığı ölçümü yapılamaz. Daha iyi bir izlek talaş ölçmektir. Talaş uzunluğu A ve B noktaları ile elde edilir. Yukarıdaki Denklem x de görüldüğü gibi kesme oranı hesaplanır. Hesaplanan r ye göre de φ açısı hesaplanır.

3.2.2 Kesme gerilmesi



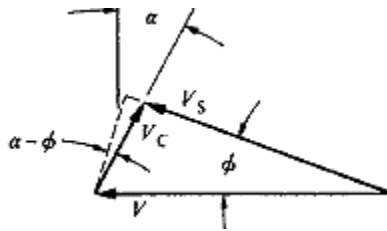
Şekil 3.9. 2 boyutlu kesme gerilmesi (a) ve talaş kaldırma anındaki kesme gerilmesi (b)

Kesme deformasyonu, kesme prosesinin bir alanıdır. Kesme gerilmesi γ ile tanımlanır. Denklem 3.12 ve 3.13' deki gibi hesaplanır.

$$\gamma = \frac{\Delta s}{\Delta y} = \frac{AB'}{CD'} = \frac{AD}{CD} + \frac{DB}{CD} = \tan(\phi - \alpha) + \cot \phi \quad (3.12)$$

$$\gamma = \frac{\cos \alpha}{\sin \phi \cos(\phi - \alpha)} \quad (3.13)$$

3.2.3 Talaş kaldırma işleminde hız ilişkileri



Şekil 3.10. Kesme hızı ilişkisi

V ; Kesme hızıdır. Takımın çalışma hızına göre bağlı hızdır ve yatak kuvvet olan F_p 'ye paralel olarak yönlendirilir.

V_c ; takıma göre talaşın hızıdır. Takımın yüzü boyunca devam eder. Denklem 3.14'

deki gibi hesaplanır.

V_s ; Çipin iş parçasına göre hızıdır ve kesme düzlemi boyunca yönlendirilir. Denklem 3.15' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$V_C = \frac{\sin\varphi}{\cos(\varphi-\alpha)} \cdot V \quad (3.14)$$

$$V_S = \frac{\cos\varphi}{\cos(\varphi-\alpha)} \cdot V \quad (3.15)$$

Kesme hızı (V) iki bileşeni vardır. Bunlar kesilme hızı (V_S) ve talaş hızı (V_C) dır. Kesme hızı, kesme kuvvetine (F_C) paralel olarak oluşan takımın bağıl hızıdır. Talaş hızı (V_C) takımın talaş yüzeyine paralel olarak talaşın takıma göre bağıl hızıdır. Kesilme hızı (V_S) ise talaş kayma düzlemine paralel olarak oluşan talaşın iş parçasına göre bağıl hızıdır. Kesme Hızı: Kesicinin iş çevresinde bir dakikada metre cinsinden aldığı yoldur.

Kesme hızını etkileyen faktörler, kullanılan kesici takımın cinsi, kesilen malzemenin cinsi, torna tezgâhının gücü ve kapasitesi, ilerleme miktarı, talaş derinliği, işleme çeşididir. Basit formülüyle kesme hızı Denklem 3.16' deki gibidir.

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \quad (3.16)$$

V= Kesme hızı (m/dk)

D= Taslak parça çapı (mm)

N= Devir sayısı (dev/dk)

Matematiksel modele göre kesme hızı Denklem 3.17 ve 3.18'deki formüllere göre hesaplanır.

$$V_S = V \cdot \frac{\cos\alpha}{\cos(\varphi-\alpha)} \quad (3.17)$$

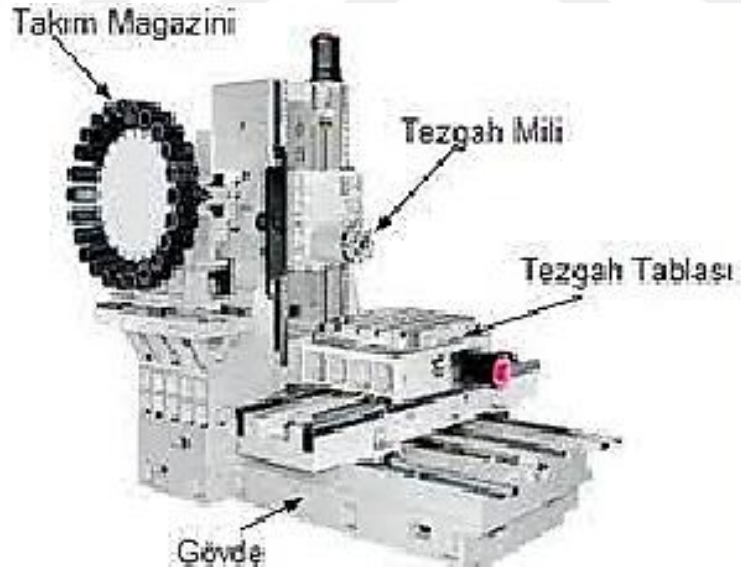
$$V_C = V \cdot \frac{\sin\alpha}{\cos(\varphi-\alpha)} \quad (3.18)$$

Kesme düzleminde harcanan kesme gücü Denklem 3.19' deki gibi belirlenmektedir.

$$P = F_G \cdot V_G \quad (3.19)$$

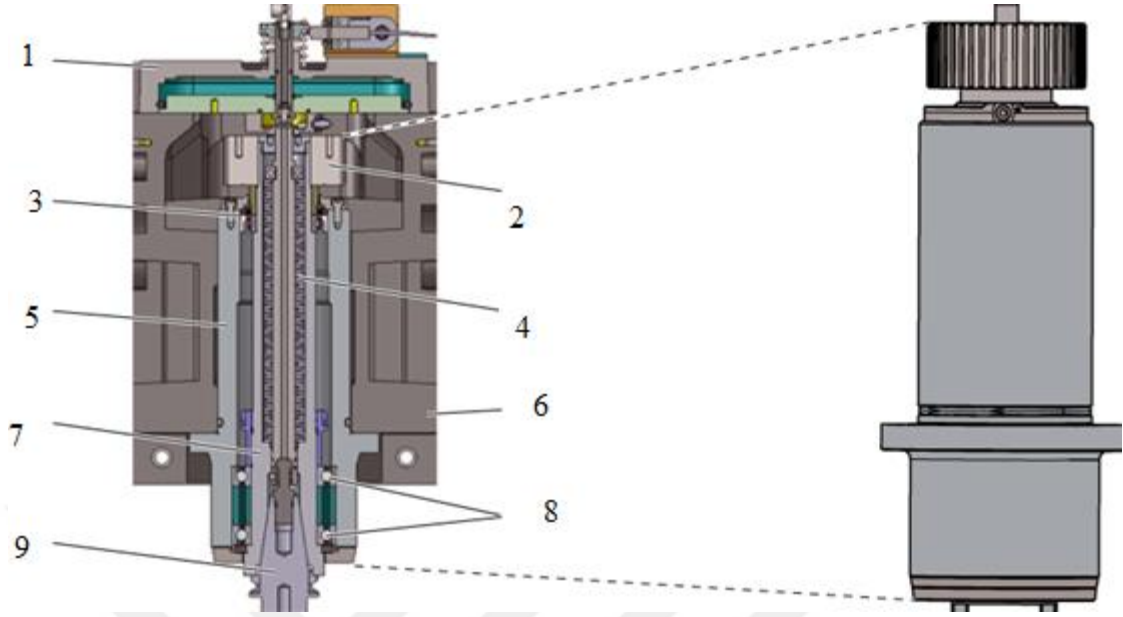
3.3 CNC Freze Tezgâhı (İşleme Merkezi) Temel Elemanları

CNC freze tezgâhı; gövde, gövdeye bağlı olan tezgâh x-y tablası, fener (Tezgâh mili), takım magazini ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Şekil 3.11’ de, takım magazini; iş parçasının operasyonlarında kullanılan takımların muhafaza edildiği bölümdür. Tezgâh mili; genelde tezgâhın z ekseninde monte edilmiş konumdadır. Kesici takımı kendi eksenini etrafında d/dk biriminde döndürerek iş parçasını işlenmesini sağlar. Tezgâh tablası; iş parçasının farklı bölgelerindeki işlemlerin yapılmasını sağlayan tezgâhın koordinatlarına göre ‘x’ ve ‘y’ eksenlerinde hareket ettirilmesini sağlar. Ayrıca iş parçasının sabitlenmesine yardımcı olur. Tezgâh gövdesi; genellikle çelik dökümden imal edilmiştir. Tezgâhın Temel elemanlarının, bir araya toplandığı kısımdır. Deneyde titreşim ölçümü; kesici takımın bağlı bulunduğu fener mili kısmında ve İş parçasının bulunduğu x-y tablasında yapılmıştır.



Şekil 3.11. CNC dikey işleme merkezi tezgâhı temel elemanları (Arslan, 2015)

3.3.1 CNC freze tezgâhı fener mili



Şekil 3.12. CNC freze fener mili kesit görünümü (Haas, 2016)

Çizelge 3.3. Fener mili parça listesi

NO	PARÇA
1	ÜST GÖVDE
2	MİL KAYIŞ KASNAĞI
3	ÜST YATAK
4	ÇEKİ KOLU
5	MİL GÖVDESİ
6	KAFA DÖKÜM GÖVDESİ
7	FENER MİLİ
8	ALT RULMAN YATAKLARI
9	KESİCİ TAKIM TUTUCUSU

Freze tezgâhı Fener mili, enkoder sisteminin bağlı bulunduğu üst gövde, fener mili devri ölçümü için kayış kasnağı, üst rulmanların yataklaması olan üst yatak tutucu takımın sabitlenmesi için çeki kolu, mil gövdesi, mil, rulman yatakları ve kesici takım tutucusundan oluşmaktadır. Talaşlı imalatta hassas talaş kaldırmak için son derece yüksek hassasiyetli üretilmiştir (Şekil3.12).

3.3.2 CNC freze tezgâhı x-y tablası



Şekil 3.13. CNC freze X-Y tablası görünümü

Çizelge 3.4. X-Y tabla parça listesi

NO	PARÇA
1	VİDALI MİL
2	KIZAK
3	SERVO MOTOR
4	DİŞLİ KAYIŞ KASNAK MEKANİZMASI
5	İŞ PARÇASI SABİTLEME TABLASI

Freze tezgâhı x-y tablası tezgâhın hareketi sağlayan vidalı mil, vidalı mile tahrik veren Kayış kasnak mekanizması, servo motor, rijitliği sağlamak için kızak ve iş parçasının sabitlenmesi için tabladan oluşmaktadır (Şekil 3.13).

3.4 CNC Freze Tezgâhı Talaş Kaldırma İşleminin Teorisi

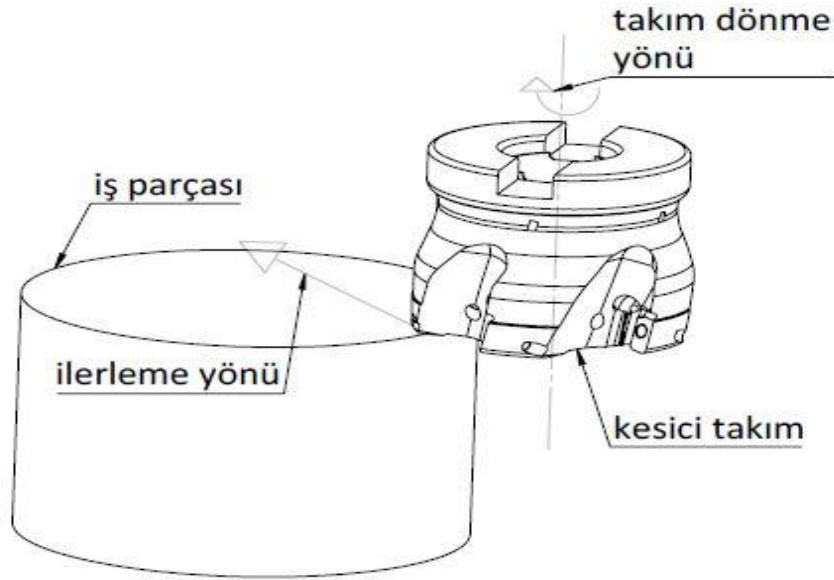
CNC torna tezgâhında olduğu gibi birçok araştırmacı 1950 yıllarından bu yana freze tezgâhlarında titreşim kontrolü ile ilgili araştırmalar yapmıştır. CNC freze tezgâhında talaş kaldırma esnasında oluşan titreşim verilen devir sayısına göre geniş olarak incelenmiş ve oluşan titreşimi sönmölemek amacıyla bir bağlama ekipmanı tasarlanmıştır. Deneyde kesme yöntemi olarak talaşlı imalatta tercih edilen tırmanarak kesim modeli seçilmiştir (Şekil 3.14).

3.4.1 Yüzey frezeleme işlemi kesme parametreleri

Yüzey frezeleme işleminde devir sayısı (N), takım çapına göre hesabı Denklem 3.1’deki gibi yapılır. Tornalama işleminde iş parçası çapı, frezeleme işleminde ise takım çapı hesaba dâhil edilir. İlerleme hızı olan (F) ise Denklem 3.21’deki gibi hesaplanır. Kullanılan kesici takımın kataloğundan ilerleme hızı olan v_f , Kesici ağız sayısı (z) ve devir (N) arasındaki bağıntı ile İlerleme hızı hesaplanır.

$$N = \frac{1000 \times v}{\pi \times D_t} \quad (3.20)$$

$$F = \frac{v_f}{z \times N} \quad (3.21)$$



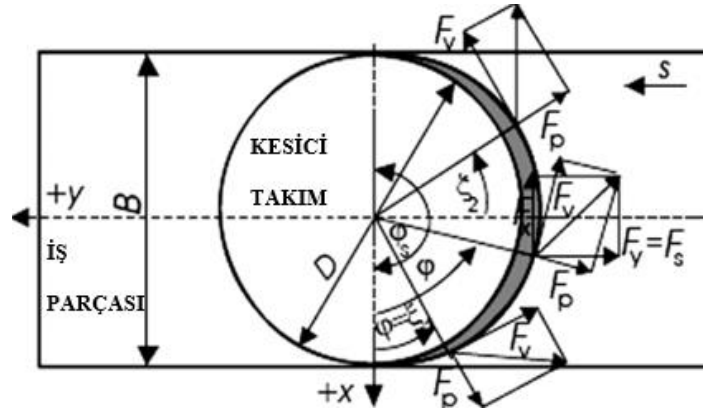
Şekil 3.14. CNC freze tezgâhında tırmanarak kesme işlemi

3.4.2 Yüzey frezeleme işlemi kesme teorisi

Yüzey frezeleme işleminin matematiksel modeli Şekil 3.14’deki gibidir. Talaş kaldırma esnasında, kesici takımın iş parçasına temasıyla oluşan ana kesme kuvveti F_V Denklem 3.24’deki hesaplanmaktadır [8].

$$F_V = [-\sin \varphi - \cos \varphi] \cdot \begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \end{bmatrix}$$

(3.22)



Şekil 3.15. Frezeleme işleminde tırmanarak kesme yönteminde oluşan kesme kuvvetleri

3.5 Titreşim Ölçme Yöntemi ve Cihazı

Bu çalışmada titreşim ölçümü için, pompa gövdesi imalatında kullanılan CNC torna ve freze tezgâhları kullanıldı. Titreşim ölçümü için Brüel&kjaer 3650-b-040 ölçme cihazı kullanıldı.

Cihaz Endüstriyel ve zorlu kullanım için kompakt, sağlam kasa 35°C'ye kadar çalışmaktadır. Ünitesi, bilgisayar kontrorlünde yönetilir. Cihaz 0 Hz ve 256 kHz arasında frekans verilerini ölçebilmektedir. Cihaz verileri PULSE LabShop v.11.1.0.58 programı ile aktarmaktadır.



Şekil 3.16. Brüel & Kjaer 3650-b-040 ölçme cihazı

BÖLÜM IV

CAD ORTAMINDA DENEY MODELİ

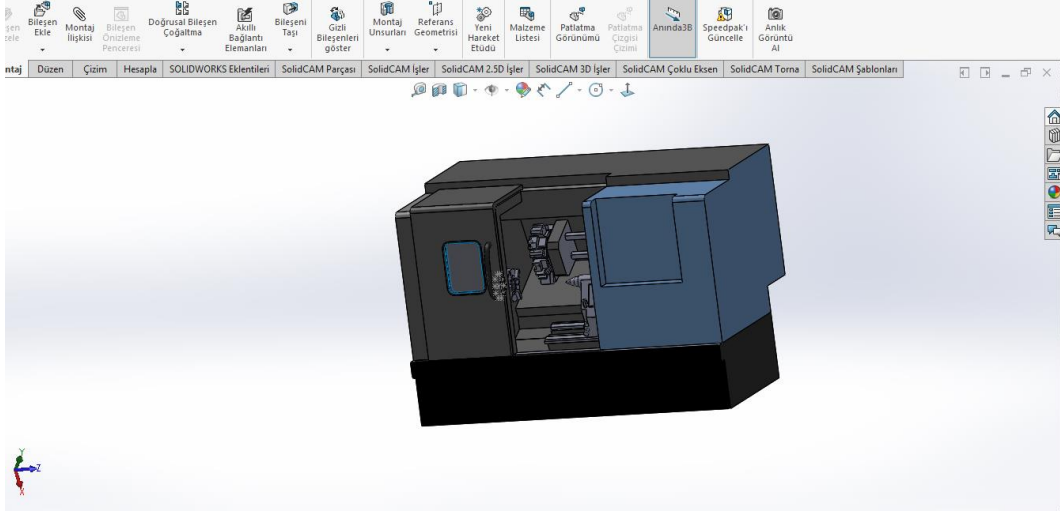
4.1 3 Boyutlu CAD Programı

SOLIDWORKS: 3 Boyutlu katı tasarımları parametrik olarak gerçekleştirmek için hazırlanmış bir CAD programıdır. Solidworks detaylı resimlerin ve modellerin üretimi, boyutları ve özellikleri ile tecrübe ve fikirlerin hızlı olarak taslak haline dönüşmesini mekanik tasarımlar için mümkün kılar (Gülesin, vd., 2007).

- Solidworks programında ürün, sayısal ortamda test edilerek çalışma performansı hakkında bilgi elde edilir. Yapılan bu testler sonucu elde edilen veriler kullanılarak tasarım tekrar gözden geçirilir ve uygun değer ile sonuca gidilir. Solidworks programı ile analiz aşağıdaki aşamalar izlenerek yapılmıştır.
- CNC torna ve freze tezgâhının genel yapısı ve detaylı olarak ölçüm yapılan kısımların 3 boyutlu çizimi yapıldı.
- Parça malzemesinin tanımlandı.
- Solidworks simüle eklentisinde torna kısmında fener mili ve tarette gelen yükler tanımlandı. Freze deneyinde tabla ve freze fener miline gelen yükler tanımlandı. Öncelikle statik analiz (stress) daha sonra titreşim (frekans) analizi gerçekleştirildi.

4.2 CNC Torna Tezgâhı Modellenmesi

CNC torna tezgâhının gövde kısmı, taret ve fener mili kısmı belirtilen CAD programında, titreşim ve gerilme analizlerinin yapılması amacıyla Şekil 4.1' deki gibi modellenmiştir.



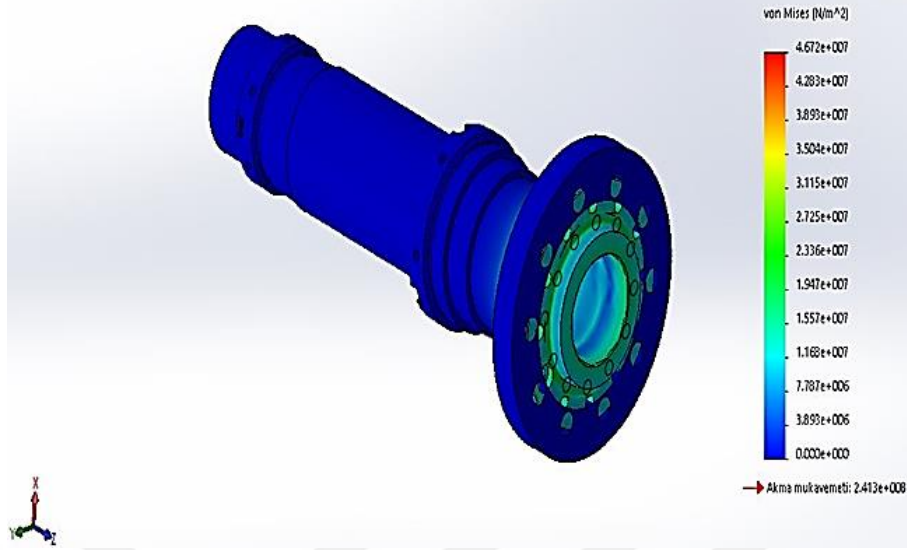
Şekil 4.1. Torna tezgâhının CAD ortamında modellenmesi

4.2.1 CNC tezgâhının CAD ortamında modellenerek, gerilme ve titreşim analizi

Tornalama işlemi iş parçası, ayna ve kesici takımı içermektedir. Solidworks programında, cnc torna tezgâhı üç boyutlu olarak modellenmiş olup simülasyon ortamında kısa sürede ve net sonuçlar elde edebilmek için torna aynasının monte edildiği fener mili rulman yataklaması, kesici takım ve bağlı bulunduğu torna taretini ayrı ayrı gerilme ve titreşim analizi yapılmıştır. Torna aynası 1500 d/dk ile dönerken kesici takımın iş parçasına teması sırasında oluşan tornalama kuvvetleri analize eklenmiştir. Oluşan gerilmeleri program von-Mises gerilmesine göre analiz etmiştir (Huame, 2016) Oluşan kuvvetlere göre kesici takımdan iş parçasına ve torna aynasına gelen yük direkt olarak fener milini etkilemektedir. Fener milinin rulman yataklamaları, mukavemetli bir yapıya sahip olduğu için Şekil 4.2' te görüldüğü gibi renk değişiminin fazla olmadığı görülmektedir. Torna aynasının dönmesinden kaynaklı oluşan momentlerin, iş parçası aracılığı ile torna taretine aktarılmasında oluşan gerilmeler programda analiz edilmiştir.

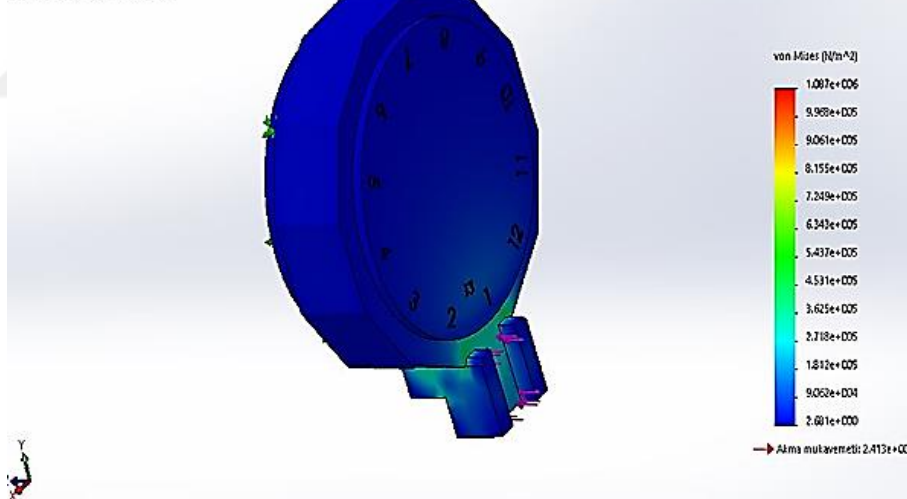
Şekil 4.3' te gösterildiği gibi taretin yüksek mukavemetli takım çeliğinden dolayı tornalama işleminde taret gerilmelerinin düşük olduğu görülmüştür.

Model adı: fener mili analiz
Etüt adı: stress(-Default)
Grafik tipi: Statik düğüm stress1
Deformasyon ölçeği: 132.815



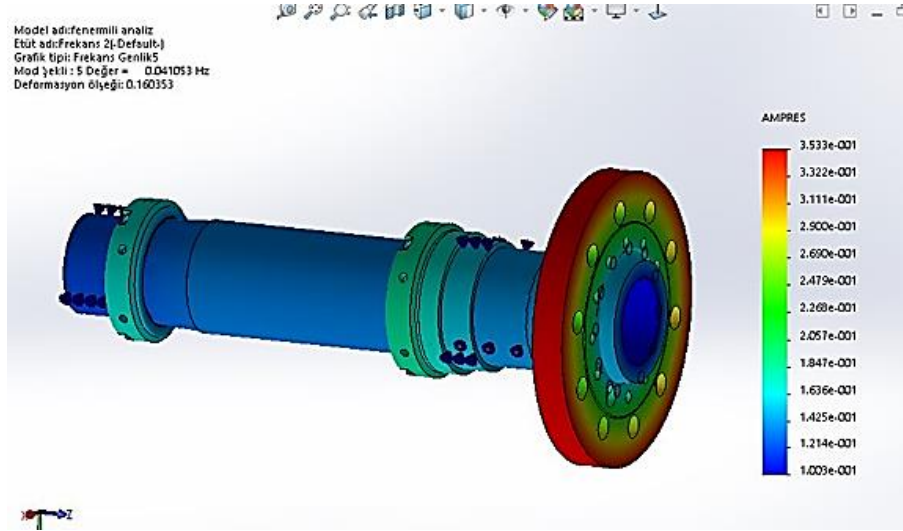
Şekil 4.2. Torna fener mili modelinin Von-Mises yöntemine göre gerilme analizi görünümü

Model adı: taret analiz çözümleri
Etüt adı: stress(-Varayılımları)
Grafik tipi: Statik düğüm stress1

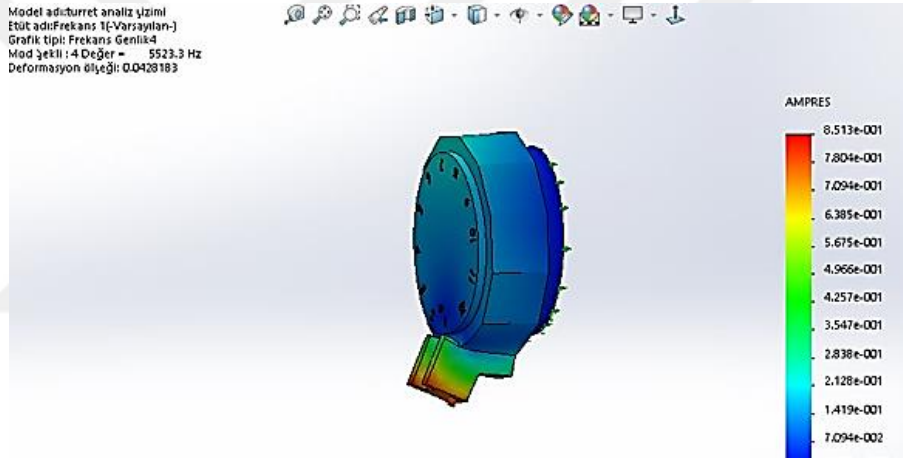


Şekil 4.3. Torna taret modeli için Von-Mises yöntemine göre gerilme analizi görünümü

Torna aynasının ve taretinin programda, parça işleme koşullarında modeli, titreşim analizi modunda analiz edilmiştir. Titreşimin torna aynasında, rulman yataklamalarından uzak noktalarda daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 4.4) Taret bölgesinde ise taretin orta merkezde sabitlendiği kısımlardan uzaklaştıkça titreşimin arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. Torna fener mili modelinin titreşim analizi görünümü



Şekil 4.5. Torna taret modelinin titreşim analizi görünümü

Tornalama işleminde, talaş kaldırırken kesici takım ve iş parçasının birbirine göre bağlı hareket etmesi esnasında kesici takımın ilerleme ekseninde anlık olarak (F_R) bir kuvvet meydana gelir. Bu kuvvete dik iki eksen üzerinde ise, kesici takımı tezgâhtan dışarı itmeye zorlayan (F_s) ve aşağı doğru bastıran esas kesme kuvveti (F_d) oluşmaktadır (Shahin, 2017) Ek olarak tornalamada dönmeden kaynaklı oluşan atalet kuvvetlerinin bileşkesi radyal kuvvet (F_r) bulunmaktadır. Bileşke kuvvetin hesaplanmasında Denklem 4.1 kullanılmıştır. Cad ortamında yapılan modelleme için genel olarak kabul görmüş F_d kuvveti hesaplanması Denklem 4.2’ de verilmiştir. Denklem 4.2’de verilen P_m değeri, tezgâh gücünü kilovat cinsinden göstermekte. V değeri ise kesme hızını m/dk. Cinsinden temsil etmektedir. Bu değer kesici takım kataloğundan seçilir. Tornalama

işlemlerinde kesme kuvveti bileşenleri arasındaki ilişki genel olarak Eş. 4.3' deki gibidir.

$$F_R = \sqrt{F_d^2 + F_s^2 + F_r^2} \quad (4.1)$$

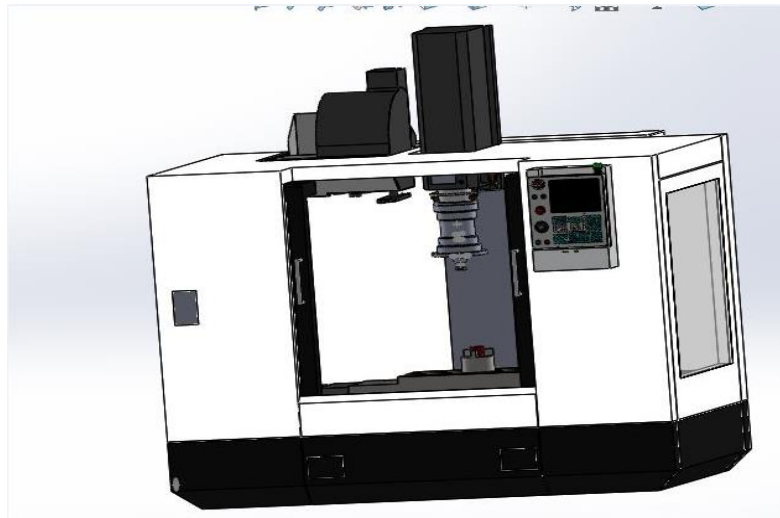
$$F_d = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot P_m}{V} \quad (4.2)$$

$$F_r = 0.4 F_d = 0.2 F_s \quad (4.3)$$

4.3 CNC Freze Tezgâhı Modellenmesi

Frezeleme işlemini tornalama işleminden ayıran en belirgin ve en büyük farkı, iş parçası sabitken, kesici takım belirli bir devir de moment oluşturarak dönmektedir. Oluşan moment ile birlikte kesici takımın iş parçasına teması esnasında tornalama işleminde olduğu gibi ortaya gerilmeler, titreşim ve yüksek derecede (300° C- 900° C) sıcaklıklar oluşur. Bu şartlar doğrultusunda titreşimi daha detaylı ölçmek ve daha hassas değerler almak için torna tezgâhında olduğu gibi freze tezgâhında da Solidworks programında kullanıla CNC tezgâhı modellenmiştir. Daha sonra freze tezgâhının fener mili(spindle), tablası için ayrı ayrı gerilme ve titreşim analizi yapılmıştır.

CNC freze tezgâhının gövde kısmı, tabla ve fener mili (spindle) kısmı belirtilen CAD programında, titreşim ve gerilme analizlerinin yapılması amacıyla Şekil 4.6'daki gibi modellenmiştir.

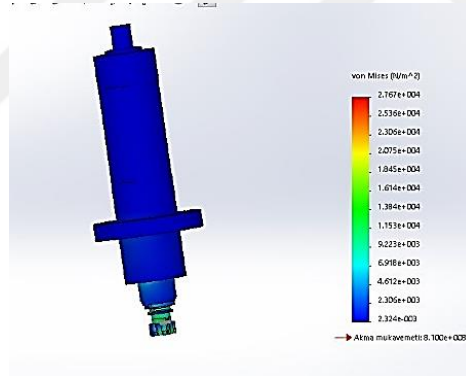


Şekil 4.6. CNC freze tezgâhının CAD ortamında modellenmesi

4.3.1 CNC freze tezgâhının CAD ortamında modellenerek gerilme ve titreşim analizi

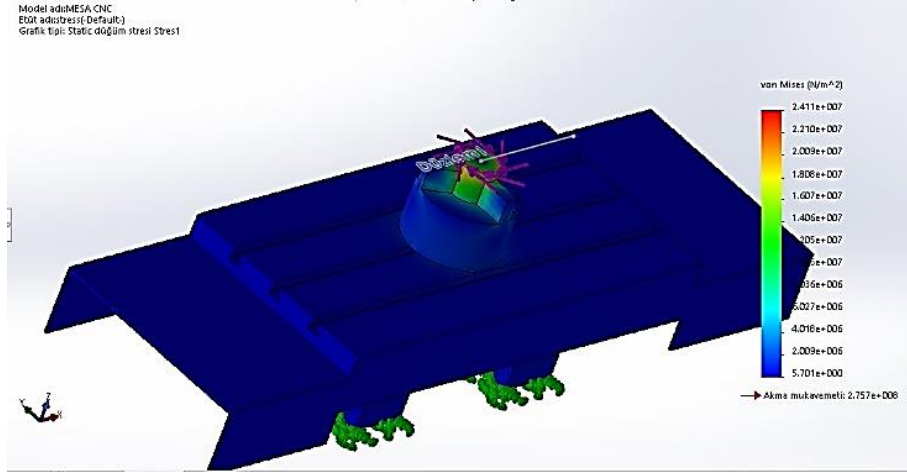
Frezeleme işleminde, fener milinde bağlı bulunan çapı 63 mm gelen ve 5 ağızlı apkt1608 kesici takımını bağlı bulunmaktadır. Bu takım 1500 d/dk sabit dönme hızında oluşturduğu kuvvetler Solidworks simüle programına tanımlanmış ve modele eklenmiştir.

Freze tezgâhı fener mili 1500 d/dk dönerken kesici takımın iş parçası teması anında oluşacak gerilmeler temsili renk değişimleri gösterilmiştir. Renk değişimleri kırmızı renkte maksimumu mavi renkte ise minimumu göstermektedir (Şekil 4.7). Oluşan renk değişimleri düşük olmakla birlikte tezgâh sisteminin mukavemetli bir yapıda olduğunu göstermektedir.



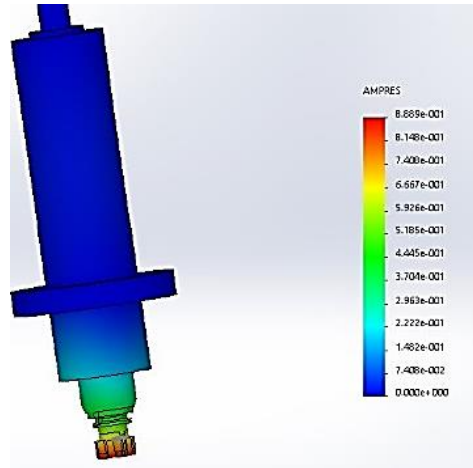
Şekil 4.7. Freze tezgâhı fener mili modelinin von-Mises yöntemine göre gerilme analizi görünümü

Kesici takımın iş parçasına teması anında oluşan kesme ve kayma gerilmeleri, fener mili kısmında bulunan kesici uçlarda maksimum seviyede olup, kesici takımdan uzaklaştıkça fener mili rulman yataklamalarına doğru azalmaktadır. İş parçasının bulunduğu tezgâh tablasında da temas anında iş parçasında gerilmeler maksimum seviyede olup, iş parçasından uzaklaştıkça gerilmelerin azaldığı görülmektedir. (Şekil 4.8)



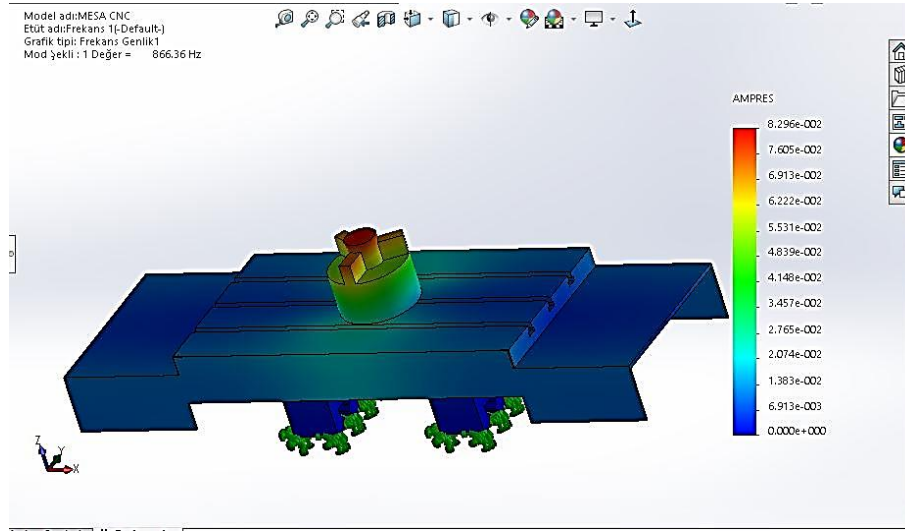
Şekil 4.8. Freze tezgâhı tabla modelinin von-Mises yöntemine göre gerilme analizi görünümü

Oluşan titreşim analizi, torna tezgâhında olduğu gibi programın titreşim analizi komutunda yapılmıştır. Fener miline bağlı olan kesici takımında en yüksek seviyede oluşan titreşim fener mili rulman yataklarına doğru gittikçe azalmaktadır. Renk değişimi ise kırmızı bölgelerde maksimum seviyede kesici takımdan uzaklaştıkça mavi bölgelerde minimum olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Freze, fener mili modelinin titreşim analizi görünümü

Tabla kısmında ise titreşim iş parçasında maksimum seviyede, iş parçasından uzaklaştıkça minimum seviyede olduğu gözlemlenmektedir. (Şekil 4.10)



Şekil 4.10. Freze, tabla modelinin titreşim analizi görünümü

Frezeleme işleminde tipik bir kesme (işleme) kuvveti hesaplamasında oluşacak kuvvetler belirlenmiştir. Oluşacak kuvvetlerin formülü Denklem 4.4' te gösterilmiştir. Z ekseninde oluşacak kuvvetler yüzey frezeleme işlemi olduğu için, yani kesme hareketinin x - y eksenlerinde gerçekleşmesinden dolayı z ekseninde oluşacak kuvvetler dikkate alınmamıştır. Kesme kuvvetinin (y yönündeki) karesinin (F_f) normal kesme kuvvetinin (x yönündeki) karesinin (F_{fN}) toplamının karekökü mevcut kesme kuvvetini (F_a) vermektedir.

$$F_R = \sqrt{F_f^2 + F_{fN}^2} \quad (4.4)$$

BÖLÜM V

TİTREŞİM ÖLÇÜM DENEYİ

5.1 CNC Torna Tezgâhı Titreşim Ölçüm Deneyi

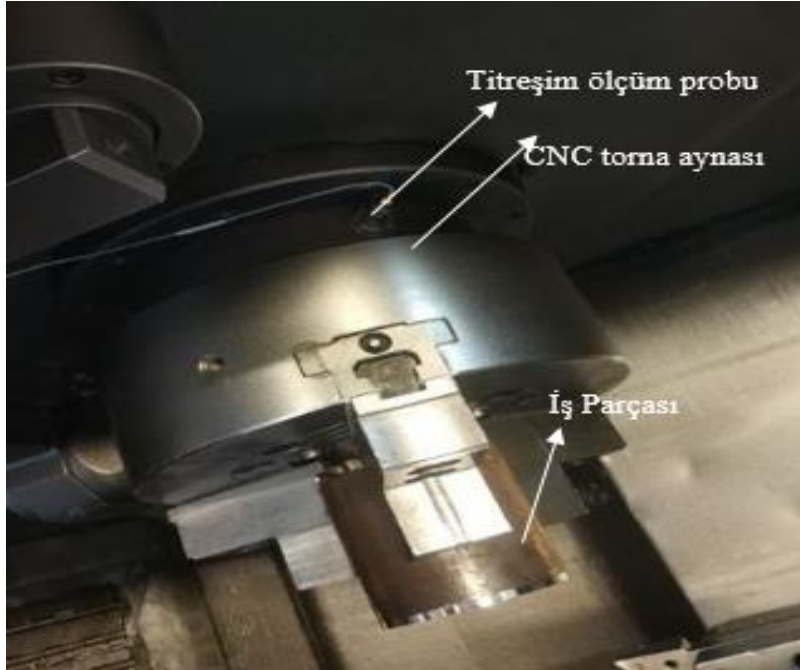
CNC torna tezgâhında titreşim ölçümü Fotoğraf 5.1' deki gibidir. Torna aynası ve fener mili arasındaki bağlantıyı sağlayan filanca Fotoğraf 5.2' deki gibi sabitlendi. Ayrıca talaş kaldırma işlemini gerçekleştiren takımın bağlı olduğu taretteki köprüden de Fotoğraf 5,3'deki gibi ölçüm yapıldı. CNC torna tezgâhında ölçüm yapılırken Çizelge 5.1' deki parametreler kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Torna tezgâhı deney parametreleri

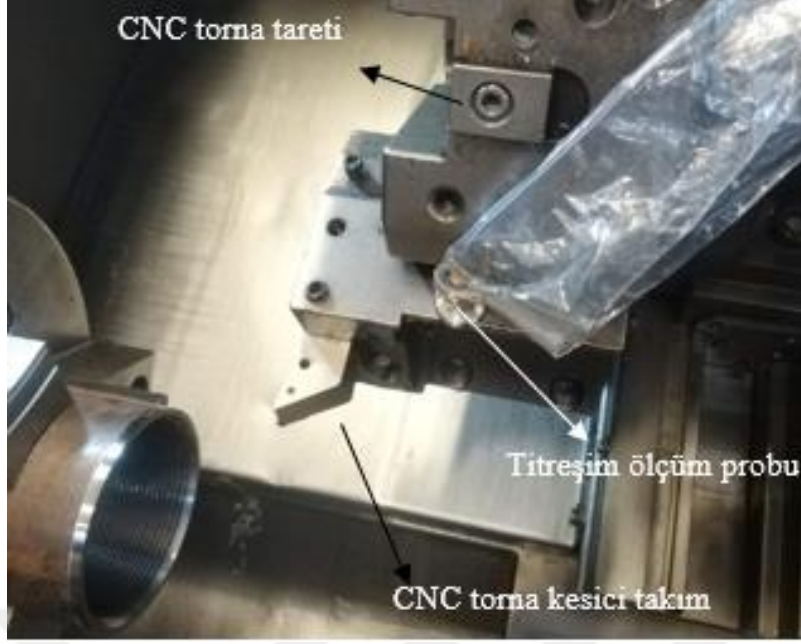
Devir sayısı (n)	1500d/dk
Paso derinliği (h)	0.5 mm,**
Takım ilerleme hızı (F)	0.15 m/dk
Soğutma yöntemi	Hava
Tornalama yöntemi	Silindirik dış çap
Kesme metodu	Ortogonal kesme
Tezgâh gücü (P_m)	22 KW



Fotoğraf 5.1. CNC torna tezgâhı titreşim ölçüm deney düzeneği görünümü

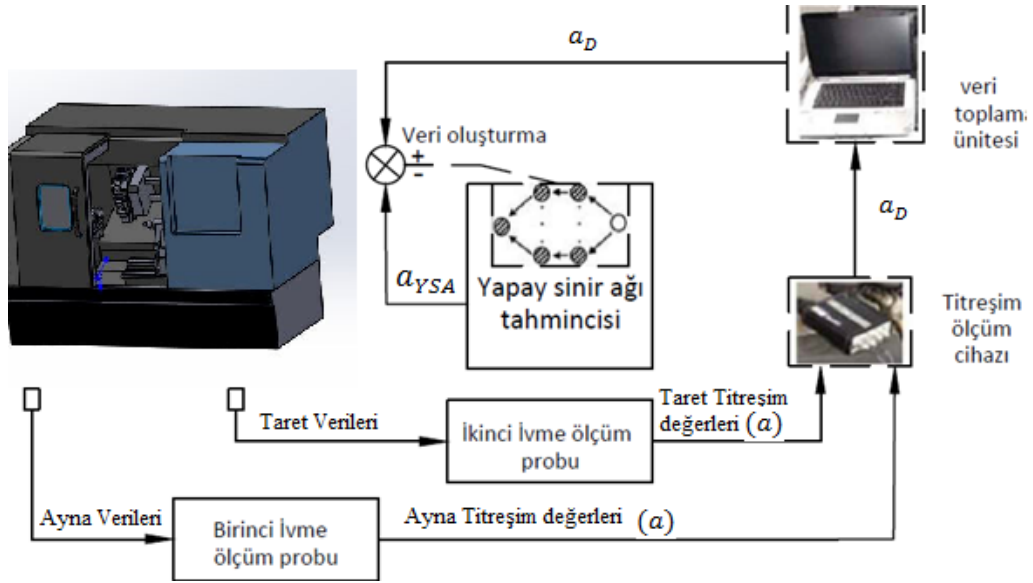


Fotoğraf 5.2. CNC torna tezgâhı fener mili titreşim ölçüm noktası görünümü



Fotoğraf 5.3. CNC torna tezgâhı fener mili titreşim ölçüm noktası görünümü

Deneysel Yaklaşım: Deney düzeneği blok diyagramı; CNC torna tezgâhı, veri toplamak için bilgisayar, verileri zamana bağlı olarak yer değişimini ölçen iki adet akıllı veri toplama ünitesi ve ivmeölçerden oluşmaktadır. (Şekil 5.1) Blok diyagramında da görüldüğü gibi deneyden elde edilen ölçüm verileri teorik bir programda yapay sinir ağları kısmında kullanılarak analiz edildi.



Şekil 5.1. Deneysel ve simülasyon analizlerinin blok diyagramı

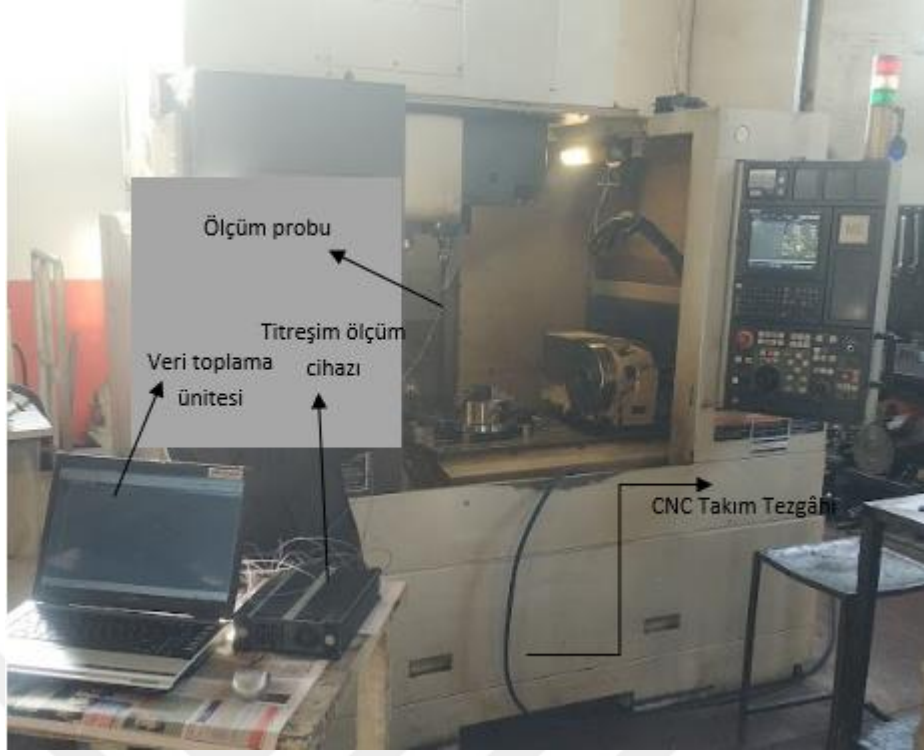
5.2 CNC Freze (Dikey İşleme Merkezi) Tezgâhı Titreşim Ölçüm Deneyi

Cnc dikey işleme merkezi tezgâhında titreşim ölçümü deney düzeneği, z eksenine bağlı olan fener milini (spindle) , x ve y eksenlerine bağlı olan tezgâh tablasını kapsamaktadır. Bruel&Kjaer titreşim ölçüm cihazın da ölçüm yapabilmek için 2 adet ölçüm probu kullanılmıştır. Birinci prob, fener mili kısmında kesici takımın hemen yukarısındaki fener mili gövdesine bağlanmıştır. (Fotoğraf 5.4) İkinci prob ise tablanın kanallarına bağlı olan iş parçası bağlama aparatının gövdesine monte edilmiştir. (Fotoğraf 5.5) İş parçası, Çizelge 5.2’ de verilen koşullarda işlenildi.

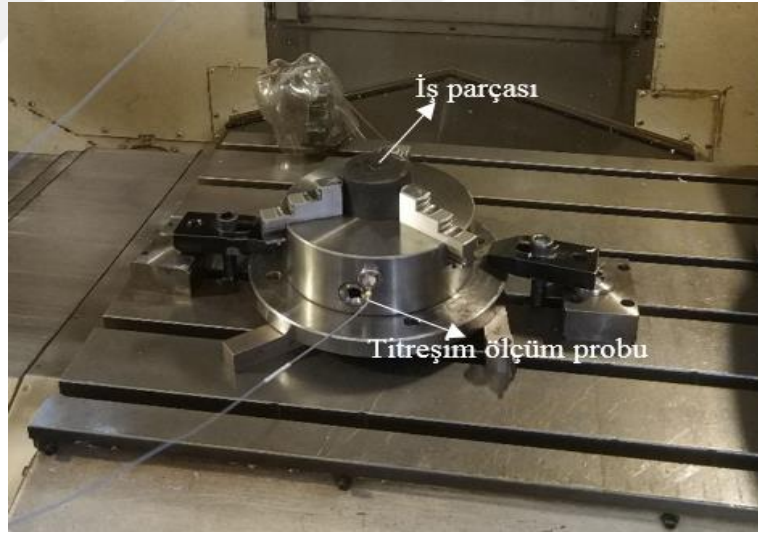
Çizelge 5.2. Cnc freze tezgâhı deney parametreleri

Devir sayısı (n)	1500d/dk
Paso derinliği (h)	0.5 mm,**
Takım ilerleme hızı (F)	100 mm/dk
Soğutma yöntemi	Hava
Frezeleme yöntemi	Yüzey frezeleme
Kesme metodu	Tırmanarak
Tezgâh gücü (P_m)	15 KW

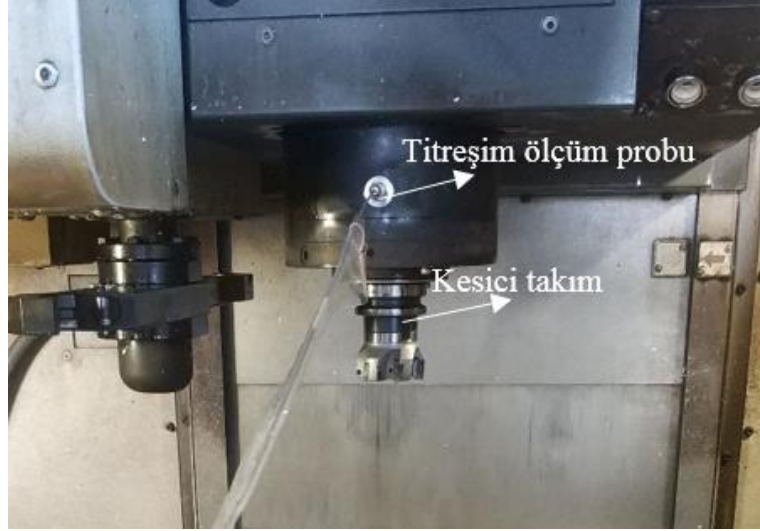
Deneyde titreşimin daha net algılanabilmesi için, paso (talaş kaldırma) derinliği hariç bütün parametreler aynı tutulmuştur.



Fotoğraf 5.4. CNC freze tezgâhi titreşim ölçüm deney düzeneği görünümü

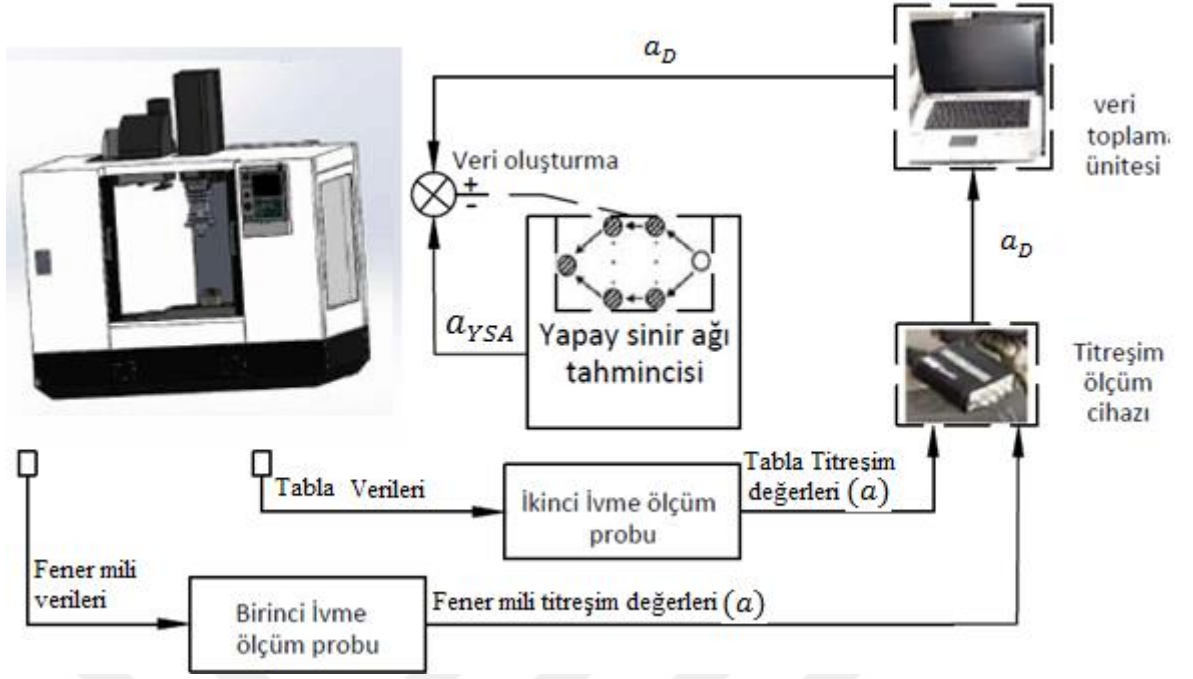


Fotoğraf 5.5. CNC freze iş parçası bağlama aparatı titreşim ölçüm noktası görünümü



Fotoğraf 5.6. CNC freze fener mili titreşim ölçüm noktası görünümü

Torna ve freze tezgâhı arasında ki temel fark freze tezgâhında iş parçasının sabit olması, talaş kaldırma işlemini yapan kesici takımın belirli bir devirde dönmesidir. Ayrıca torna tezgâhının fener mili büyük boyutlardadır. Buna bağlı olarak fener mili rulmanları adetli ve büyüklükleri freze tezgâhının fener mili rulmanlarına göre daha fazladır. Bu sebeplerden dolayı torna tezgâhının fener mili ağırlığı, freze tezgâhına göre oldukça fazladır. Bu durum dönme esnasında yüksek bir momentum oluşturacağından oluşan titreşim oranları torna tezgâhı fener milinde titreşim, talaş kaldırma esnasında freze tezgâhınıninkine göre daha büyük ivmelerde olduğu görülmüştür. Deneysel yaklaşım: Deney düzeneği cnc torna tezgâhıyla aynı metotları içermektedir. (Şekil 5.2) Oluşturulan blok diyagramında tek fark ölçüm yapılan tezgâh çeşidinin farklı olmasından kaynaklıdır.



Şekil 5.2. Deneysel ve simülasyon yaklaşımlarının blok diyagramı

5.3 Deneysel ve Simülasyon Yaklaşımlarının Fiziksel Özellikleri

Cnc torna tezgâhında dış çap tornalama işleminde, dış çapı 76mm gelen S235JR (St37) yapı çeliği kullanılmıştır. Cnc freze tezgâhında yüzey frezeleme işleminde dış çapı 50 mm gelen SAE4140 (42CrMo4) ıslah çeliği kullanılmıştır. Deneysel ve simülasyon yaklaşımlarının mekanik analizleri Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deneysel ve simülasyon yaklaşımlarında kullanılan çeliklerin Mekanik özellikleri

Çelik	Çekme mukavemeti(N/mm ²)	Akma dayanımı (N/mm ²)
S235JR	420	225
42CrMo4	1000	650

St-37 çelikleri, DIN 17100 standardına göre 37 kgf/mm² çekme dayanımına sahip olan çeliklerdir. Bu çelikler çelik yapı uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar. Başındaki "St" ifadesi Almanca çelik anlamındaki "stahl" kelimesinden kısaltılmıştır. İçerisinde çok az oranlarda oksijen, silisyum, azot, fosfor ve mangan gibi elementleri bulunduran alaşımlardır. Çeliklerin mekanik özellikleri üretim sırasında gösterilen özene ve içerisinde bulunan karbon miktarına göre değişir. Son dönemlerde demir çelik

endüstrisinde üretilen çeliklerin çoğunluğu alaşımsız çeliklerdir. Alaşımsız çelikler kolay şekillendirilebilir ve ucuzdurlar. Bu çeliklerin sertleşme yetenekleri oldukça zayıftır. Sertleştirme işleminden sonra parçalarda çarpılma, iç gerilme ve çatlama gibi hatalar meydana gelebilir. Her parçada sertleştirme işlemi yapılamaz. Kalın kesitli parçalar ince kesitli parçalar gibi istenilen düzeyde sertleştirilemezler (Çalığülü vd., 2018). Yapılarında bulunan karbon oranına göre çelikler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- Alaşımsız (Sade karbonlu) çelikler,
- Düşük karbonlu çelikler (%0,05-0,3 C),
- Orta karbonlu çelikler (%0,3-0,8 C),
- Yüksek karbonlu çelikler (%0,8-1,7 C)

Karbon oranı düşük olan çelikler sertleştirilemezler ama bu çeliklerin uygun yöntemlerle yüzeylerinin sertleştirilmesi muhtemeldir. Orta karbonlu çelikler ısı işlemlere oldukça duyarlıdır. Dirençleri düşük karbonlu çeliklere göre daha iyidir, daha sert ve dayanıklıdır. Süneklikleri ise düşük karbonlu çeliklere yakın ve hatta onlara oranla daha azdır (Yıldırım, 2001). Bu çelikler sanayi sektöründe, iş makineleri imalatında, köprü ve demiryollarında, kara ve demir yolu araçları imalatında, zemin altyapı projelerinde, depolama tanklarında, gemi yapımında, denizde yapılan dalgakıranlarda, konteyner imalatı gibi alanlarda kullanılmaktadırlar.

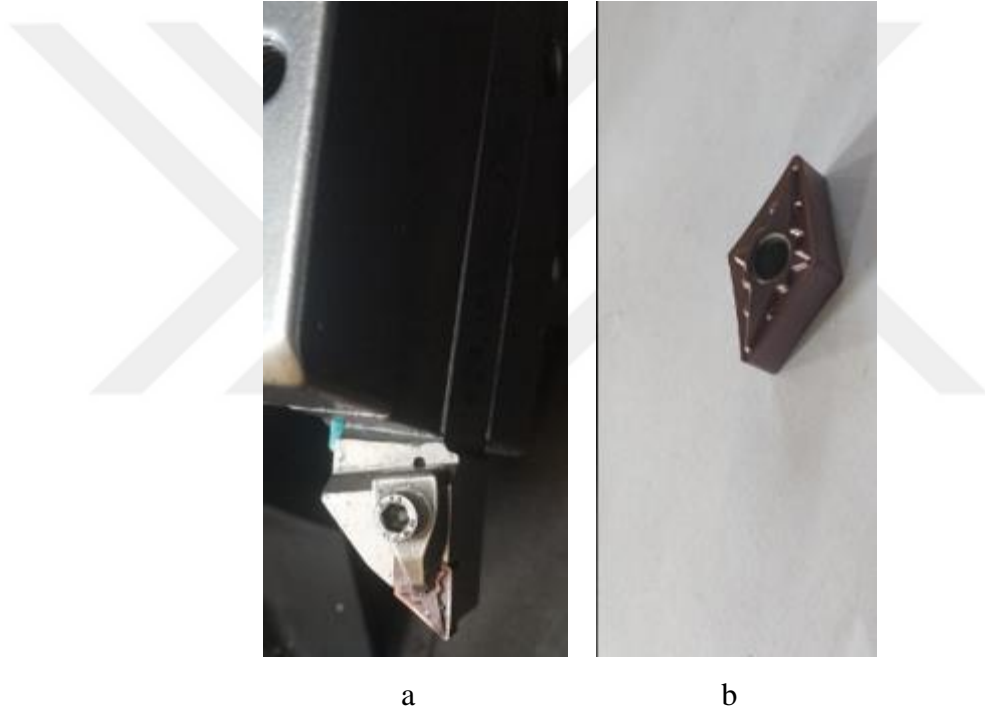
AISI/SAE 4140 çeliği, düşük alaşımlı Cr-Mo4 ıslah çeliklerinin en yaygın kullanılanıdır. Orta derecede sertleşebilir, dayanım ve tokluğu ise daha iyidir, fakat çalışma ortamlarındaki performansı normal değerlerdedir. Isıl işlem uygulanarak çekme dayanımları 1650 MPa seviyesine kadar çıkabilir.

Bu çelikler için tipik uygulamalardan; destek plakaları, dolgu blokları, punç tutucular, taban plakaları kelepçeleri, ölçüm cihazları, kalıplar, fikstür takım tutucular, yüksek mukavemetli parçalar, otomobil ve uçak parçalarında, krank mili, aks mili ve kovana gibi sünekliği yüksek parçalar, kalıplar, bükme kalıpları, destek takımları, kalıp tutucuları, dişliler, flanşlar, pens, debriyaj parçaları, Şekillendirme rulo, anahtarları ve diğer el aletleri, çeşitli makine bileşenleri içerir. Ayrıca, soğuk çekme mil ve çubukları,

makine çelikleri, yaylar, türbin motorları, turbo jeneratörlerin fren halka ve kolları, gemi zincir yapımında, demir yol tekerlekleri ve millerinde, değişik dişli gruplarında ve birçok uygulamada kullanılmaktadırlar (Dere, 2019)

5.4 Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar

Torna tezgâhında kullanılan aynada yumuşak ayak kullanılmıştır. Ayrıca palet kısmında ise elik döküm köprü ve dnmg kateri ve Teagutech marka dnmg 08 Karbür uç kullanılmıştır.(Teagutech, 2017)



Fotoğraf 5.7. PWLNR 2525M08 takım tutucu (a) ve WNMG kesici uç (b)



Fotoğraf 5.8. Torna tezgâhı taret takım tutucusu

Deneysel veriler sonucunda brüel&kjaer ölçüm cihazından alınan veriler aşağıdaki gibidir.

5.5 Titreşim Ölçüm Cihazı Sonuçları

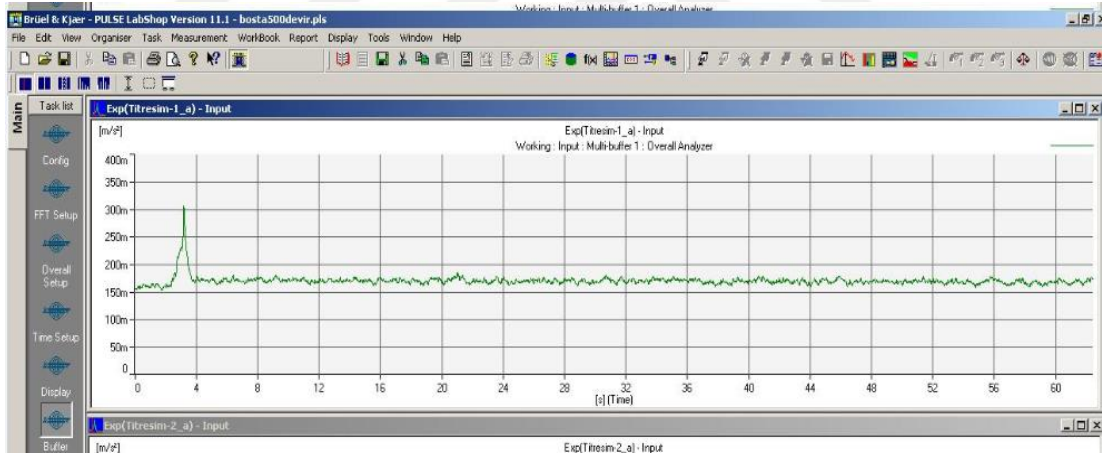
Deneysel veriler sonucunda Brüel& Kjaer ölçüm cihazından alınan veriler aşağıdaki gibidir.

5.5.1 Titreşim ölçüm cihazı torna tezgâhı analiz sonuçları

Bu deneyde CNC torna tezgâhında talaş kaldırma esnasından önce fener mili-ayna bağlantısı noktasında ve kesici takımın bağlı bulunduğu torna taretine veri toplama

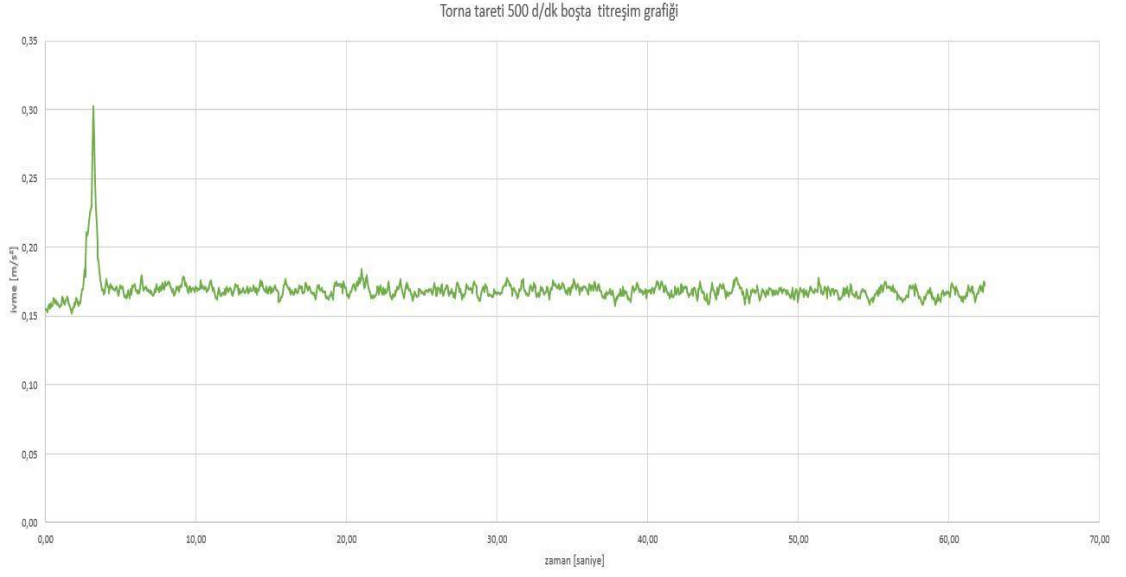
üniteleri monte edildi. Daha sonra Brüel& Kjaer cihazına ölçüm talimatı ve CNC tornaya talaş kaldırma işlemi aynı anda başlatıldı. Ölçümler 0.5 mm ve boşta (0 mm) olmak üzere Çizelge 5.1' de ki şartlarda fener mili ölçüm gerçekleştirildi. 60 saniye boyunca ortalama 0.03 saniyelik zaman aralıklarında zamana bağlı yer değiştirme (ivme) mesafelerini kapsamaktadır. Brüel& Kjaer titreşim cihazında ivme cinsinden, 2243 adet farklı değer elde edildi. Cihazdan elde edilen ivme ve zaman verilerinden, öncelikle tezgâhın boşta (paso derinliği olmadan) fener mili ve taret kısmı olmak üzere 2 adet ivme-zaman grafikleri oluşturuldu. Daha sonra cihaz verilerine göre 0,5 mm paso derinliğinde ki analizler yapıldı.

Paso derinliği olmaksızın 500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından 2243 adet veri alındı. Cihazın uygulamasında bulunan Pulse Labshop grafiğinde eğri oluşturuldu. Şekil 5.3' deki eğride görüldüğü gibi 3,4 saniyede taret eğrisi pik seviyeye ulaşmıştır. Torna fener milinin kendi eksenini etrafında dönmesinden kaynaklı oluşan savrulma momentini, tezgah taretine etki etmiştir.



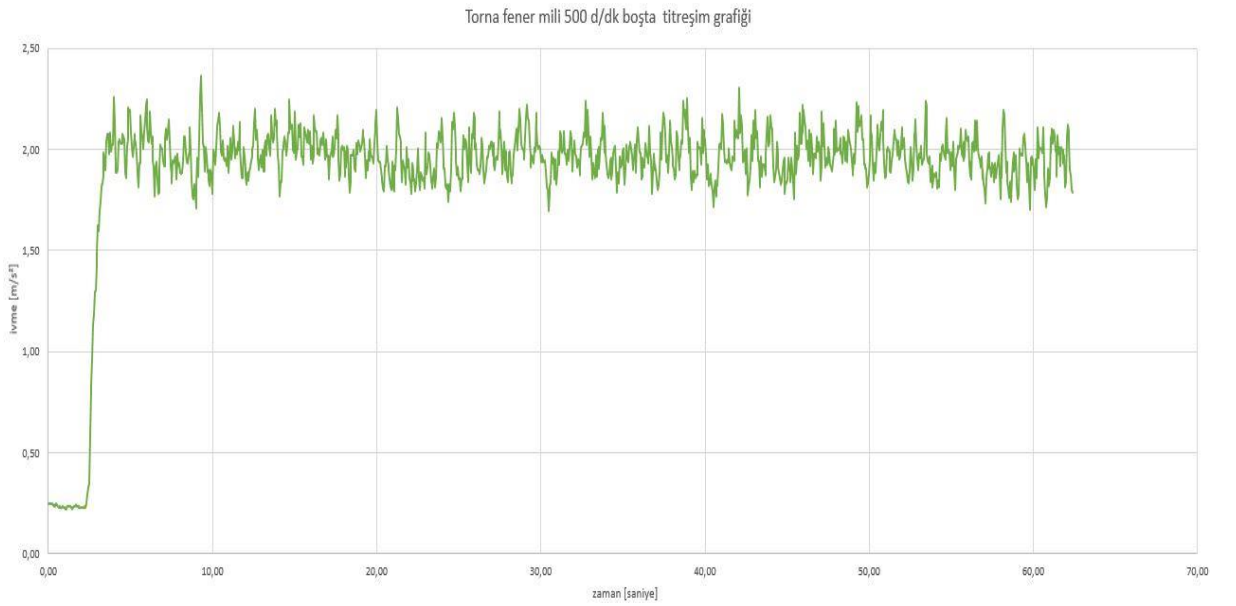
Şekil 5.3. Brüel& Kjaer ölçüm cihazı titreşim 500 devir boşta taret eğrisi

Paso derinliği olmaksızın 500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2243 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu Şekil 5.4 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



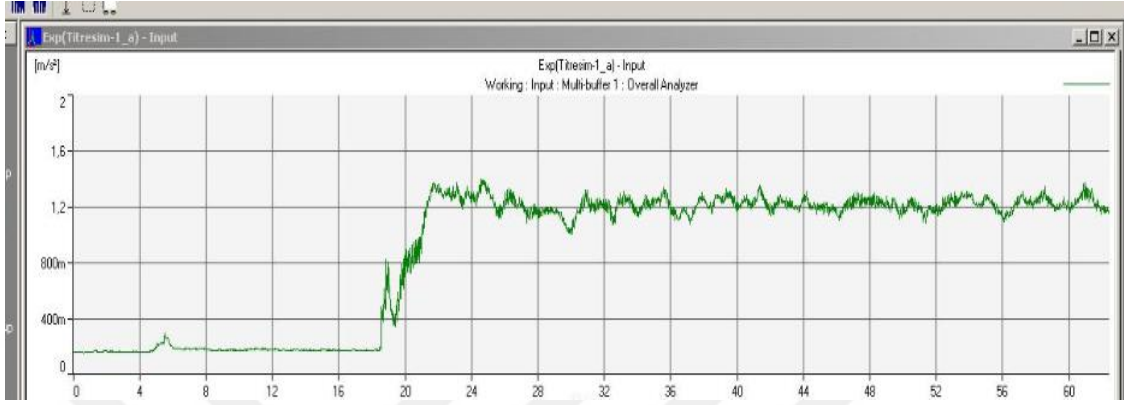
Şekil 5.4. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir boşta taret titreşim değışim eğrisi

Paso derinliği olmaksızın 500 d/dk yapılan fener mili analizinde Bruel& Kjaer cihazından 2243 adet veri alındı. Veriler eğri oluşturma programına aktarıldı. Şekil 5.5’ de görüldüğü gibi Fener mili aynasının en yüksek devire ulaştığı anda, yaklaşık 2. saniyede, 2 m/s² ulaştığı gözlemlenmiştir. Birinci ivme ölçüm probu fener mili flanşı atalet momentinden en çok etkilenen makine elemanıdır.



Şekil 5.5. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir boşta ayna titreşim değışim eğrisi

0.5 Paso kaldırma işlemindeki deneyde, talaşa girme 20. Saniyede başlamıştır. Atalet momentleri, iş parçası ve kesici takım temasından kaynaklı titreşim ölçüm değerleri paso derinliği olmadan yapılan deneye göre yüksek seviyededir. Şekil 5.6' deki eğride görüldüğü gibi 20. Saniyeden sonra pik seviyeye ulaşmaktadır.



Şekil 5.6. Cihazın 0.5 mm talaş kaldırma işleminde oluşturduğu taret titreşim değişim eğrisi

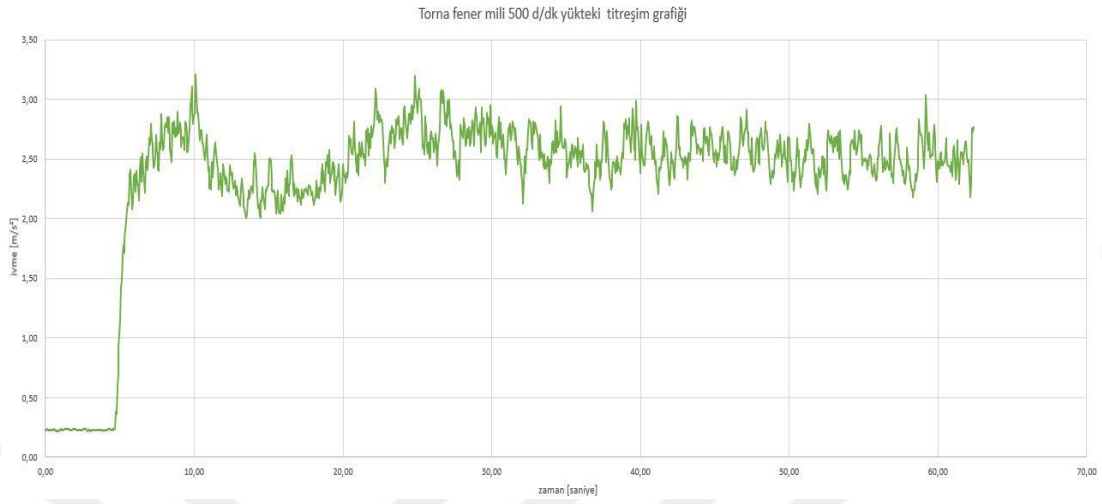
0.5 mm paso derinliğinde 500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2243 adet veri grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu Şekil 5.7 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.7. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde titreşim değişim eğrisi

0.5 mm paso kaldırma işlemindeki deneyde, fener mili grafiği şekil 5.8' deki gibidir. Titreşim değerleri bu analizde 3 m/s² değerlerine ulaşmıştır. Bu durumun sebebi

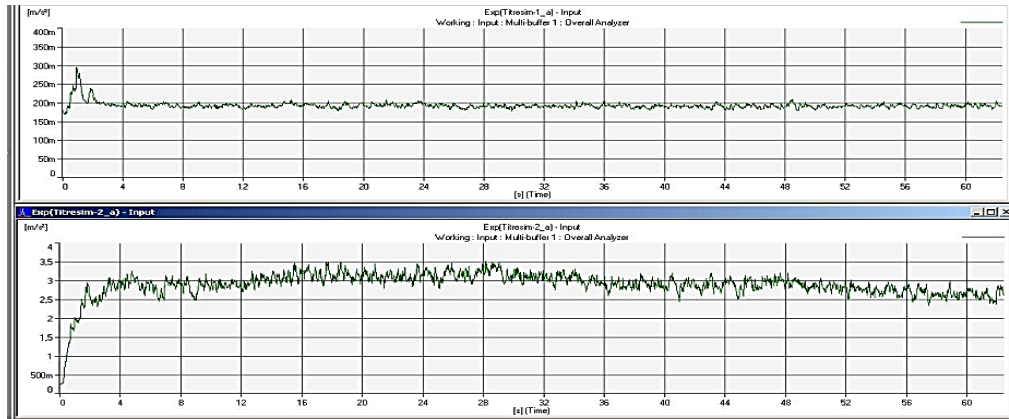
ise kendi eksenini etrafındaki dönmeden, iş parçası ve kesici takımın temasından kaynaklıdır.



Şekil 5.8. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500d/dk 0.5 mm talaş kaldırma işleminde ayna titreşim değişim eğrisi

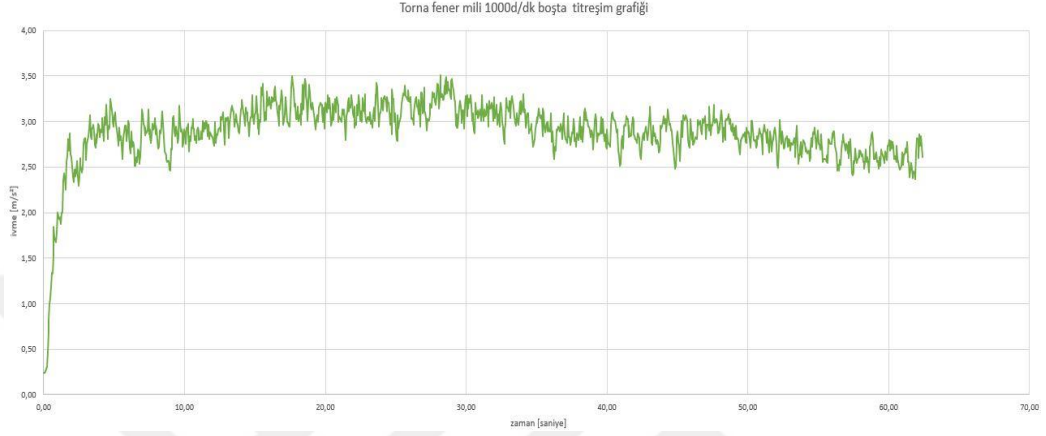
Paso derinliği olmaksızın 1000 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından 2243 adet veri alındı. Cihazın uygulamasında bulunan Pulse Labshop grafiğinde eğri oluşturuldu. İlk grafikte Şekil 5.9' daki egride görüldüğü gibi 1,3 saniyede taret eğrisi pik seviyeye ulaşmıştır.

İkinci grafikte ise cihazın ayna eğrisi gösterilmiştir. 500 d/dk' de gerçekleşen deney göre oluşan dairesel hız 1000 d/dk de daha fazla olduğu için atalet momenti daha yüksektir. Buna bağlı olarak ivme değeri 3,5 m/s² değerine ulaşmıştır.



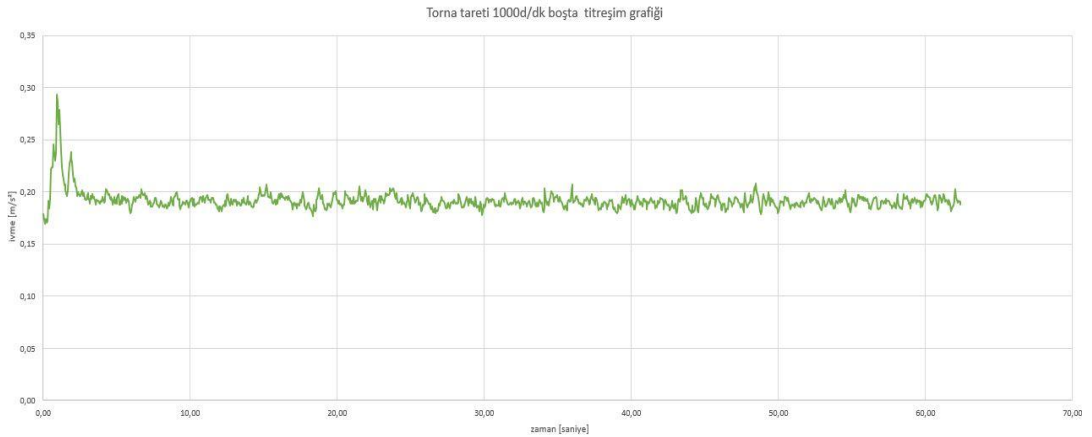
Şekil 5.9. Cihazın 1000 d/dk boşta oluşturduğu titreşim eğrisi

Paso derinliği olmaksızın 1000 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2243 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu ayna titreşim eğrisi Şekil 5.10 daki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.10. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir boşta dönme işleminde ayna titreşim değişimi

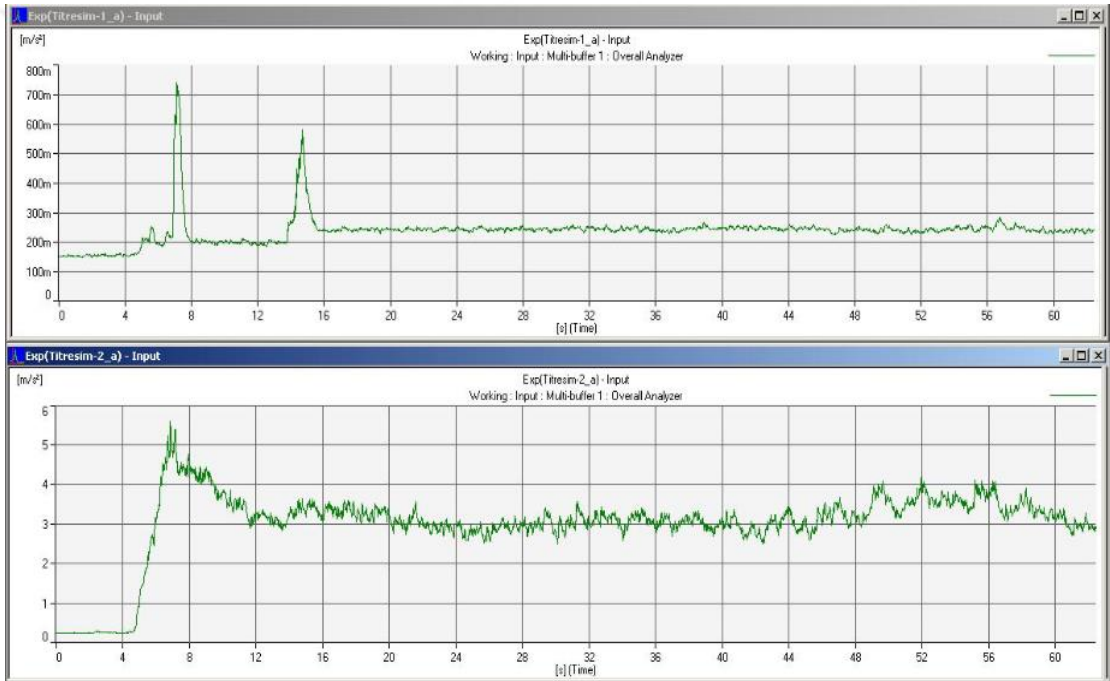
Paso derinliği olmaksızın 1000 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2243 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin titreşim eğrisi Şekil 5.11 daki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.11. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir boşta dönme işleminde taret titreşim değişim eğrisi

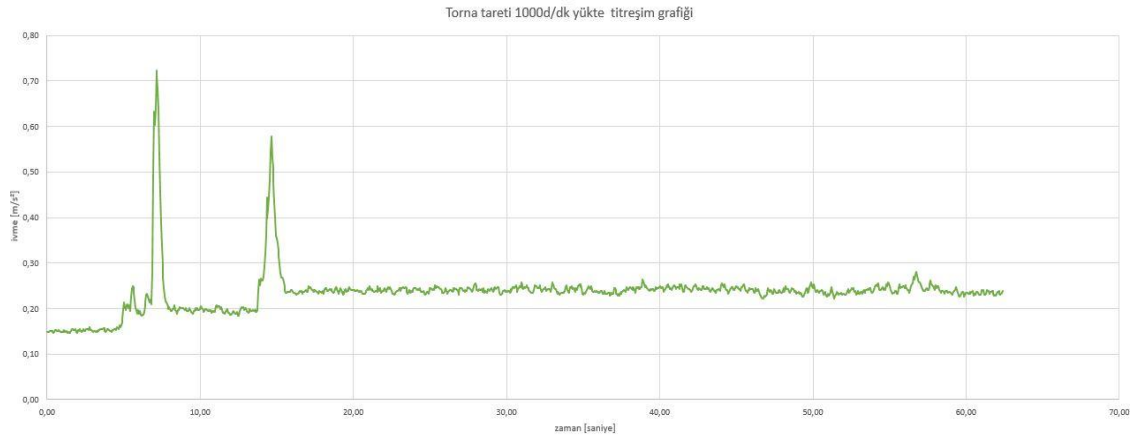
0.5 mm paso derinliğinde 1000 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından 2243 adet veri alındı. Cihazın uygulamasında bulunan Pulse Labshop grafiğinde eğri oluşturuldu. İlk grafikte Şekil 5.12' daki egride görüldüğü gibi 7. saniyede taret eğrisi pik seviyeye ulaşmıştır. Kesici takımın iş parçasına temas ettiği an 7. saniyedir. 15. Saniyede gerçekleşen 2. Pik seviyesinin sebebi çelik talaşının kesici takım ve iş parçası arasında sıkışmasıdır.

İkinci grafikte ise cihazın ayna eğrisi gösterilmiştir. Paso derinliği olmaksızın 1000 d/dk gerçekleşen deneye göre, daha fazla ivme değerlerinin oluşmasının sebebi iş parçası ve kesici takımın temasından kaynaklıdır.



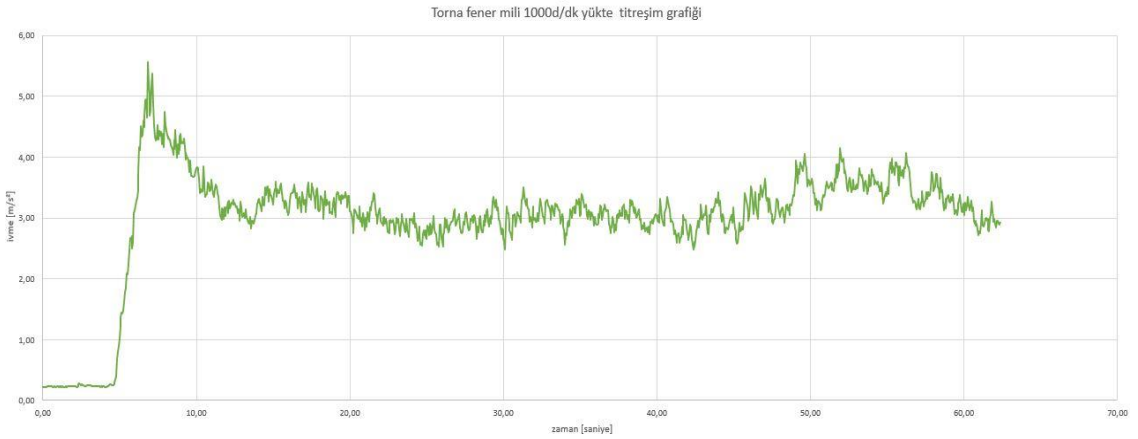
Şekil 5.12. Cihazın 1000 devir 0.5mm talaş kaldırma işleminde oluşturduğu titreşim eğrisi

0.5 mm paso derinliğinde 1000 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2243 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu taret titreşim eğrisi Şekil 5.13 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.13. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde taret titreşim değişim eğrisi

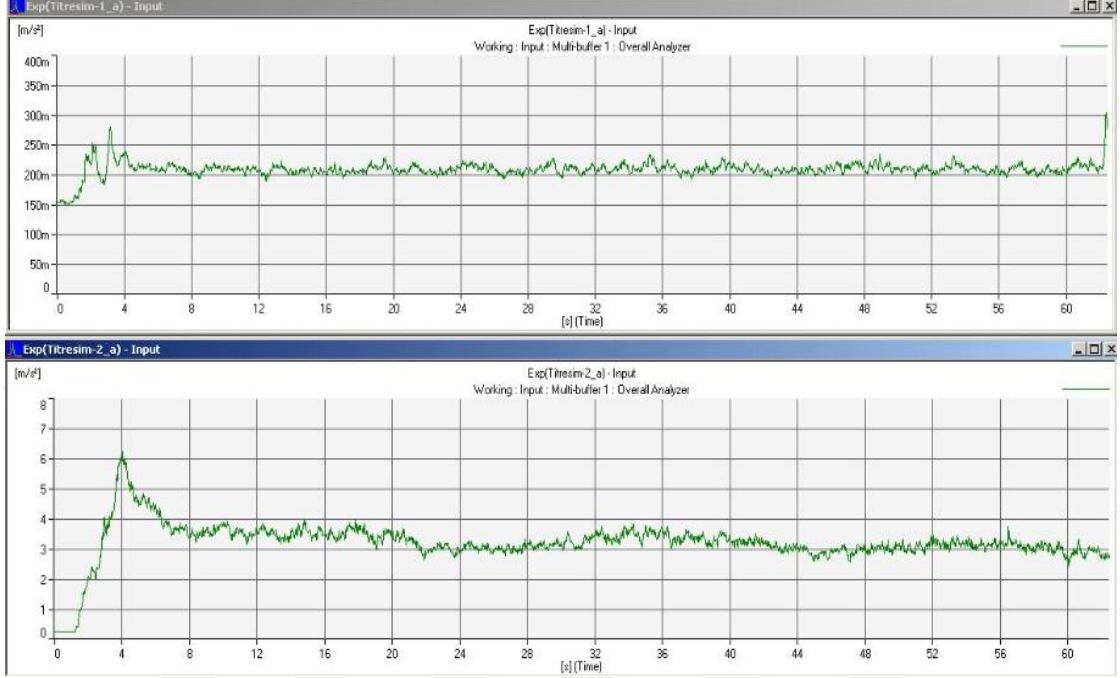
0.5 mm paso derinliğinde 1000 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2243 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu taret titreşim eğrisi Şekil 5.14 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.14. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde ayna titreşim değişim eğrisi

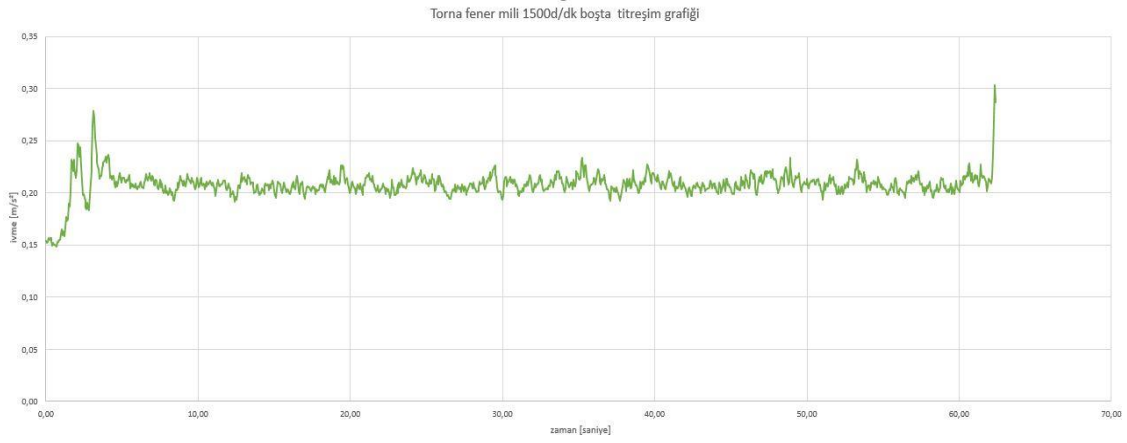
Paso derinliği olmaksızın 1500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından 2243 adet veri alındı. Cihazın uygulamasında bulunan Pulse Labshop grafiğinde eğri oluşturuldu. İlk grafikte Şekil 5.15' deki egride görüldüğü gibi 60. saniyede taret eğrisi pik seviyeye ulaşmasının sebebi; diğer devirlere göre 1500 d/dk de oluşan atalet momenti ve ivme aniden kesilmekte ve tezgah gövdesi, ters yönde büyük tepki kuvveti oluşturmasıdır.

İkinci grafikte ise cihazın ayna eğrisi gösterilmiştir. Paso derinliği olmaksızın 1500 d/dk gerçekleşen analizde diğer analizlere göre daha fazla ivme değerlerinin oluşmasının sebebi ise dönme hızının daha fazla olmasıdır.



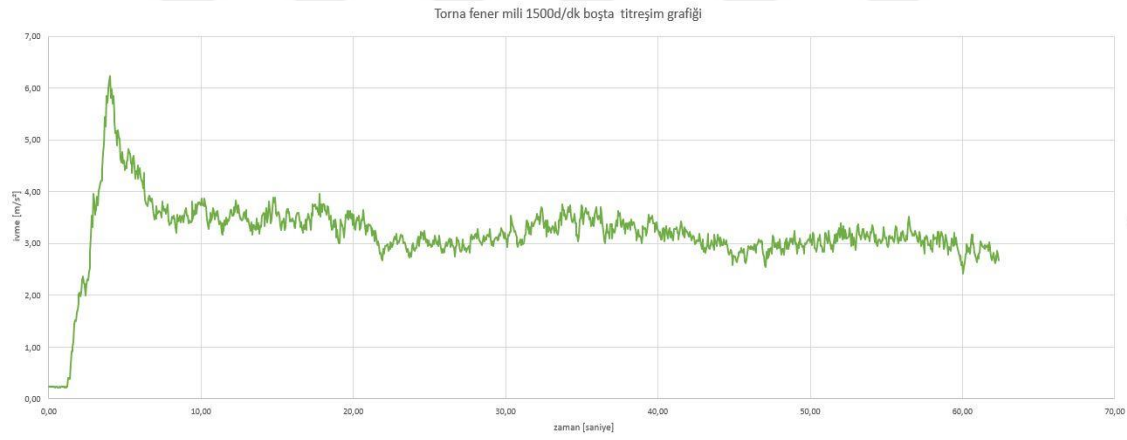
Şekil 5.15. Cihazın 1500 devir boşa oluşturduğu titreşim eğrisi

Paso derinliği olmaksızın 1500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2243 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu taret titreşim eğrisi Şekil 5.16 daki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.16. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir boşta dönme işleminde taret titreşim değişim eğrisi

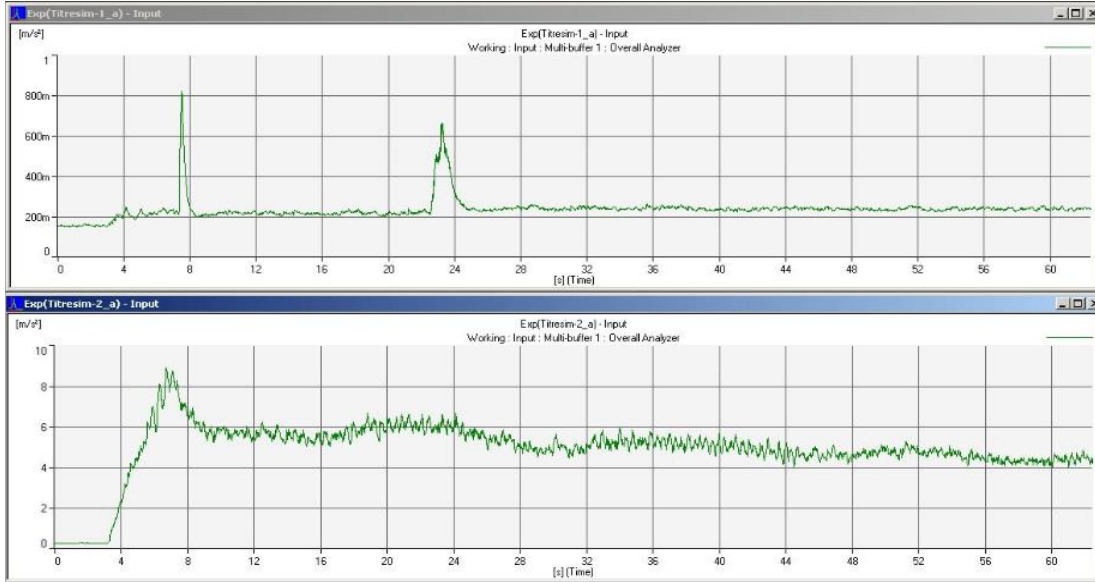
Paso derinliği olmaksızın 1500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2243 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu ayna titreşim eğrisi Şekil 5.17 daki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.17. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir boşta dönme işleminde ayna titreşim değişim eğrisi

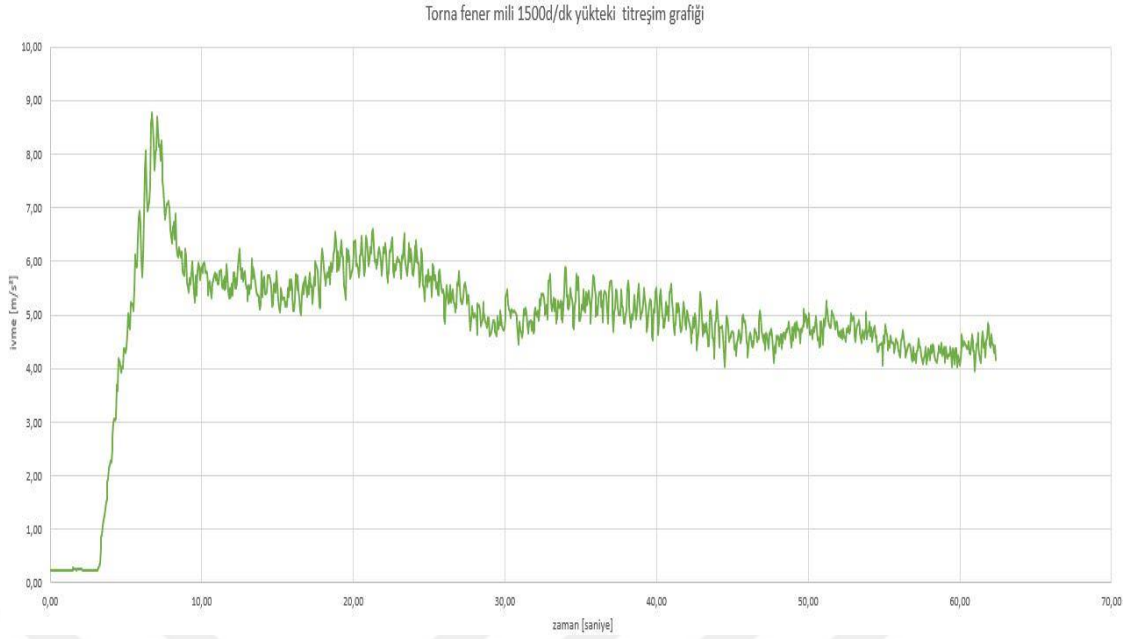
0.5 mm paso derinliğinde 1500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından 2243 adet veri alındı. Cihazın uygulamasında bulunan Pulse Labshop grafiğinde eğri oluşturuldu. İlk grafikte Şekil 5.18' daki egride görüldüğü gibi 7. saniyede taret eğrisi pik seviyeye ulaşmıştır. Kesici takımın iş parçasına temas ettiği an 7. saniyedir. 23. saniyede gerçekleşen 2. Pik seviyesinin sebebi çelik talaşının kesici takım ve iş parçası arasında sıkışmasıdır.

İkinci grafikte ise cihazın ayna eğrisi gösterilmiştir. Paso derinliği olmaksızın 1500 d/dk gerçekleşen deneye göre, daha fazla ivme değerlerinin oluşmasının sebebi iş parçası ve kesici takımın temasından kaynaklıdır.



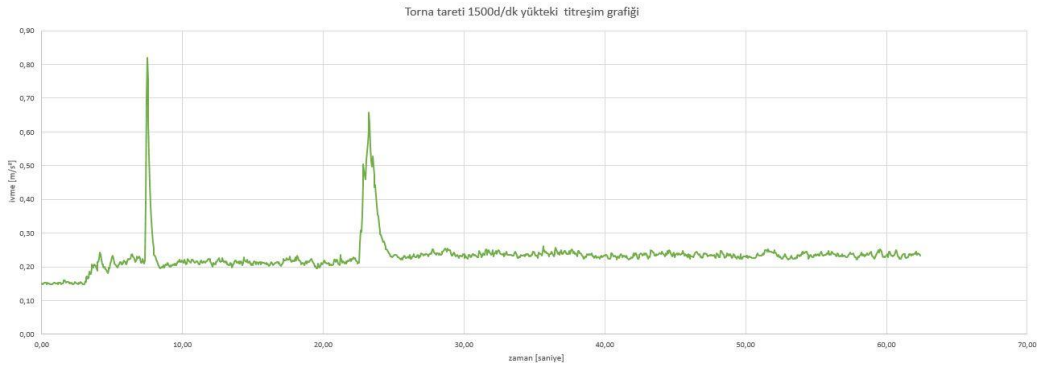
Şekil 5.18. Cihazın 1500 devir 0.5mm talaş kaldırma işleminde oluşturduğu titreşim eğrisi

0.5 mm paso derinliğinde 1500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2243 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu ayna titreşim eğrisi Şekil 5.19 daki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.19. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde ayna titreşim değişim eğrisi

0.5 mm paso derinliğinde 1500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2243 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu taret titreşim eğrisi Şekil 5.20 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



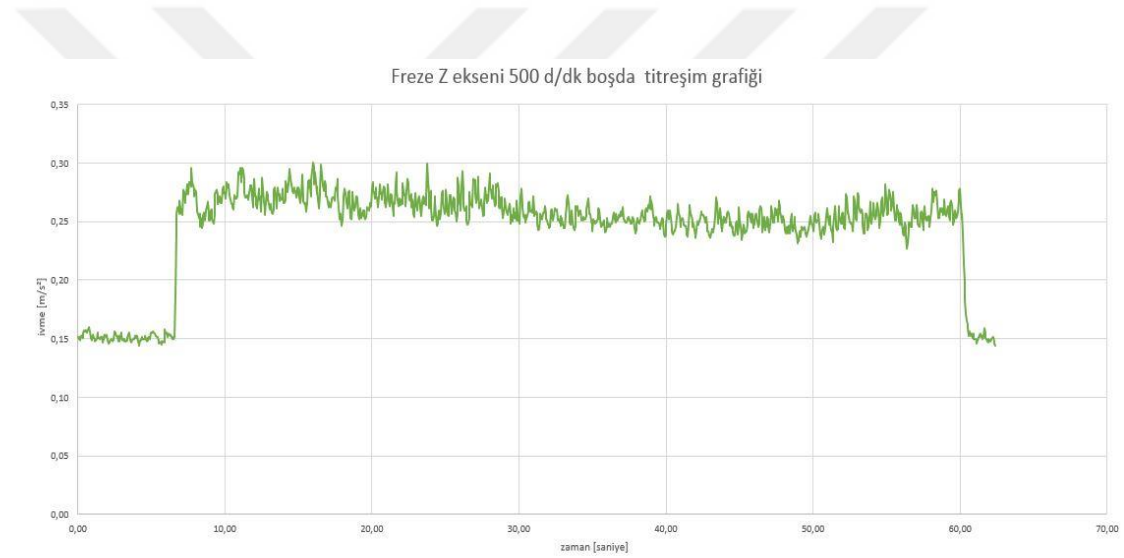
Şekil 5.20. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde ayna titreşim değişimi

5.5.2 Freze tezgâhı titreşim analiz sonuçları

Torna ve freze tezgâhı arasında ki temel fark freze tezgâhında iş parçasının sabit olması, talaş kaldırma işlemi yapan kesici takımın belirli bir devirde dönmesidir. Ayrıca torna

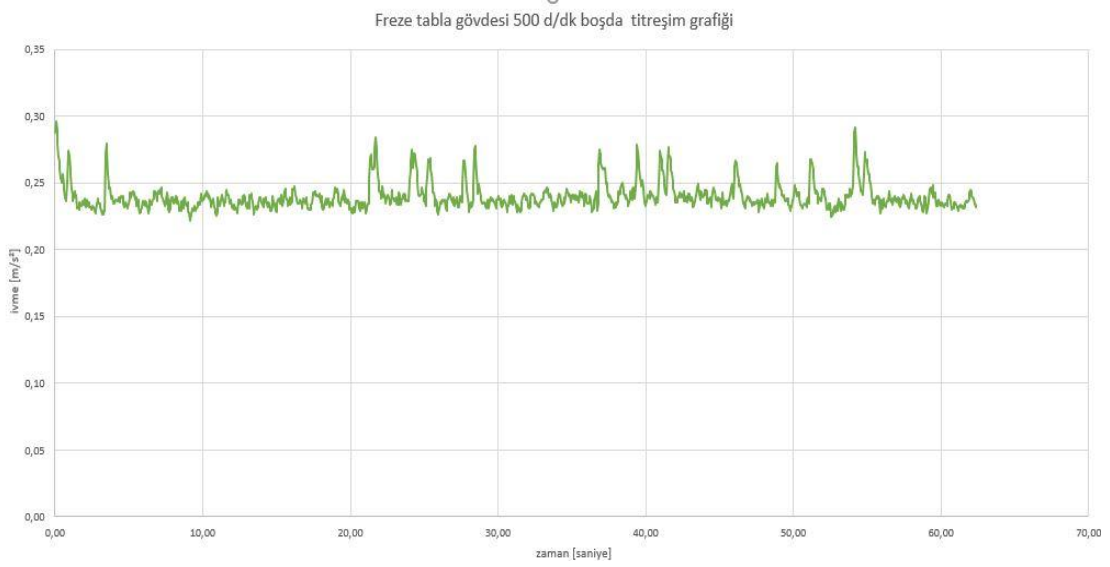
tezgâhının fener mili büyük boyutlardadır. Buna bağlı olarak fener mili rulmanları adetli ve büyüklükleri freze tezgâhının fener mili rulmanlarına göre daha fazladır. Bu sebeplerden dolayı torna tezgâhının fener mili ağırlığı, freze tezgâhına göre oldukça fazladır. Bu durum dönme esnasında yüksek bir momentum oluşturacağından oluşan titreşim oranları torna tezgâhı fener milinde titreşim, talaş kaldırma esnasında freze tezgâhınıninkine göre daha büyük ivmelerde olduğu görülmüştür. Freze tezgâhı titreşim analiz sonuçları, grafiklerde verilmiştir.

Paso derinliği olmaksızın 500 d/dk' de gerçekleşen kesici takımın bağlı bulunduğu Z eksenini titreşim analizinde ivme, Şekil 5.21' de de görüldüğü gibi düşük değerlerdedir. Devir sayısı düşük olup kesici takıma temas bulunmamaktadır.



Şekil 5.21. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir boşta z eksenini titreşim değışim eğrisi

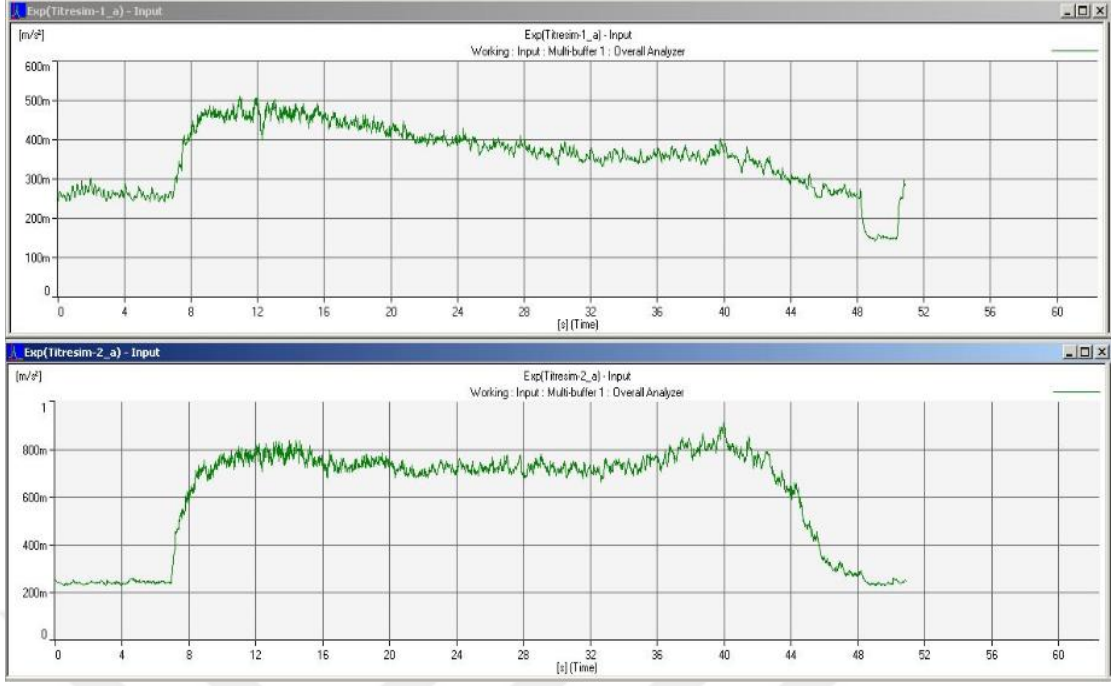
Paso derinliği olmaksızın 500 d/dk' de gerçekleşen iş parçasının bağlı bulunduğu X-Y eksen tablası titreşim analizinde ivme, Şekil 5.22' de de görüldüğü gibi düşük değerlerdedir. Devir sayısı düşük olup kesici takıma temas bulunmamaktadır.



Şekil 5.22. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir boşta tabla titreşim değişim eğrisi

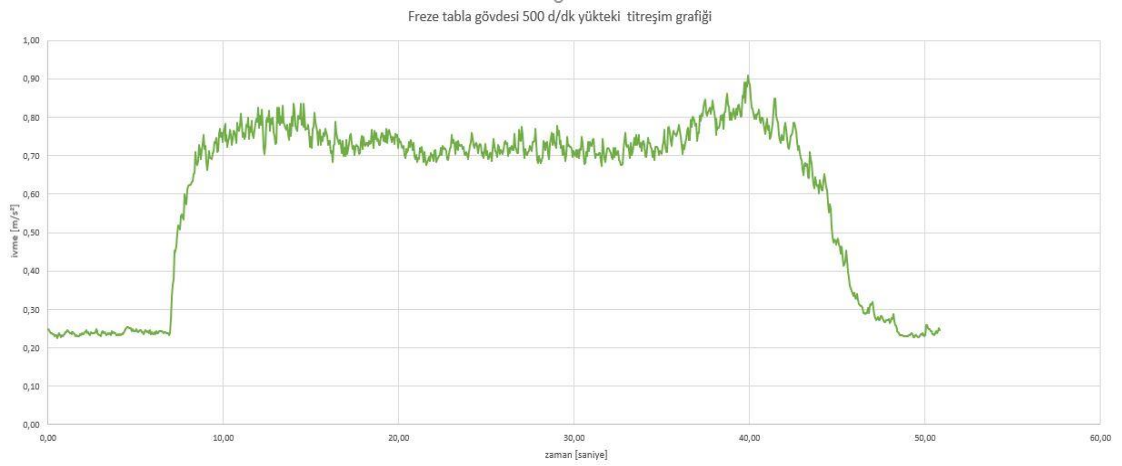
0.5 mm paso derinliğinde 500d/dk dönme hızında gerçekleşen titreşim analizinde Bruel& Kjaer cihazından 2495 adet veri alındı. Cihazın uygulamasında bulunan Pulse Labshop grafiğinde eğri oluşturuldu. İlk grafikte Şekil 5.23’ deki egride görüldüğü gibi 11. saniyede Z eksenini pik seviyeye ulaşmıştır. Kesici takımın iş parçasına temas ettiği an 11. saniyedir. 49. Saniyeden itibaren kesici takımına teması azalmakta olduğundan dolayı titreşim değerleri azalmaktadır.

İkinci grafikte ise X-Y eksen tablası titreşim değerleri verilmiştir. 40. saniyede pik seviyeye ulaşmasının sebebi, kesici takımın tamamının iş parçasına temas etmesidir.



Şekil 5.23. Cihazın 500 devir 0.5 mm talaş kaldırma sırasında oluşturduğu titreşim eğrileri

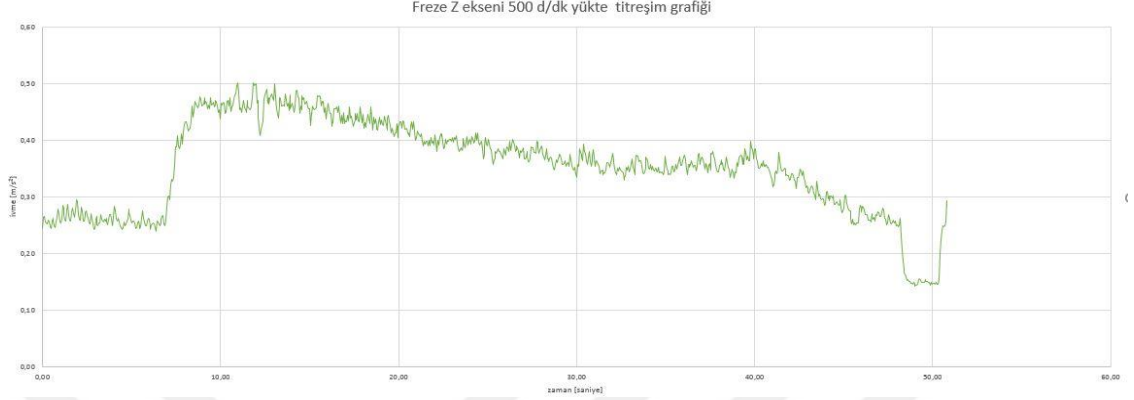
0.5 mm paso derinliğinde 500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2495 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu X-Y tabla eğrisi Şekil 5.24 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.24. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde tabla titreşim değişim eğrisi

0.5 mm paso derinliğinde 500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan

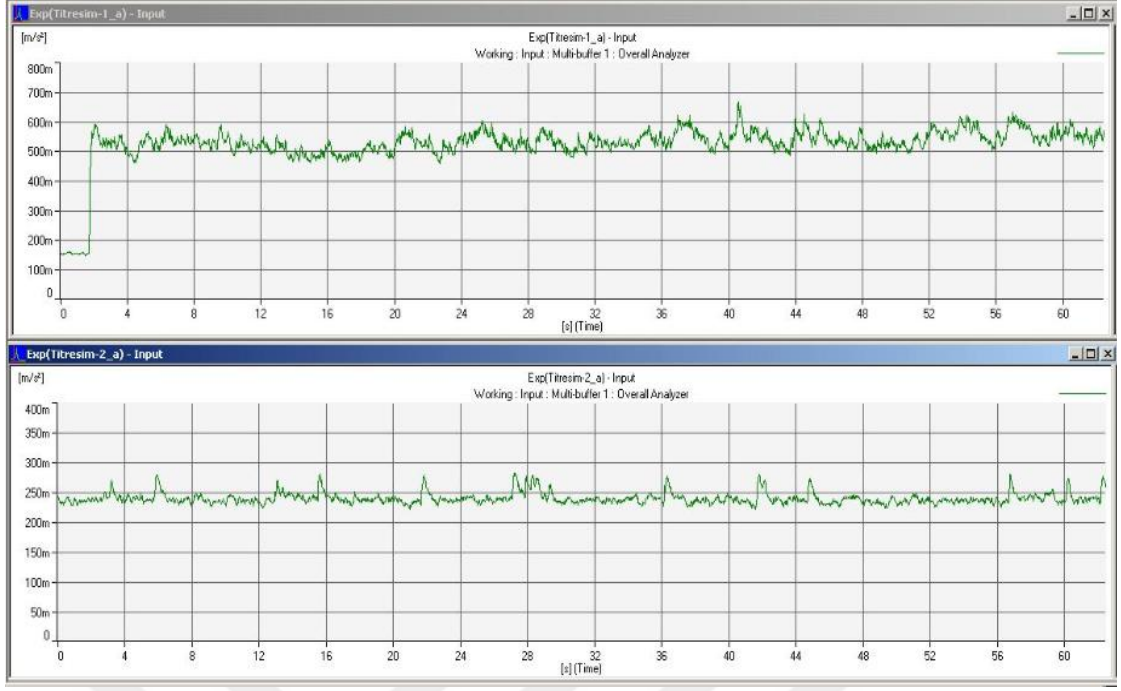
2495 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu Z eksenı eğrisi Şekil 5.25 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.25. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, titreşim 500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde z eksenı titreşim değişim eğrisi

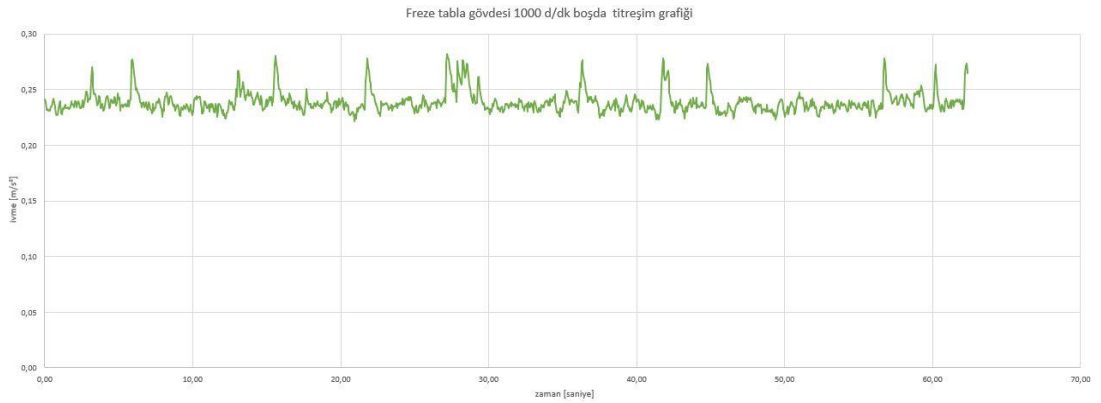
Paso derinliği olmaksızın 1000d/dk dönme hızında gerçekleşen titreşim analizinde Bruel& Kjaer cihazından 2495 adet veri alındı. Cihazın uygulamasında bulunan Pulse Labshop grafiğinde eğri oluşturuldu.İlk grafikte Şekil 5.26' daki eğride grldğu gibi 2. saniyede Z eksenı titreşimleri 1000 d/dkye ulaştığı anda pik seviyeyi görmüştür.

İkinci grafikte ise X-Y eksen tablası titreşim değerleri iş parçasına temas olmadığı için sabittir.



Şekil 5.26. Cihazın 1000 devir boşta oluşturduğu taret titreşim eğrileri

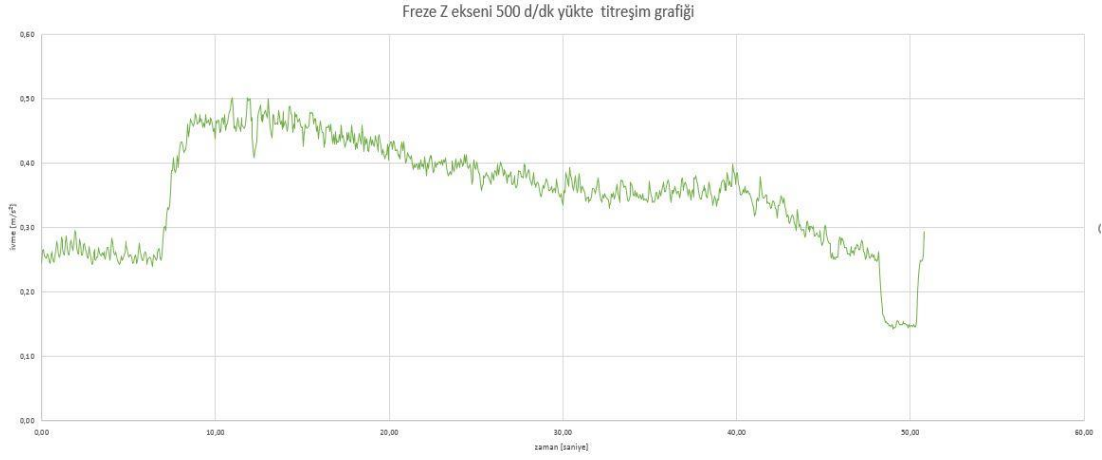
Paso derinliği olmaksızın 1000 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2495 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu X-Y tabla eğrisi Şekil 5.27 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.27. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir boşta dönme işleminde tabla titreşim değişimi

Paso derinliği olmaksızın 1000 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2495 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu Z ekseni eğrisi Şekil 5.28 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri

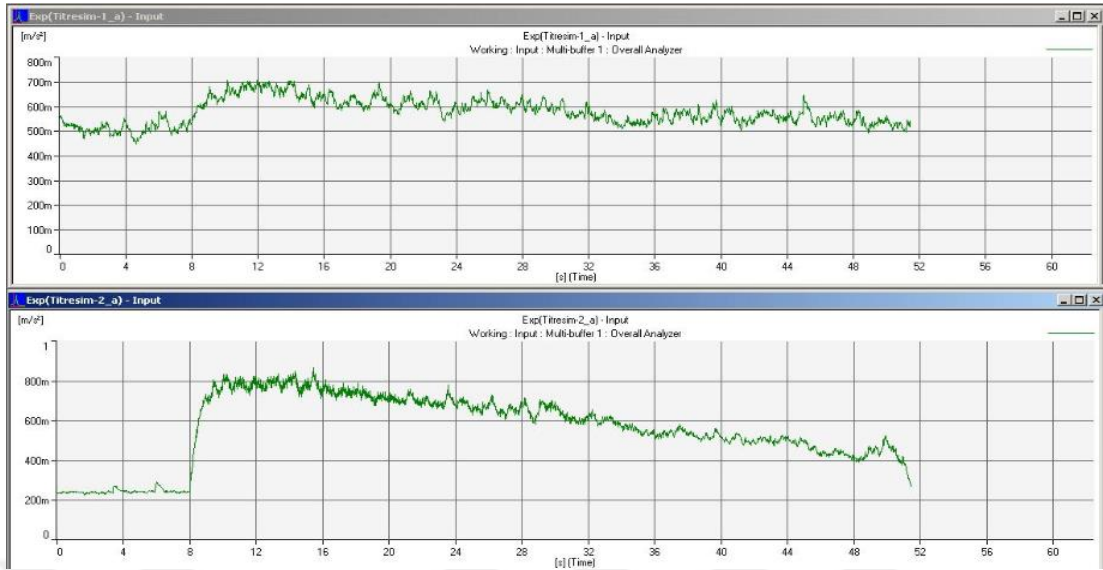
birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.28. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir boşta dönme işleminde z eksenli titreşim değışim eğrisi

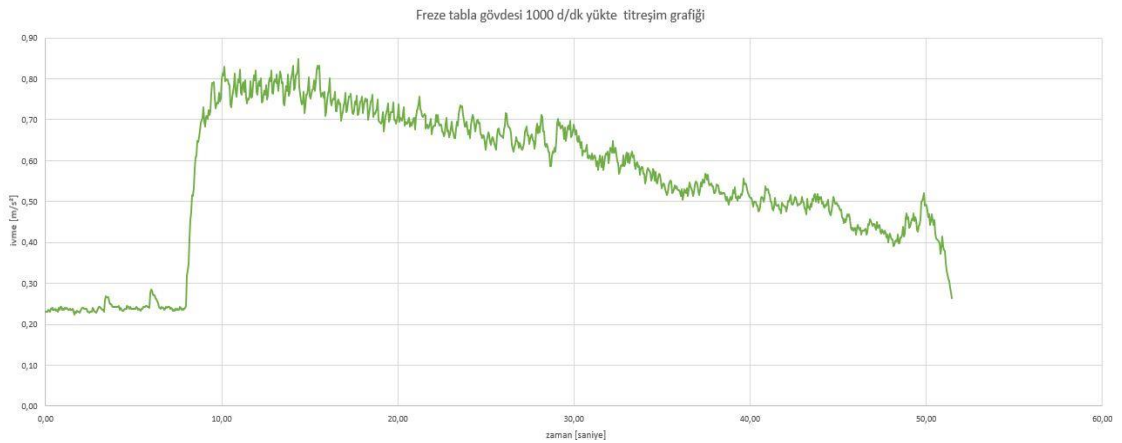
0.5 mm paso derinliğinde 1000d/dk dönme hızında gerçekleşen titreşim analizinde Bruel& Kjaer cihazından 2495 adet veri alındı. Cihazın uygulamasında bulunan Pulse Labshop grafiğinde eğri oluşturuldu. İlk grafikte Şekil 5.29' deki eğride görüldüğü gibi 11. saniyede Z eksenli pik seviyeye ulaşmıştır. Kesici takımın iş parçasına temas ettiği an 11. saniyedir.

İkinci grafikte ise X-Y eksen tablası titreşim değeri verilmiştir. 8. saniyede pik seviyeye ulaşmasının sebebi, kesici takımın tamamının iş parçasına temas etmesidir.



Şekil 5.29. Cihazın 1000 devir 0.5 mm talaş kaldırma esnasında oluşturduğu taret titreşim eğrileri

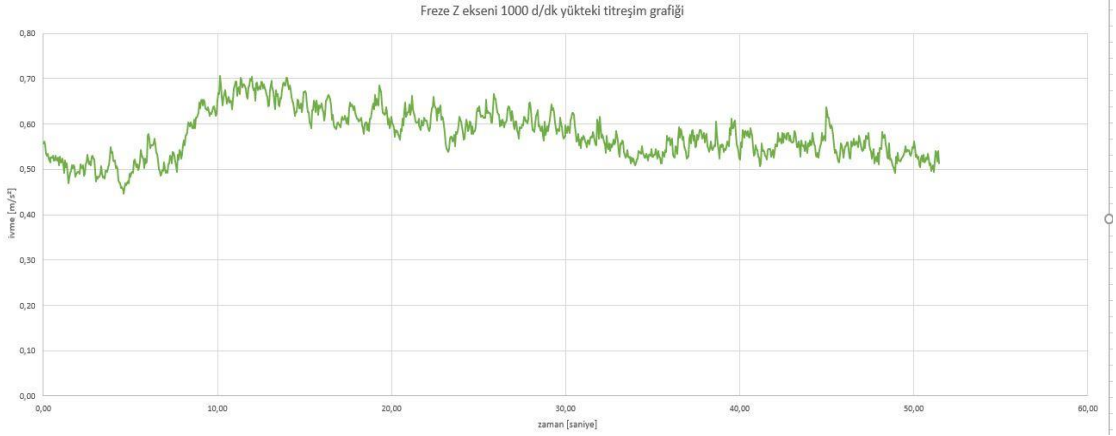
0.5 mm paso derinliğinde 1000 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2495 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu X-Y tabla eğrisi Şekil 5.30 daki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.30. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1000 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde tabla titreşim değişim eğrisi

0.5 mm paso derinliğinde 1000 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2495 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu Z eksen eğrisi Şekil 5.31 daki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri

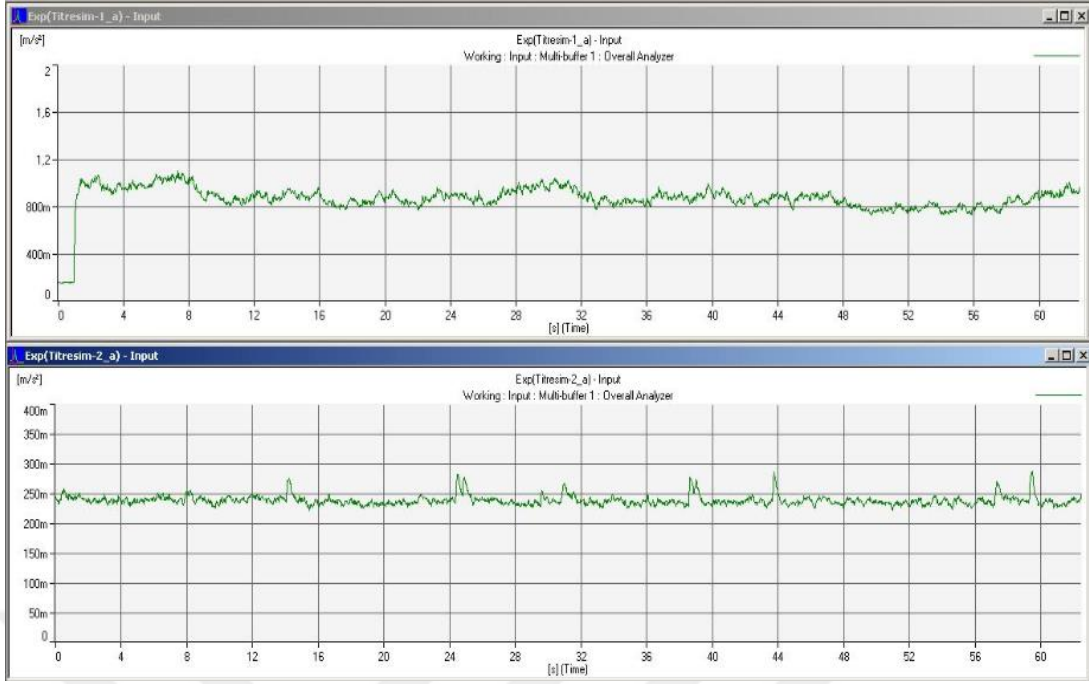
birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.31. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde z eksenini titreşim değışim eğrisi

Paso derinliği olmaksızın 1500d/dk dönme hızında gerçekleşen titreşim analizinde Bruel& Kjaer cihazından 2495 adet veri alındı. Cihazın uygulamasında bulunan Pulse Labshop grafiğinde eğri oluşturuldu. İlk grafikte Şekil 5.32' deki eğride görüldüğü gibi 2. saniyede Z eksenini titreşimleri 1000 d/dk ye ulaştığı anda pik seviyeyi görmüştür.

İkinci grafikte ise X-Y eksen tablası titreşim değeri iş parçasına temas olmadığı için sabittir.



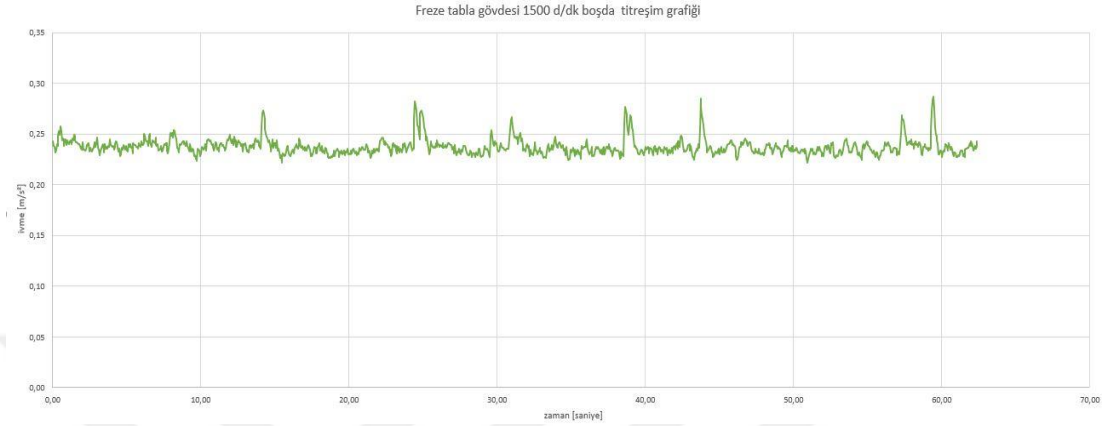
Şekil 5.32. Cihazın 1500 devir boşta oluşturduğu taret titreşim değişim eğrisi

Paso derinliği olmaksızın 1500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2495 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu X-Y tabla eğrisi Şekil 5.33 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.33. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir boşta dönme işleminde z eksenli titreşim değişim eğrisi

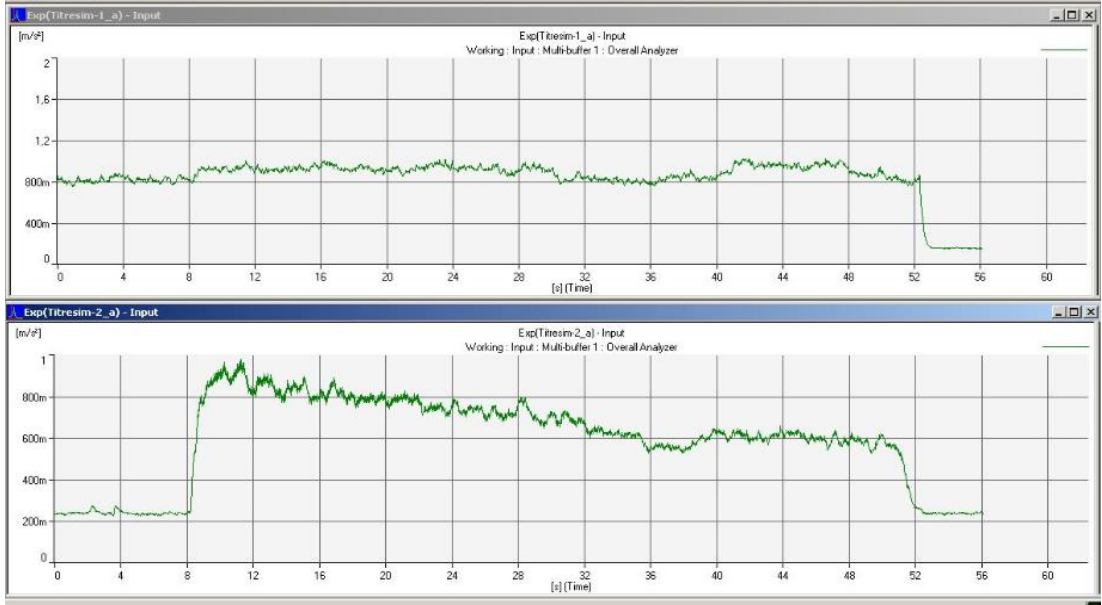
Paso derinliği olmaksızın 1500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2495 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu Z eksen eğrisi Şekil 5.34 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.34. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir boşta dönme işleminde tabla titreşim değişim eğrisi

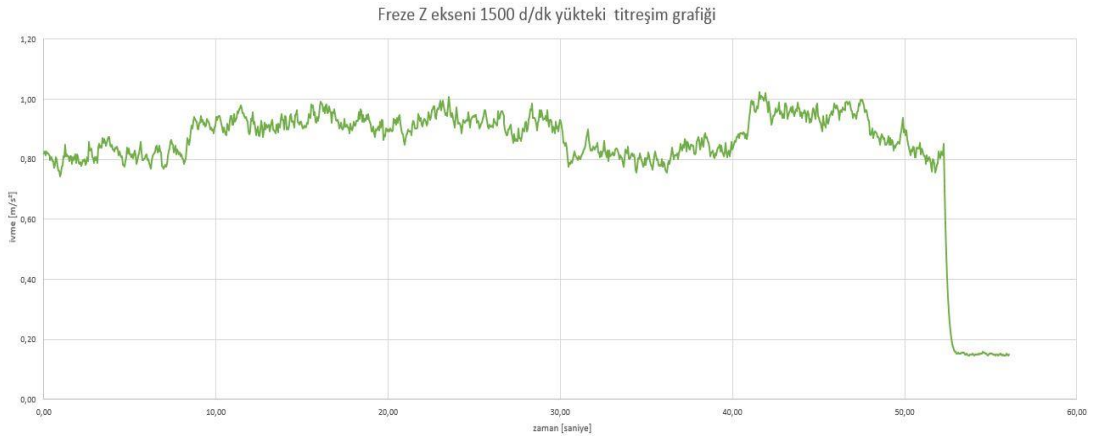
0.5 mm paso derinliğinde 1500d/dk dönme hızında gerçekleşen titreşim analizinde Bruel& Kjaer cihazından 2495 adet veri alındı. Cihazın uygulamasında bulunan Pulse Labshop grafiğinde eğri oluşturuldu. İlk grafikte Şekil 5.35' deki eğride grldğu gibi 11. saniyede Z eksenı pik seviyeye ulaşmıştır. Kesici takımın iş parçasına temas ettiği an 11. saniyedir. 49. Saniyeden itibaren kesici takımına teması azalmakta olduğundan dolayı titreşim değerleri azalmaktadır.

İkinci grafikte ise X-Y eksen tablası titreşim değerleri verilmiştir. 10. saniyede pik seviyeye ulaşmasının sebebi, kesici takımın iş parçasına ilk temas ettiği zaman olmasındır.



Şekil 5.35. Cihazın 1500 devir 0.5 mm talaş kaldırma esnasında oluşturduğu taret titreşim değişim eğrileri

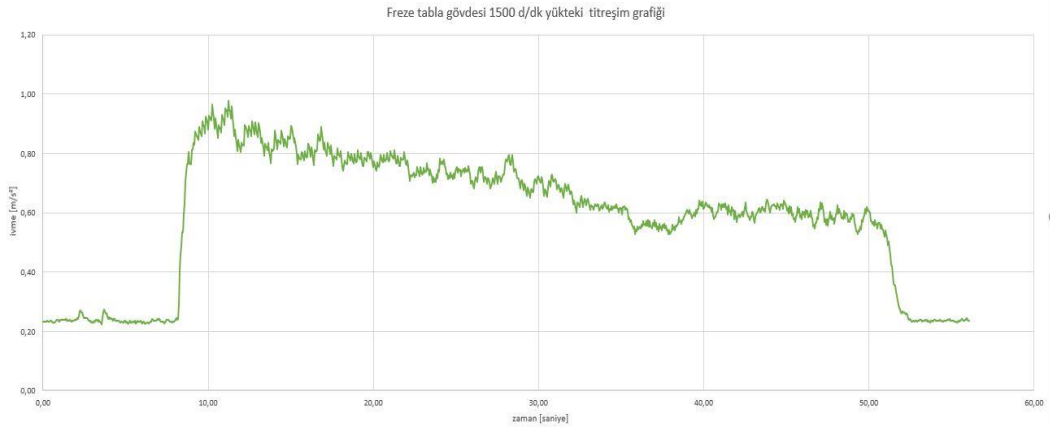
0.5 mm paso derinliğinde 1000 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2495 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu Z eksen eğrisi Şekil 5.36 daki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.36. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir 0.5 mm talaş kaldırma işleminde z eksenli titreşim değişim eğrisi

0.5 mm paso derinliğinde 1500 d/dk yapılan analizde Bruel& Kjaer cihazından alınan 2495 adet veri, grafik oluşturma programına aktarıldı. Verilerin zamana göre oluşturduğu X-Y tabla eğrisi Şekil 5.37 deki eğri ile Pulse Labshop programının eğrileri

birer bir uyumlu olduğu gözlemlendi.



Şekil 5.37. Cihazdan alınan verilere göre analiz edilmiş, 1500 devir 0.4 mm talaş kaldırma işleminde tabla titreşim değışim eğrisi

Fener milinde diğer noktalara göre daha fazla titreşim bulunmakta ve kesici ucun aldığı tahribat bu noktada gerçekleşmektedir. Titreşimin en fazla bu noktada olmasının sebebi, iş parçasının kesici uca ilk temas ettiği nokta olmasıdır. İlerleyen saniyelerde titreşimin belirli oranlarda azaldığı görülmektedir. Sebebi ise kesici takım tezgâh aynasına yaklaştıkça oluşan moment, kuvvet çarpı kuvvet kolu mantığı ile mesafe azaldığı için moment azaldığı için titreşim miktarı düşük seviyededir.

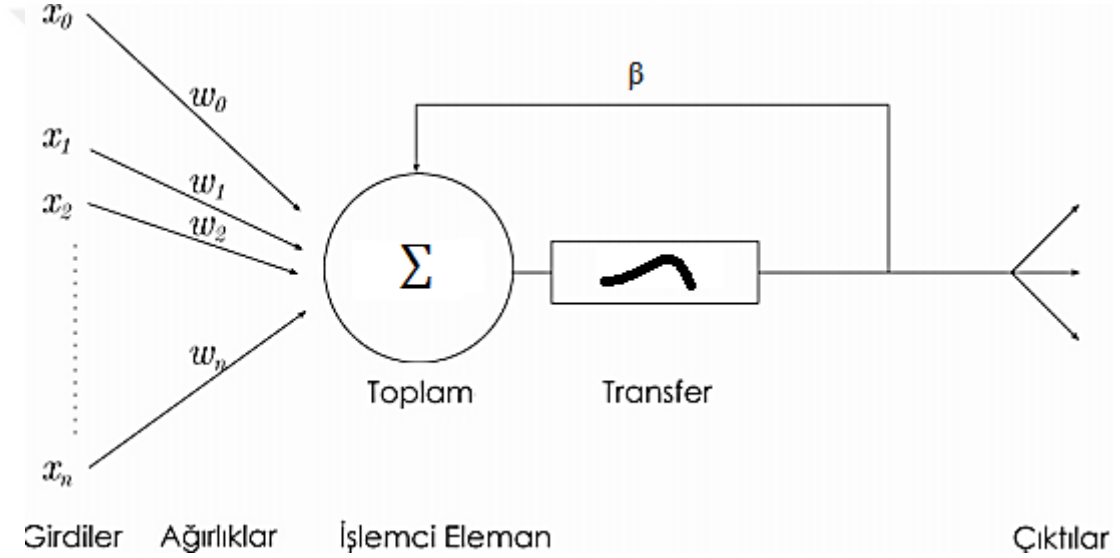
Taret titreşim grafiklerinde en fazla olduğu nokta 7,48s deki 0,82 m/s² olduğu noktadır. Bu nokta kesici takımın belirli bir kesme hızında ilerlerken iş parçasına ilk temasından kaynaklı tepki noktasıdır. Kesici takım titreşim grafiği dönmeden kaynaklı atalet momenti olmadığından ve kesici takımın tezgâh taretine sabitlenmesinden dolayı fener mili titreşim grafiğine göre oluşan titreşimler büyük değerlerde değildir.

BÖLÜM VI

YAPAY SİNİR AĞLARI

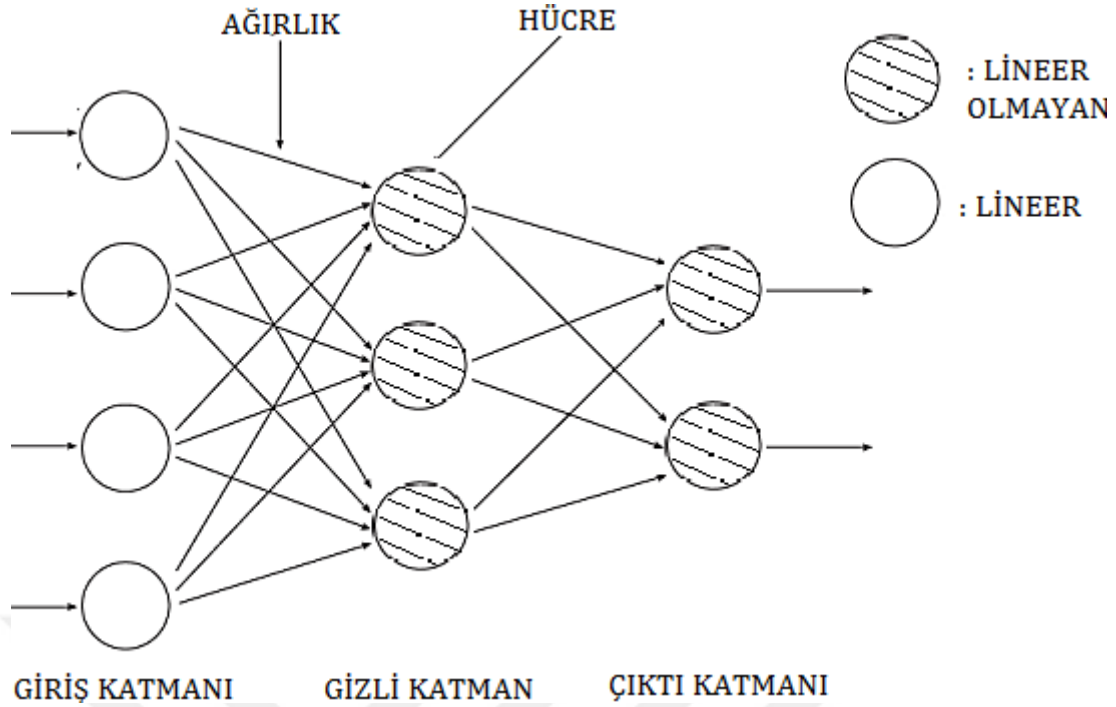
6.1 Yapay Sinir Ağları ve Analiz Yaklaşımı

Yapay sinir ağlarının temel elemanları, doğal nöronların işleyişlerini simüle eden Yapay Nöronlardır. Bu nöronlar, aralarındaki bağlantılar oluşturularak ve katmanlar halinde gruplandırılarak yapay sinir ağları oluşturulmaktadır. Şekil 6.1, McCulloch ve Pitts (1943) tarafından tanımlanan, biyolojik nöronun matematiksel gösterimidir.



Şekil 6.1. Yapay sinir ağ hücresi (McCulloch,1943)

Yapay sinir hücreleri ayrıca Düğüm (Node), Birim (Unit) veya İşlemci Eleman (Processing Unit) olarak da adlandırılmaktadır. Nöronların aynı doğrultuda bir araya gelmeleriyle Katmanlar oluşur. Bir yapay sinir ağında üç tür katman bulunur. Girdi Katmanı, Ara/Gizli Katman ve Çıktı Katmanı. Katmanların belirli bir düzende dizilmesiyle Ağlar (Networks) oluşur. Ağlar, katmanların sayısı, dizilişleri ve öğrenme algoritmalarına göre isimler alırlar. Şekil 6.2 'de üç katmanlı bir ağ örneklendirilmiştir.



Şekil 6.2. Yapay sinir ağ yapısının blok diyagramı

Yapay sinir ağları örnek verilerle eğitilebilir ve eğitildikten sonra verilerde gizli ve linear olmayan ilişkileri verilerde belli miktarda gürültü (noise) olsa bile, yakalayabilirler. Dezavantaj ise yapay sinir ağları belirli bir zaman süresi için eğitilebilirler ve genelde tahminlerde hata oranı tespit edilemez. Başka bir dezavantaj ise zaman serisi tahmin aralık süresi çoğaldıkça tahminlerin dikkat oranı şiddetle azalır. Zaman serisi olarak x değişkenine ait geçmiş değerler elimizde mevcuttur. x değişkeni zaman içerisinde değişim halindedir [x_t ($t=1,2,\dots$)], ve biz x 'in alabileceği değeri ilerleyen $t+h$ zamanında tahmin etmek istiyoruz. Yapay sinir ağları ile bu tahminleri yapmak, elimizde olan geçmişte belirli bir döneme ait verilerle yapay sinir ağını eğitmek ve eğitilmiş bilgileri geleceğe uygulamaktan oluşmaktadır. Geçmişe ait veriler yapay sinir ağına uygulanacak giriş (Input) verilerinde kullanılacaktır ve geleceğe ait beklenen değerler yapay sinir ağının çıkışında (Output) yer alacaktır. Anlatılanlara göre yapay sinir ağı eğitim türü, eğitmen sinyali kullanma türünden olacaktır. Daha önce bahsedildiği gibi ekstra etken değişkenler de kullanılabilir ama daha fazla bilgi her zaman daha iyi tahmin sonucu anlamına gelmez. Bazen fazla bilgiler yapay sinir ağının eğitim işlemini kötüleştirir. Dolayısı ile sadece ilgili önemli etkenleri, elimizde olduğu takdirde, seçmekte fayda vardır. Çeşitli yapay sinir ağı modelleri tahmin için kullanılabilir. Yapılan bu deneysel çalışmada Levenberg Marquardt metodu seçilmiştir.

6.2 Levenberg-Marquardt Metodu (LMM)

Temel olarak bu algoritma maksimum komşuluk fikri üzerine kurulmuş, genel olarak bu metot yavaş yakınsama problemlerinden etkilenmez. İleri beslemeli ağlarda en hızlı öğrenme metodudur. $E(w)$ 'nin bir amaç fonksiyonu olduğu düşünülürse m tane hata terimi için $e_i^2(w)$ eşitlik 6.1 de verilmiştir.

$$E(w) = \sum_{i=1}^m e_i^2(w) = \|f(w)\|^2 \quad (6.1)$$

Bu eşitlikte; $e_i^2(w) = (y_i - y_d)^2$ 'dir. Burada amaç fonksiyonu $f(\cdot)$ ve onun jakobiyeni J 'nin bir noktada w bilindiği farz edilir. 36 LMM'de hedef, parametre vektörü w 'nin $E(w)$ minimum iken bulunmasıdır. LMM'nin kullanılmasıyla yeni vektör w_{k+1} farzedilen vektör w_k 'dan eşitlik 6.2 'teki gibi hesaplanır.

$$w_{k+1} = w_k + \delta_{wk} \quad (6.2)$$

$$(J_k^T + J_k \lambda I) \delta_{wk} = -(J_k^T f(w_k)) \quad (6.3)$$

J_k : f 'nin(hatanın) δ_{wk} değerlendirilmiş Jakobiyeni

λ : Marquardt parametresi

I : birim veya tanımlama matrisi

Levenberg-Marquardt algoritması aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- $E(w_k)$ 'yi hesapla
- Küçük bir λ değeri ile başla(mesela $\lambda=0.01$)
- δ_{wk} 'yi çöz ve $E(w_k + \delta_{wk})$ değerini hesapla
- Şayet $E(w_k + \delta_{wk}) \geq E(w_k)$ λ 'yı 10 kat artır ve (iii)'ye git
- Şayet $E(w_k + \delta_{wk})$
- w_k : $w_k + \delta_{wk}$ 'yi güncelleştir ve (iii)'ye git

Hedef çıkışı hesaplamak için birçok katmanlı nöronun LMM kullanılarak öğretilmesi ağırlık dizisi w_0 'a bir başlangıç değerinin atanması ile başlar ve hataların karelerinin

toplamı $\sum e_i^2$ 'nin hesaplanmasıyla devam eder. Her e_i^2 terimi, hedef çıkışı (y) ile gerçek çıkış (\hat{y}) arasındaki farkın karelerini ifade eder. Bütün veri seti için $\sum e_i^2$ hata terimlerinin tamamının elde edilmesiyle, ağırlık dizileri (i)'den (v)'e kadar olan LMM adımlarının uygulanmasıyla açıklandığı gibi adapte edilir. (Mete, 2008)



BÖLÜM VII

DENEYSEL SONUÇLAR

7.1 Torna Tezgâhında Yapılan Deneyde Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı

Silindirik çap tornalama da 60 saniye boyunca elde edilen 1250 adet ivme verisi m/s^2 olarak yapay sinir ağlarına teorik bir programda işlenmiştir. Epoch sayısı 0-300 değerleri arasında beşer beşer artırılarak test eğrisine en yakın değerler 200 nöron epoch sayısında en uzak değerler ise 100 nöron epoch sayısında gerçekleştirilmiştir.

Yapay sinir ağlarının parametreleri ve sonuçları gizli katman sayısı 100 nöron eğitim sonuçları Çizelge 7.1 ' te, 200 nöron eğitim sonuçları ise Çizelge 7.2 'te verilmiştir. Çizelgede bulunan MSE değerleri hata kareleri ortalamasıdır. MSE değeri 0'a yakın olan tahminleyicilerin daha iyi bir performans gösterdiği için 200 nöronda yapılan testlerin doğruluk payı yüksektir. R değerleri regresyon değerleridir. Titreşim cihazı verileri ve hedef verileri arasındaki korelasyonu hesaplar. 1 değerine en yakın çıkan sonuç doğruluğu göstermektedir. 200 nöronda oluşan MSE ve R değerlerinin doğruluk payı 100 nöronda oluşan verilere göre daha yüksektir.

Çizelge 7.1. CNC torna tezgâhı yapay sinir ağları gizli katman sayısı 100 nöron eğitim sonuçları

100 NÖRON	VERİ	MSE	R
Eğitim	873	$1,83 e^{-0}$	$7,31e^{-1}$
Doğrulama	187	$1,93 e^{-0}$	$7,11 e^{-1}$
Test	187	$1,77 e^{-0}$	$7,49 e^{-1}$

Çizelge 7.2. CNC torna tezgâhı yapay sinir ağı gizli katman sayısı 200 nöron eğitim sonuçları

200 NÖRON	VERİ	MSE	R
Eğitim	873	2,58 e ⁻²	9,84e ⁻¹
Doğrulama	187	3,14 e ⁻²	9,78 e ⁻¹
Test	187	3,45 e ⁻²	9,79 e ⁻¹

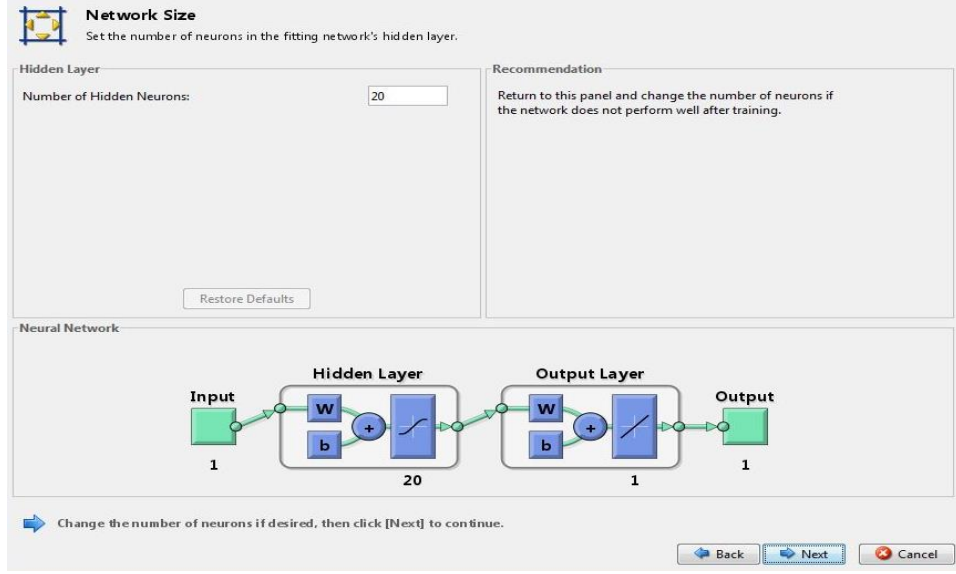
Verilerin YSA da eğitiminde aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

Titreşim cihazından alınan değerler ile veriler oluşturuldu. Örnek olarak ayna ve taret değerleri, YSA modülünün çıktıları şekil 7.1 de verilmiştir.

Name ▲	Value	Min	Max
aynaverileri	<1247x1 double>	0.1487	0.3031
ciktiayna	<1247x1 double>	0.1458	0.8291
ciktitakim	<1247x1 double>	0.2164	8.3892
hataayna	<1x1247 double>	-0.0391	0.0766
hatatakim	<1x1247 double>	-1.2825	1.0439
takimveri	<1247x1 double>	0.1472	0.8198
veri	<1247x3 double>	0.0230	62.3840
zaman	<1247x1 double>	0.0230	62.3840

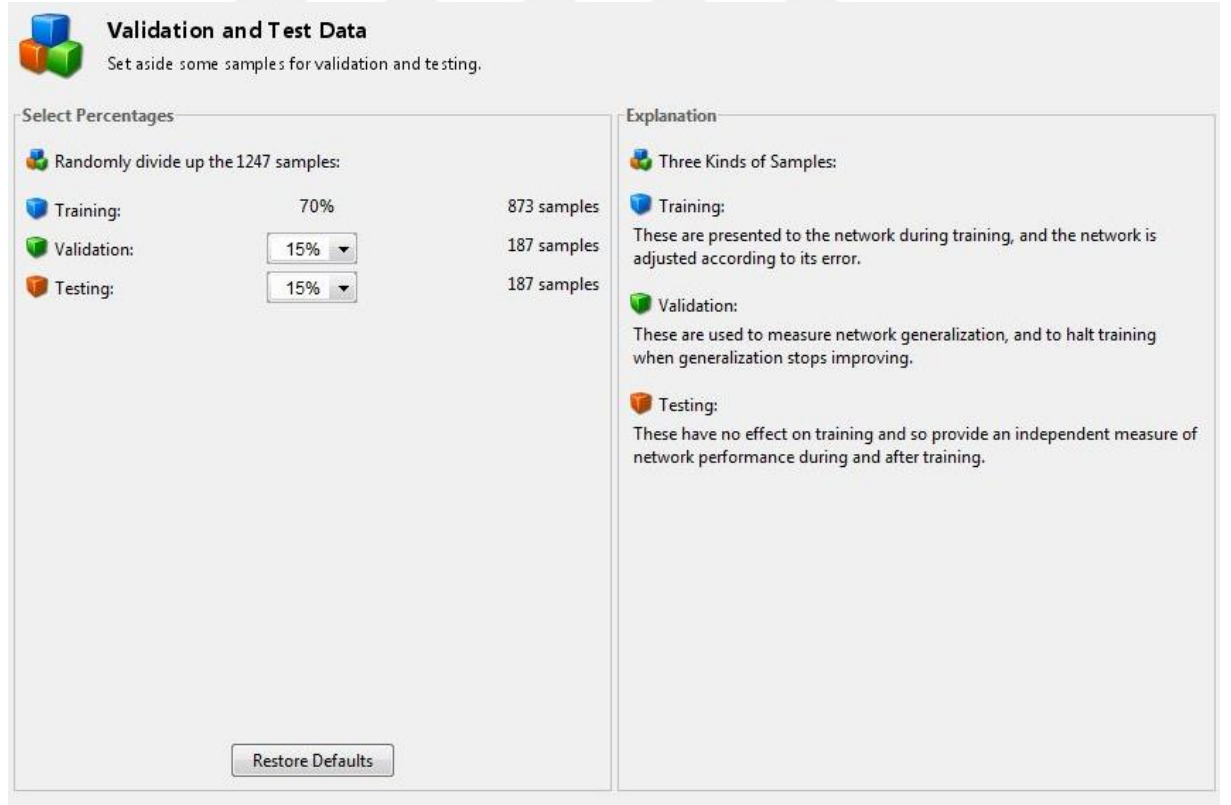
Şekil 7.1. Titreşim ölçüm cihazından alınan verilerin oluşumu

Nöron sayılarını belirleme: Ağ yapısı; girdi, nöron katmanı, çıktı katmanı ve çıktıdan oluşmaktadır. 1247 adet giriş verisi gizli katman sayısı 200 ve 100 nöronda işlenerek 1 adet çıktı olduğunu ifade etmektedir.



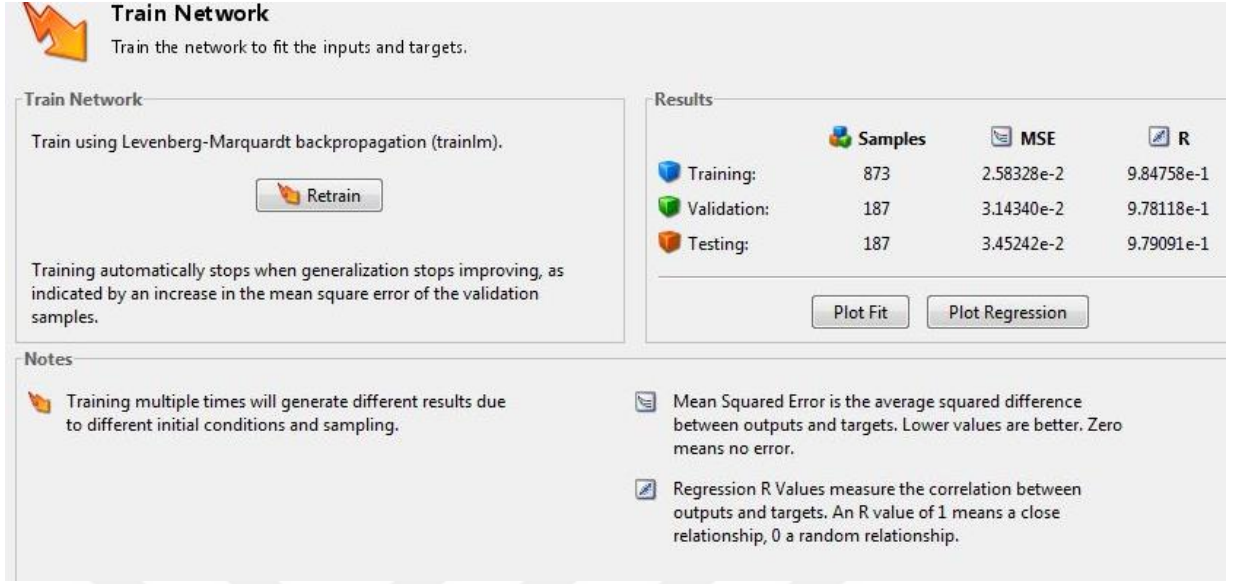
Şekil 7.2. YSA nöron sayısı belirleme görünümü

YSA' da veriyi öğretme, doğrulama ve test etme oranları Şekil 7.3 deki gibi belirlendi.



Şekil 7.3. Doğrulama ve test etme oranları

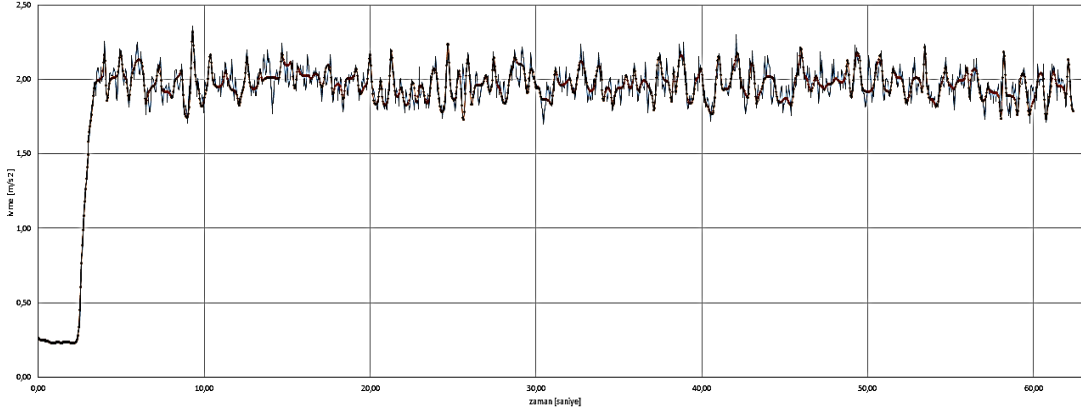
Öğrenme sonuçları elde edildi.



Şekil 7.4. Doğrulama ve test etme sonuçları

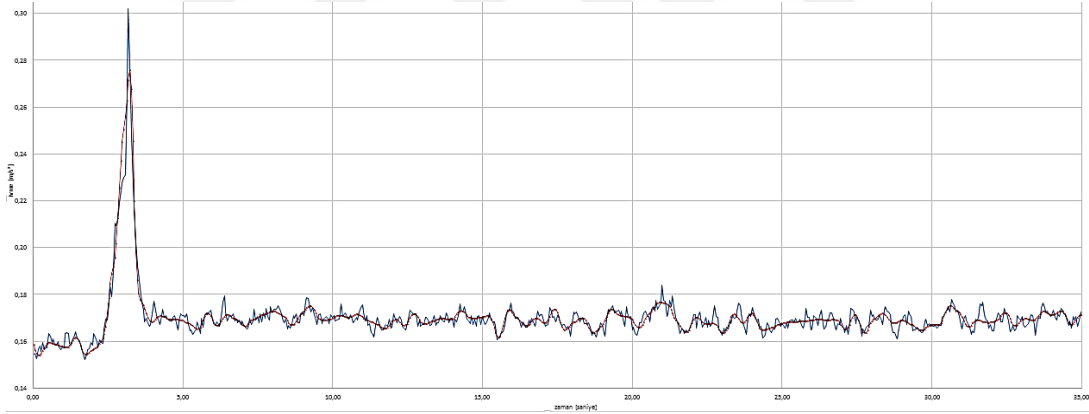
Yapılan test sonuçlarına ait fener mili eğitim performans grafiği, cihazın oluşturduğu eğrilerle birlikte verilmiştir. Şekillerde verilen grafiklerde anlık titreşimde meydana gelen değişim ivme cinsinden verilmiştir. Mavi çizgiler cihazdan alınan verileri, kırmızı renkte işaretli olan çizgilerde yapay sinir ağına Levenberg - Marquardt yöntemi ile eğitilmiş verileri temsil etmektedir. Sonucunda YSA grafikleri aşağıdaki gibidir.

Fener milinin 500 d/dk, dönme hızında paso derinliği olmadan yapılan titreşim analiz verileri YSA' ya aktarıldı. Veriler teorik programın 'fitting tools' kısmında 200 adet gizli katmanda işlenilerek yeni YSA titreşim verileri elde edildi. Elde edilen titreşim verileri ile Şekil 7.5' deki kırmızı renkteki eğriler oluşturuldu. Bu analiz için YSA eğrisi, analiz eğrisini %97 oranında doğruluk elde edildi.



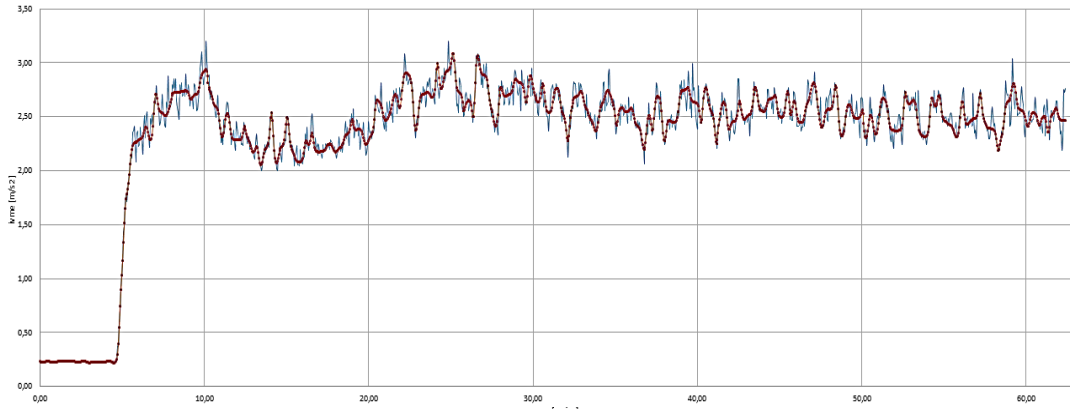
Şekil 7.5. Torna tezgâhı 500 d/dk paso derinliği olmadan oluşan fener mili YSA test eğrisi

CNC torna taretinin 500 d/dk, dönme hızında paso derinliği olmadan yapılan titreşim analiz verileri YSA' ya aktarıldı. Torna taretinin Şekil 7.6' da gösterildiği gibi oluşturduğu pik nokta ile titreşim analiz eğrisindeki pik nokta birbiri ile aynıdır. Bu analiz için YSA eğrisi, analiz eğrisini %96 oranında doğruluk elde edildi.



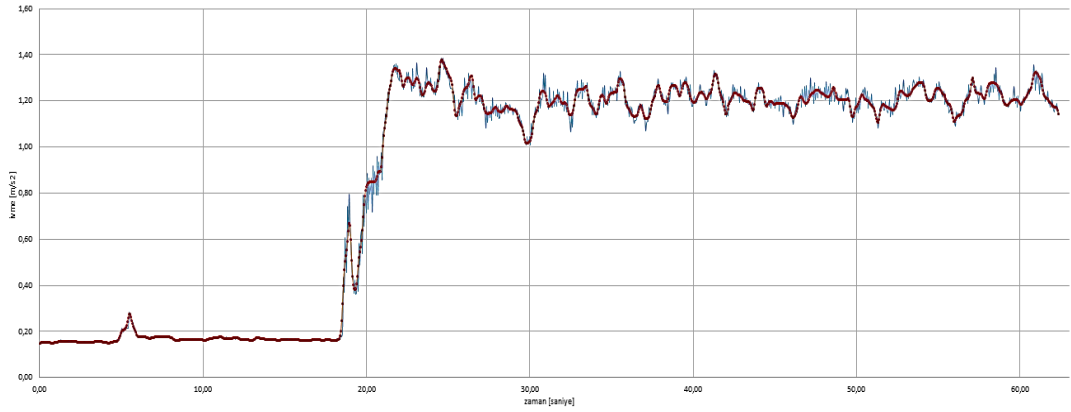
Şekil 7.6. Torna tezgâhı 500 d/dk paso derinliği olmadan oluşan taret mili YSA test eğrisi

Fener milinin 500 d/dk, dönme hızında 0.5 mm paso derinliğinde yapılan titreşim analiz verileri YSA' ya aktarıldı. Veriler teorik programın 'fitting tools' kısmında 200 adet gizli katmanda işlenilerek yeni YSA titreşim verileri elde edildi. Elde edilen titreşim verileri ile Şekil 7.5' deki kırmızı renkteki eğriler oluşturuldu. Bu analiz için YSA eğrisi, analiz eğrisini %97 oranında doğruluk elde edildi.



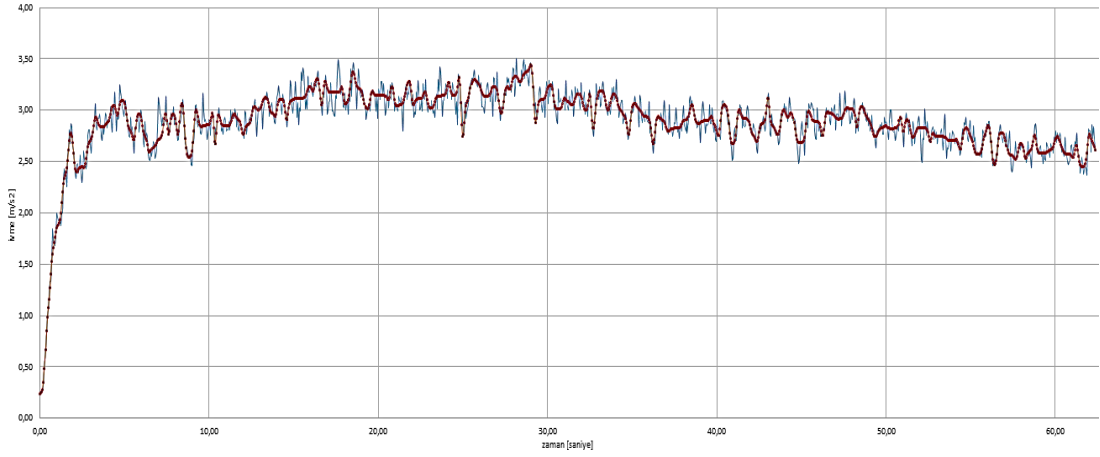
Şekil 7.7. Torna tezgâhı 500 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan fener mili YSA test eğrisi

Taretin 500 d/dk, dönme hızında 0.5 mm paso derinliğinde yapılan titreşim analiz verileri YSA' ya aktarıldı. Şekil 7.8' de ki eğride, titreşim analizinde gerçekleşen 20. Ve 22. Saniye aralığında dalgalanma haricinde doğruluk oranı %99,4 tür.



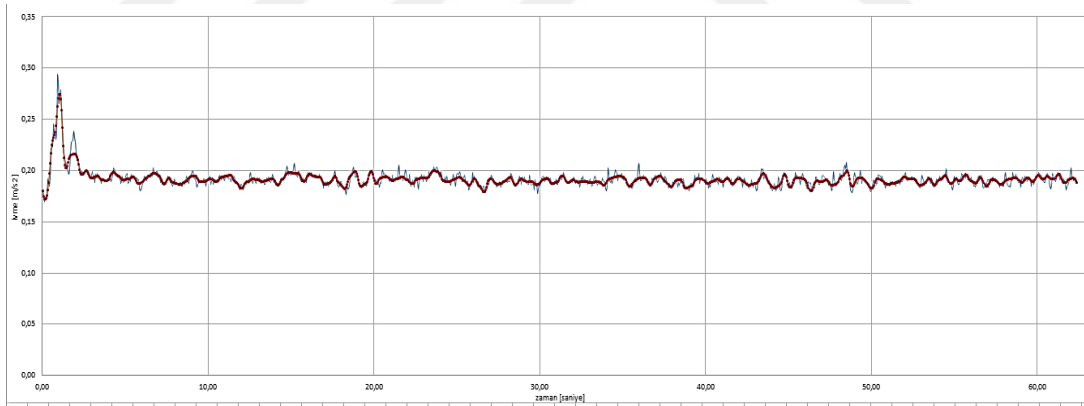
Şekil 7.8. Torna tezgâhı 500 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan taret YSA test eğrisi

Şekil 7.9' da oluşan kırmızı renkteki YSA eğrisi, titreşim analiz eğrisini takip etmektedir. İki eğrinin pik noktasında 0.2 saniyelik zaman farkı vardır.



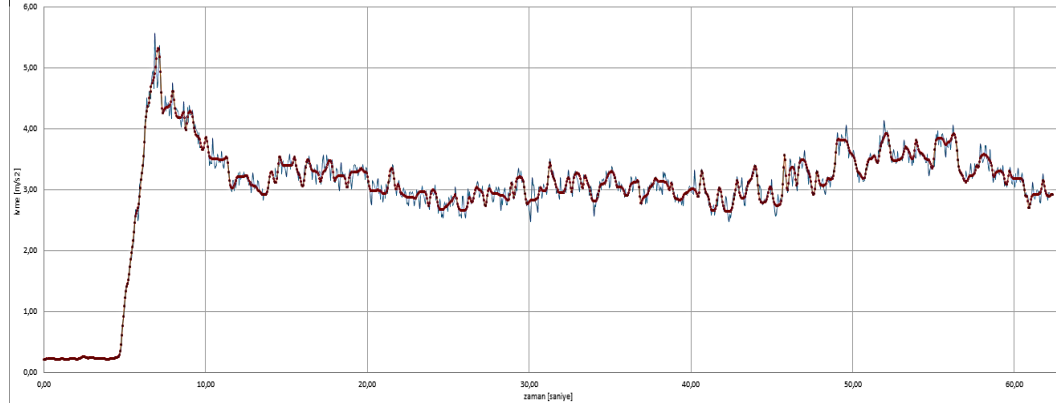
Şekil 7.9. Torna tezgâhı 1000 d/dk paso derinliği olmadan oluşan fener mili YSA test eğrisi

Şekil 7.10' da paso derinliği olmadan 1000 d/dk dönme hızında taret YSA eğrisi verilmiştir. Gizli katman sayısı 200 nöronda yapılan bu eğri de, titreşim eğrisini takip etmektedir. 2-3. Saniye aralığında ki titreşim eğrisinde ki dalgalanma YSA eğrisindeki dalgalanmadan daha fazla olmasına rağmen bu fark $0,02 \text{ m/s}^2$ kadardır.



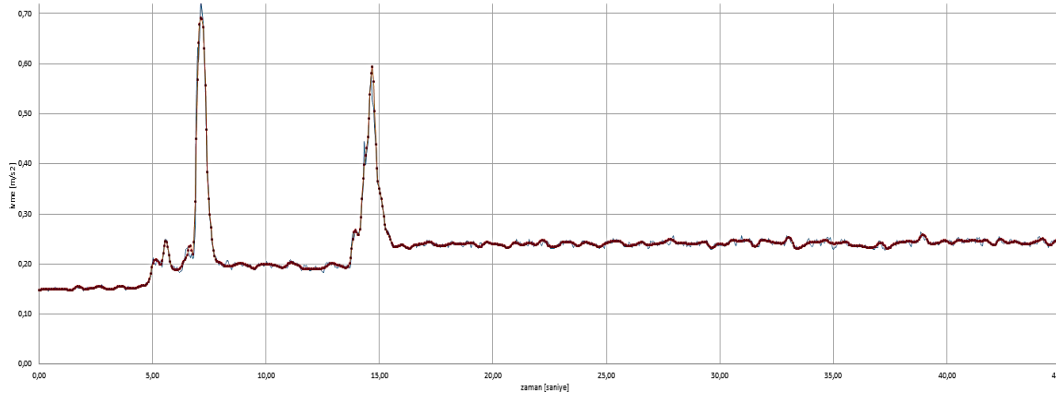
Şekil 7.10. Torna tezgâhı 1000 d/dk paso derinliği olmadan oluşan taret YSA test eğrisi

Şekil 7.11, 1000 d/dk 0.5mm paso derinliğinde ki fener mili YSA eğrisini kapsamaktadır. Dalgalanmalar mavi çizgi ile gösterilen titreşim eğrisinin ortalaması aralığında olup doğruluk oranı %99,4tür.



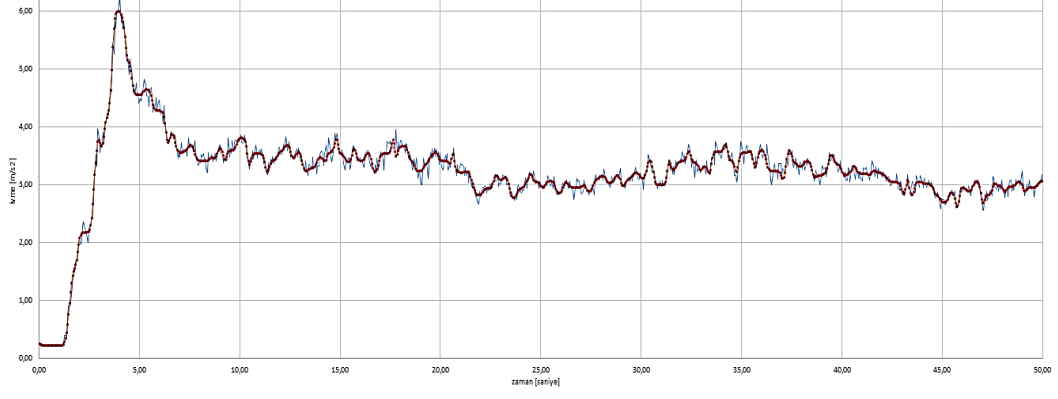
Şekil 7.11. Torna tezgâhı 1000 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan fener mili YSA test eğrisi

Şekil 7.12' de 1000d/dk 0.5mm paso derinliğinde Torna tezgâhı taret YSA test eğrisini kapsamaktadır. Test eğrisinin doğruluk oranı %99' dur.



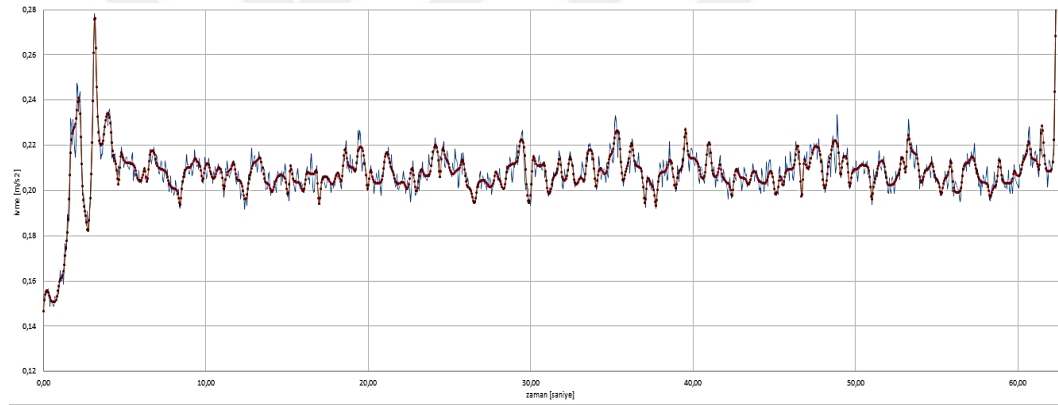
Şekil 7.12. Torna tezgâhı 1000 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan taret YSA test eğrisi

Şekil 7.13 CNC torna tezgâhı fener milinin 1500d/dk devir paso derinliği olmadan YSA test eğrisini içerir. Mavi çizgide görülen pik nokta 6,1 m/s² iken kırmızı renkteki YSA eğrisi 5,98 m/s² değerini göstermektedir.



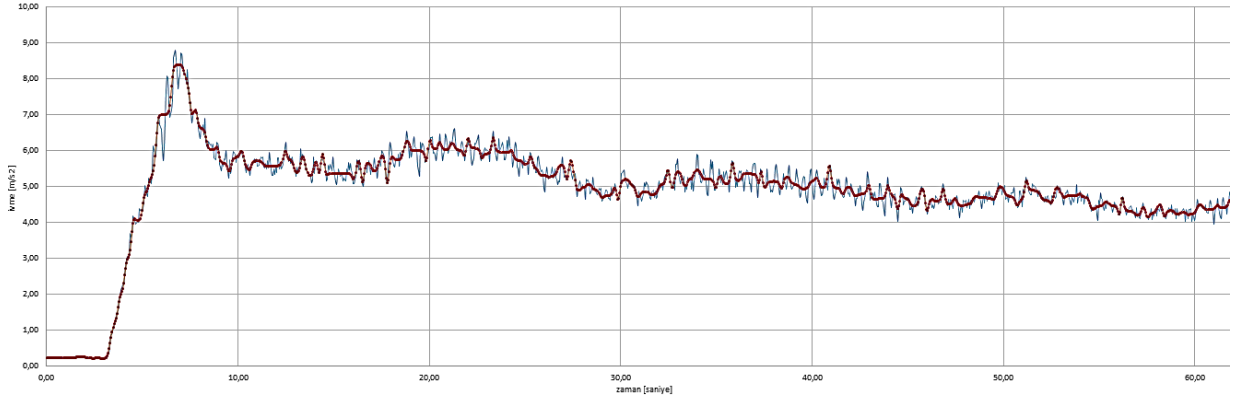
Şekil 7.13. Torna tezgâhı 1500 d/dk, paso derinliği olmadan oluşan fener mili YSA test eğrisi

CNC torna tezgâhında 1500 d/dk, paso derinliği olmadan taret titreşim ve YSA analizi Şekil 7.14’ te gösterilmiştir. Ölçülen pik nokta değerleri her iki ölçümde de aynıdır.



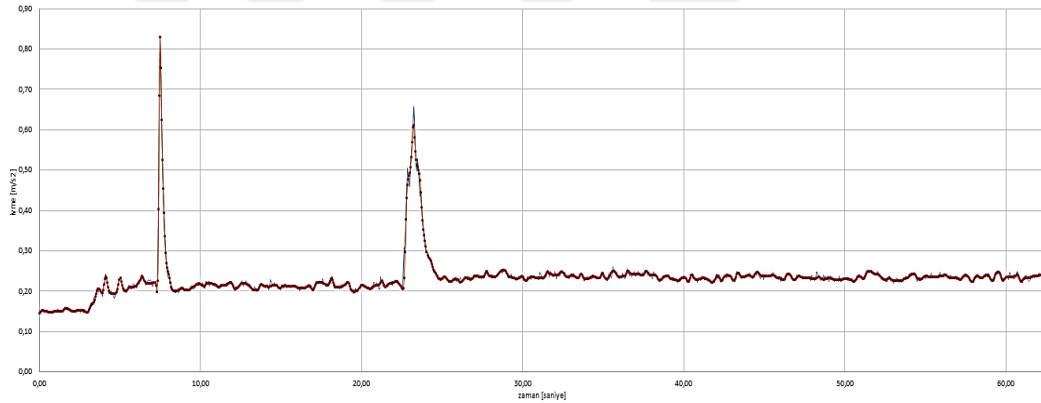
Şekil 7.14. Torna tezgâhı 1500 d/dk paso derinliği olmadan oluşan taret YSA test eğrisi

Şekil 7. 15 1500d/dk, 0.5 mm paso derinliğinde fener mili YSA test eğrisini kapsar. YSA test eğrisindeki değer aralıklarındaki mesafe, titreşim analizinde ki mesafeye göre daha düşük miktardadır.



Şekil 7.15. Torna tezgâhı 1500 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan fener mili YSA test eğrisi

1500d/dk, 0.5mm paso derinliğinde YSA test eğrisi Şekil 7.16' da kırmızı renkte gösterilmiştir. Titreşim eğrisi ve YSA eğrisinde ki değerler arası mesafe miktarı uyusmaktadır.



Şekil 7.16. Torna tezgâhı 1500 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan taret YSA test eğrisi

7.2 Freze Tezgâhında Yapılan Deneyde Yapay Sinir Ağları Sonuçları

Frezeleme işleminde de tornalama işleminde olduğu gibi 0-300 epoch sayısında beşer beşer artırarak hatalar saptanmıştır. Torna tezgâhında olduğu gibi, freze tezgâhında da test eğrisine en yakın eğri 200 Nöron Epoch sayısında saptanmıştır. Yüzey frezelemede titreşim ölçüm cihazından 55 saniye boyunca elde edilen 1250 adet ivme verisi m/s olarak yapay sinir ağlarını içeren teorik programın fitting tool kısmında işlenmiştir. Yapay sinir ağlarının parametreleri ve sonuçları gizli katman sayısı ola 200 nöronda Çizelge 7.3' te, 100 nöron ise Çizelge 7.4'da verilmiştir. Cihaz verilerinin 200 nöron

eğitiminde alınan doğruluk oranı, torna tezgâhında olduğu gibi 100 nöronda alınan doğruluk oranından yüksek olduğu gözlemlendi.

Çizelge 7.3. CNC freze tezgâhı yapay sinir ağı gizli katman 100 nöron eğitim sonuçları

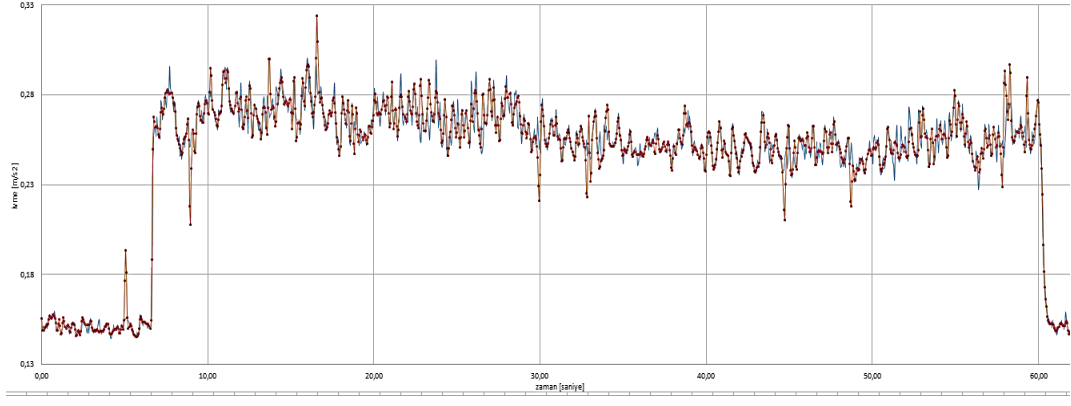
100 NÖRON	VERİ	MSE	R
Eğitim	873	$7,29 e^{-5}$	$5,45e^{-1}$
Doğrulama	187	$6,47 e^{-5}$	$5,22 e^{-1}$
Test	187	$8,45 e^{-5}$	$4,47 e^{-1}$

Çizelge 7.4. CNC freze tezgâhı yapay sinir ağı gizli katman 200 nöron eğitim sonuçları

200 NÖRON	Çevrim	MSE	R
Eğitim	873	$5,97 e^{-6}$	$9,71^{-1}$
Doğrulama	187	$1,47 e^{-5}$	$9,33 e^{-1}$
Test	187	$2,16 e^{-5}$	$8,7 e^{-1}$

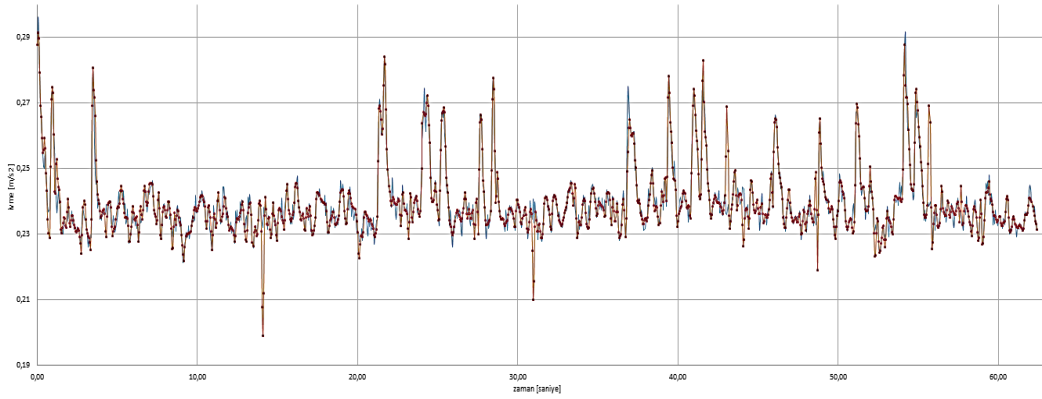
Kesici takımında bulunan bütün kesici uçlar iş parçasına temas etmekte olduğu için iş mili titreşimini bu anda maksimuma çıkarmaktadır. Eğitim eğrilerinde yer alan küçük dalgalanmalar frezeleme esnasında oluşan vurutulardan kaynaklanmaktadır. Genel olarak tabla titreşim eğrilerinde iş miline bağlı kesici takımın, tablaya monte edilmiş iş parçasına temas noktasıdır. Mavi renkteki eğriler titreşim cihaz verilerini, kırmızı renkteki eğriler eğitim sonuçlarını gösterir.

CNC freze tezgâhı fener mili, 500d/dk, paso derinliği olmadan yapılan analizin YSA ve titreşim eğrisi Şekil 7.17' de verilmiştir. 30, 32, 45 ve 58. Saniyelerde YSA eğrisi titreşim eğrisinden sapmaktadır. Bu eğrinin doğruluk oranı %87' dir.



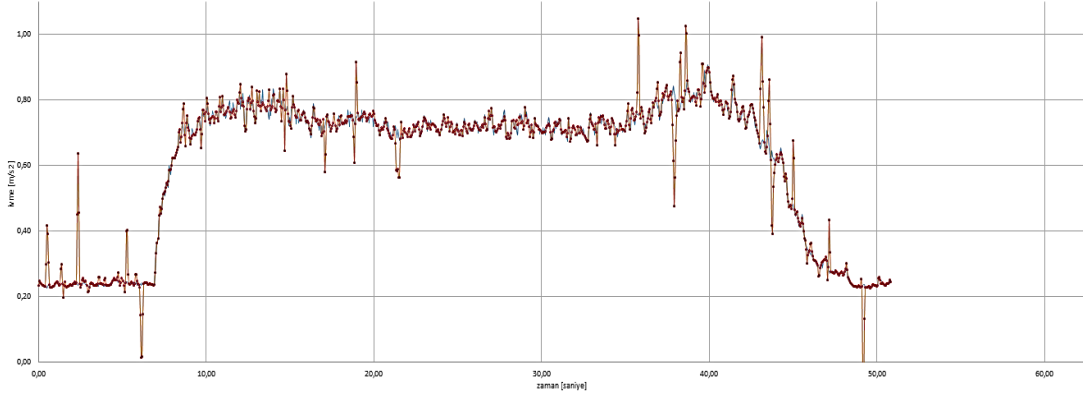
Şekil 7.17. Freze tezgâhı 500 d/dk paso derinliği olmadan oluşan fener mili YSA test eğrisi

CNC freze tezgâhı x-y tablası, 500d/dk, paso derinliği olmadan yapılan analizin YSA ve titreşim eğrisi Şekil 7.18’ de verilmiştir. 1250 adet değerden Sadece 5 adet YSA eğrisi titreşim eğrisinden sapmaktadır. Bu eğrinin doğruluk oranı %87’ dir.



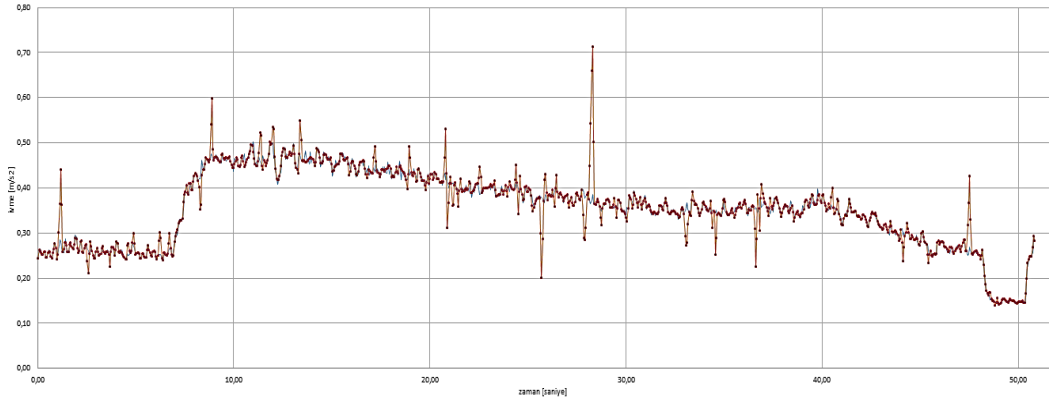
Şekil 7.18. Freze tezgâhı 500 d/dk paso derinliği olmadan oluşan tabla YSA test eğrisi

CNC freze tezgâhı fener mili, 500d/dk, 0.5mm paso derinliğinde yapılan analizin YSA ve titreşim eğrisi Şekil 7.19’ da verilmiştir. Bu eğrinin doğruluk oranı %87’ dir.



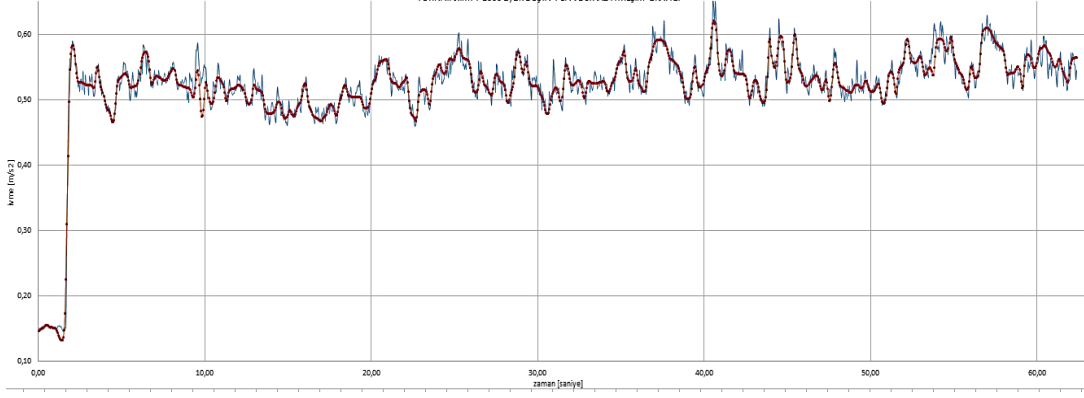
Şekil 7.19. Freze tezgâhı 500 d/dk 0.5mm paso derinliğinde oluşan fener mili YSA test eğrisi

CNC freze tezgâhı x-y tablası, 500d/dk, 0.5mm paso derinliğinde yapılan analizin YSA ve titreşim eğrisi Şekil 7.20’ de verilmiştir. Kırmızı renkteki titreşim eğrisi ile YSA test eğrisi 1250 adet değerden 17 tanesi eğriden sapmaktadır.



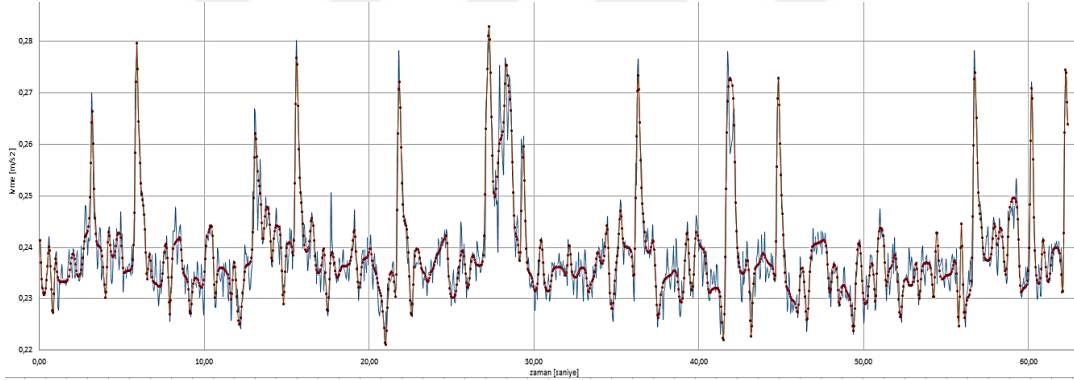
Şekil 7.20. Freze tezgâhı 500 d/dk 0.5mm paso derinliğinde oluşan tabla YSA test eğrisi

CNC freze tezgâhı fener mili, 1000d/dk, paso derinliği olmadan yapılan analizin YSA ve titreşim eğrisi Şekil 7.21’ de verilmiştir. Kırmızı renkteki titreşim eğrisi ile YSA test eğrisi 1250 adet değerden hiçbirisi titreşim eğrisinden sapmamaktadır.



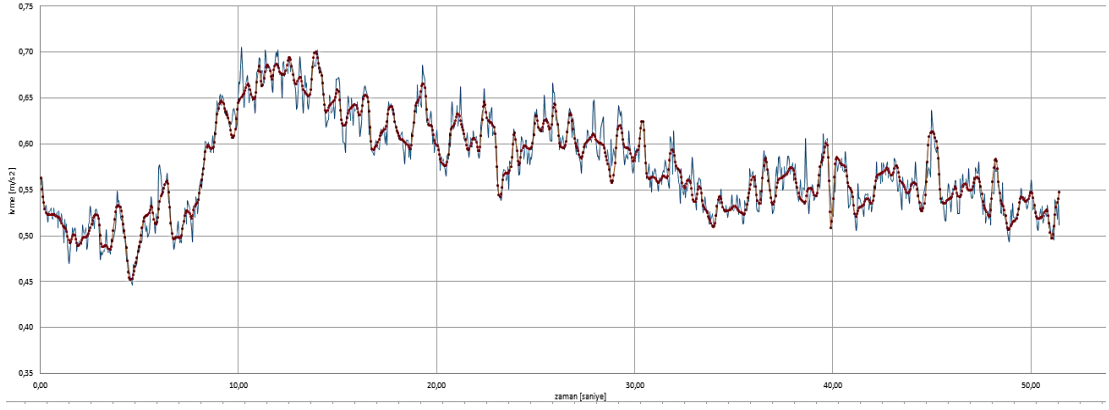
Şekil 7.21. Freze tezgâhı 1000 d/dk paso derinliği olmadan oluşan fener mili YSA test eğrisi

CNC freze tezgâhı x-y tablası, 1000d/dk, paso derinliği olmadan yapılan analizin YSA ve titreşim eğrisi Şekil 7.22’ de verilmiştir. Fener milinde olduğu gibi; kırmızı renkteki titreşim eğrisi ile YSA test eğrisi 1250 adet değerden hiçbiri, titreşim eğrisinden sapmamaktadır.



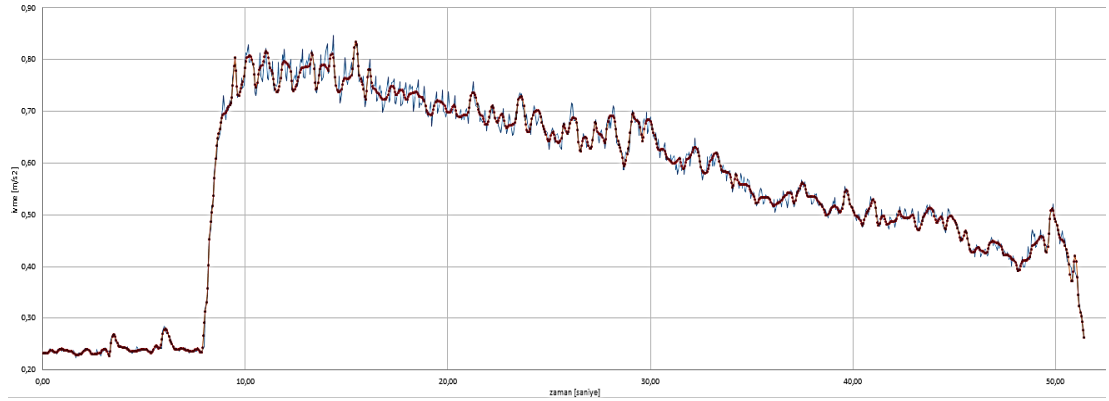
Şekil 7.22. Freze tezgâhı 1000 d/dk paso derinliği olmadan oluşan tabla YSA test eğrisi

Şekil 7.23 CNC freze tezgâhında 1000d/dk, 0.5 mm paso derinliğinde fener mili test eğrisini kapsamaktadır. Kırmızı renkteki eğri YSA eğrisi, mavi renkteki titreşim eğrisinden sapmamaktadır.



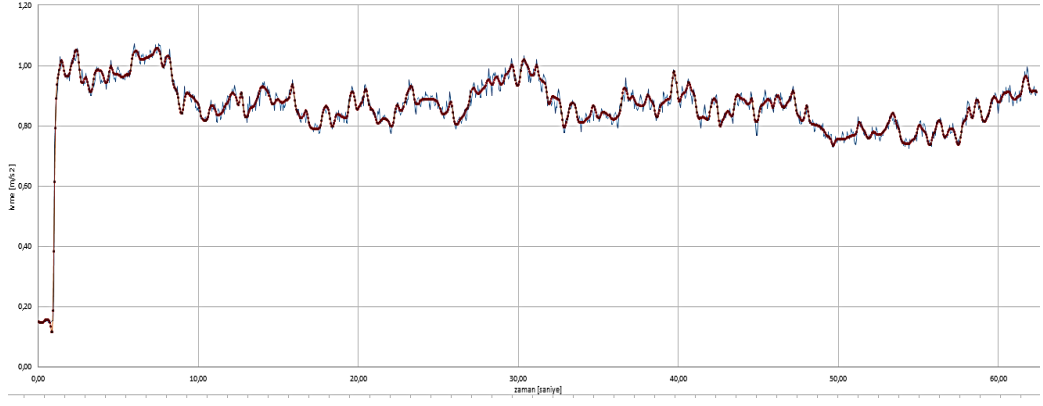
Şekil 7.23. Freze tezgâhı 1000 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan fener mili test eğrisi

Şekil 7.24 CNC freze tezgâhında 1000d/dk, 0.5 mm paso derinliğinde x-y tablası test eğrisini kapsamaktadır. Kırmızı renkteki eğri YSA eğrisi, mavi renkteki test eğrisinden sapmamaktadır



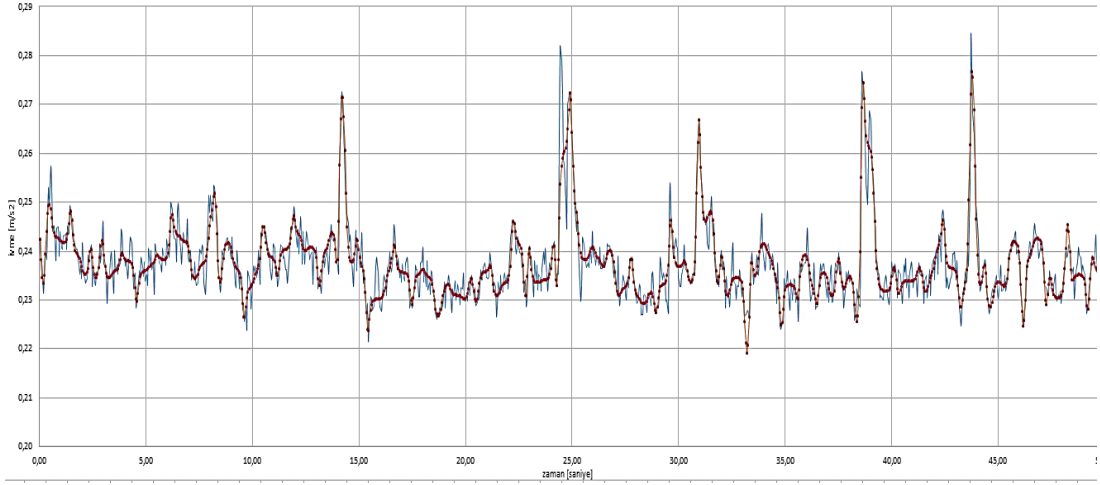
Şekil 7.24. Freze tezgâhı 1000 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan tabla test eğrisi

Freze tezgâhının fener milinde 1500d/dk paso derinliği olmadan yapılan ölçümde eğrinin 5 m/s^2 li değerlere ulaşması 2. Saniyeden itibaren, Şekil 7.25' te görüldüğü gibi başlamıştır. Aynı şekilde titreşim cihazından alınan YSA verileri ile hazırlanan kırmızı renkteki eğride titreşim eğrisi gibi dalga boyları oluşturmuştur.



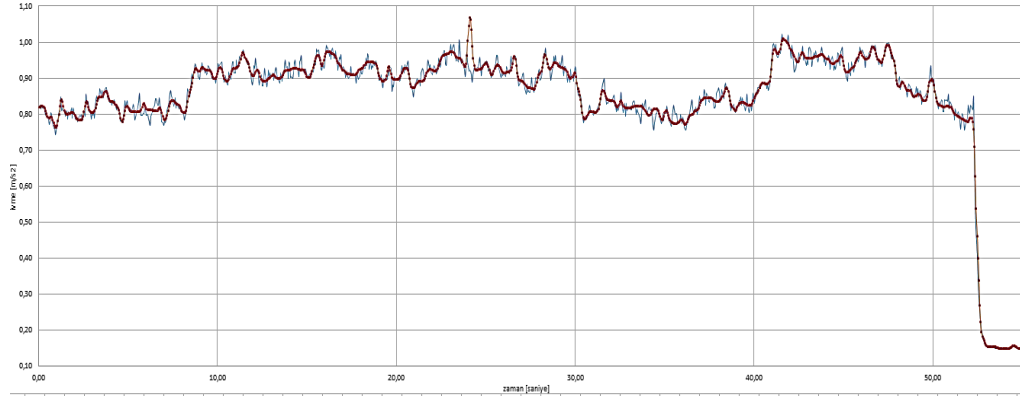
Şekil 7.25. Freze tezgâhı 1500 d/dk paso derinliği olmadan oluşan fener mili YSA test eğrisi

Şekil 7.26' da Freze tezgâhının x-y tablasında 1500d/dk paso derinliği olmadan yapılan ölçümde eğrinin 0,22 ve 0,28 m/s² değerli arasında dalgalar oluşturduğu görülmektedir. Aynı şekilde titreşim cihazından alınan YSA verileri ile hazırlanan kırmızı renkteki eğride titreşim eğrisi gibi dalga boyları oluşturmuştur.



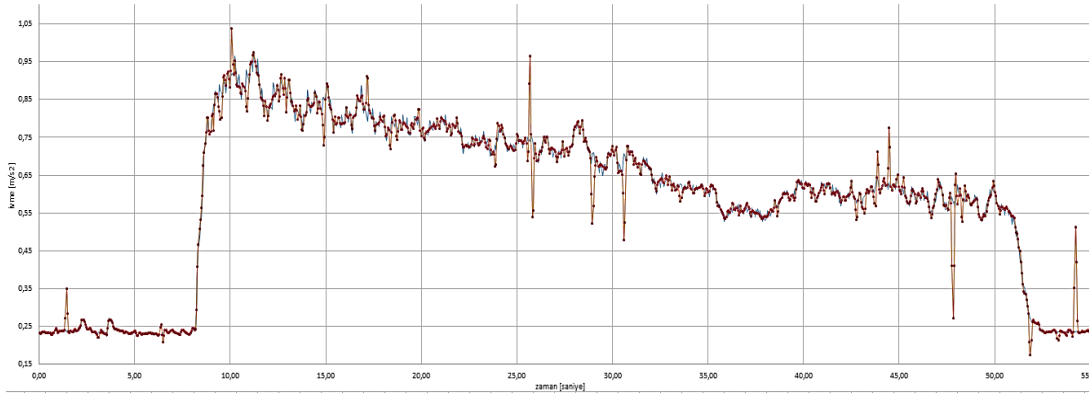
Şekil 7.26. Freze tezgâhı 1500 d/dk paso derinliği olmadan oluşan tabla YSA test eğrisi

Şekil 7.27' de Freze tezgâhının fener mili 1500d/dk 0.5 mm paso derinliğinde yapılan ölçümde eğrinin ilk saniyelerde 0,75 ve 0,84 m/s² değerlerde devam ettiği; iş parçasının frezeleme işleminin bittiği 52. Saniyeden itibaren yaklaşık 0,1 m/s² düştüğü gözlemlenildi. YSA verileri ile hazırlanan kırmızı renkteki eğride titreşim eğrisi gibi dalga boyları oluşturmuştur.



Şekil 7.27. Freze tezgâhı 1500 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan fener mili test eğrisi

Şekil 7.28' de Freze tezgahının x-y tablası, 1500d/dk 0.5 mm paso derinliğinde yapılan ölçümde 55 saniye boyunca 1250 adet değerden oluşan eğrinin, YSA test eğrisinde sadece 17 adet değerde titreşim eğrisinden saptığı görülmektedir.



Şekil 7.28. Freze tezgâhı 1500 d/dk 0.5 mm paso derinliğinde oluşan tabla test eğrisi

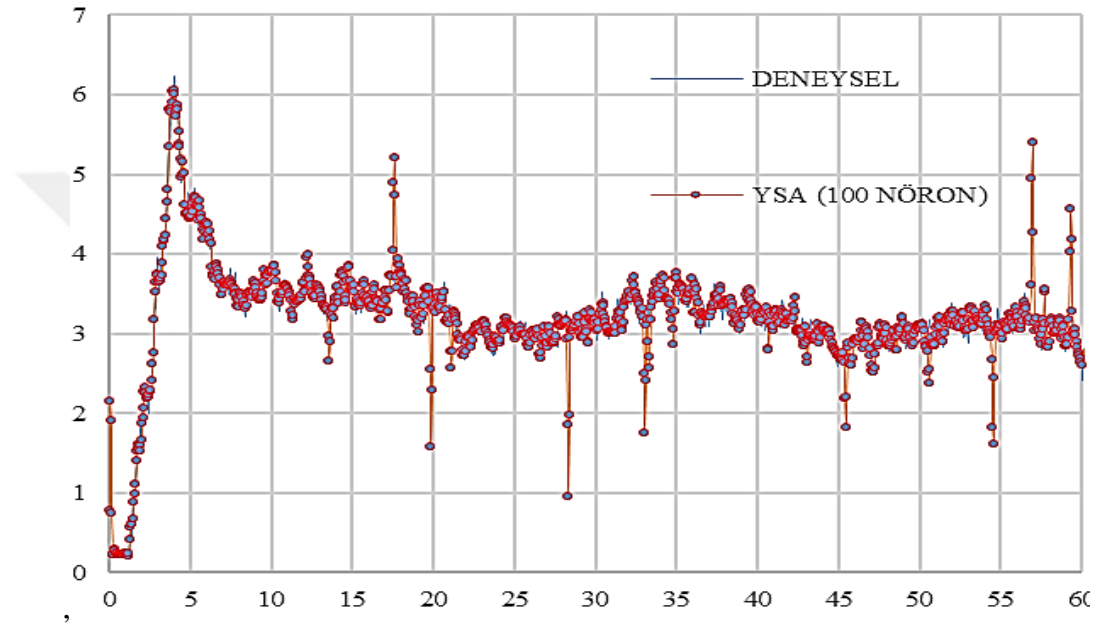
7.3 CNC Torna ve Freze Tezgâhlarında Oluşan Titreşim Sonuçları

Her iki tezgâh çeşidi için yapılan test eğrilerinde gizli katman sayısı 200 Nöronda yapılan eğrilerin doğruluk oranı 100 Nöronda yapılan eğrilerden yüksektir. Gizli katman 100 Nöron sayısında oluşturulan eğriler 1500 d/dk dönme hızında ki grafiklerden oluşmaktadır.

Her grafikte kırmızı renkte işaretlenmiş eğri 100 nöron test sayısını, mavi renkteki eğri 200 nöronu temsil eder. 100 nöronda yapılan test, cihaz verilerinden sapmaktadır.

7.3.1 CNC torna tezgâhında 100 nöron eğitim sonuçları

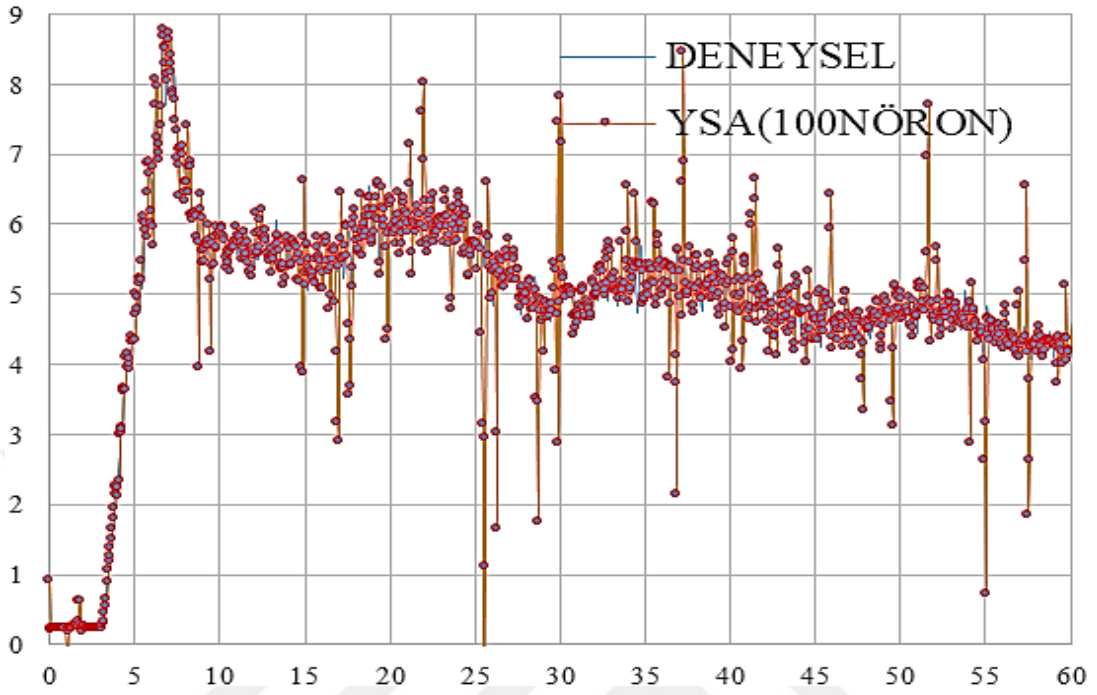
Şekil 7.29 da paso derinliği olmadan torna tezgâhının fener milinin, 1500 d/dk' de gerçekleşen 200 nöron sayılı analizde; 55- 60. Saniye aralığında titreşim eğrisi 2,8 ve 3,2 m/s² aralığında iken YSA test eğrisi 100 Nöronda bu değer 1,5 ve 5,2 m/s² aralığındadır. Bu durum da 100 Nöron da yapılan eğitim testleri yanıtıcı olabileceği saptanmıştır.



Şekil 7.29. CNC torna fener mili paso derinliği olmadan 100 nöron eğitim sonucu

Şekil 7.30 da Cnc torna tezgâhının taret kısmında,1500 d/dk' de gerçekleşen 200 nöron değerlerinin pik noktası 0,24 m/s² iken 100 Nöronda bu değer 0,28 m/s²' ye ulaşmıştır. Bu durum da 100 Nöron da yapılan eğitim testleri yanıtıcı olabileceği saptanmıştır.

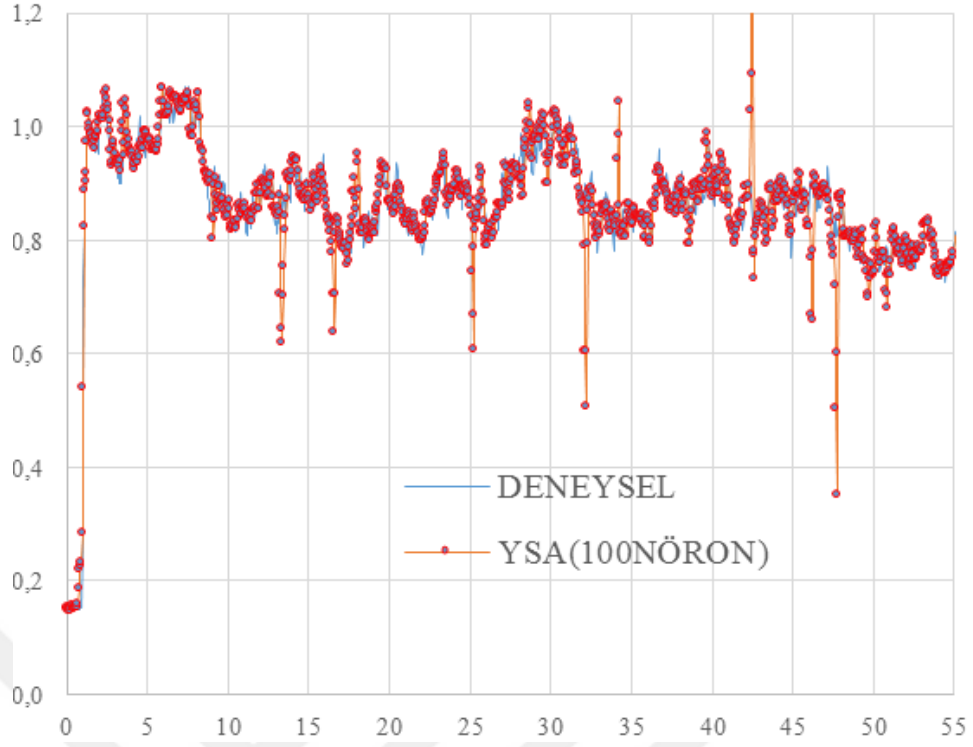
Şekil 7.32 de 0,5 mm paso derinliğinde gerçekleşen fener mili 200 nöron titreşim eğrisi ile 100 Nöron test eğrisi değer aralıkları her anda birbirileri ile oldukça farklıdır.



Şekil 7.32. CNC torna fener mili 0.5 mm paso derinliğinde 100 nöron eğitim eğrisi

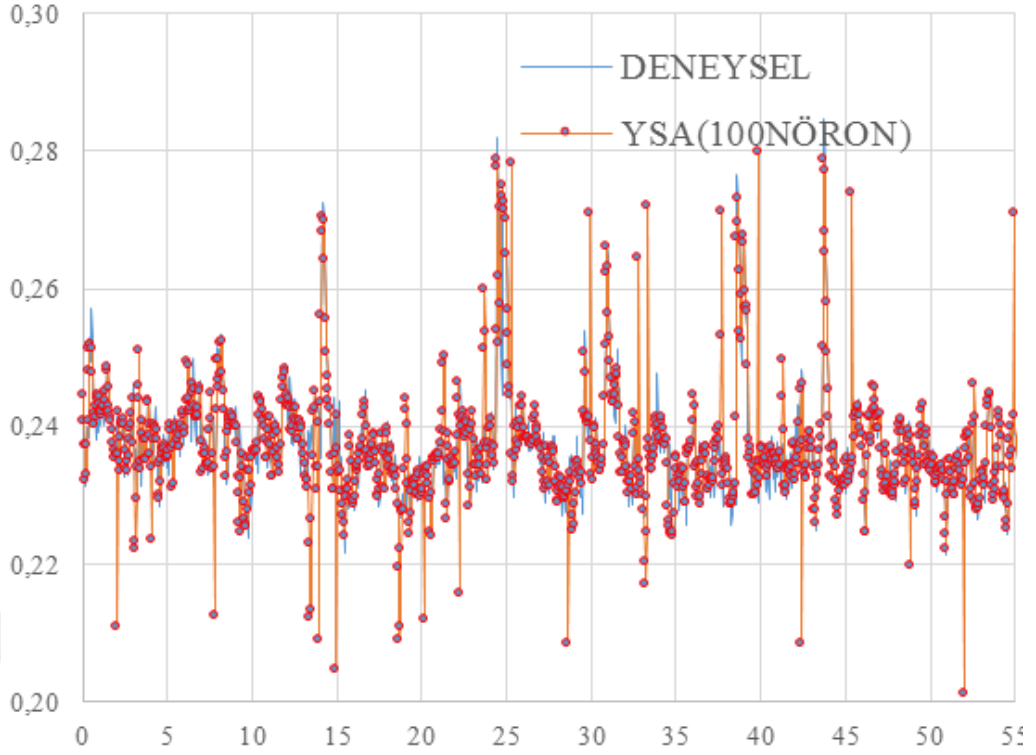
7.3.2 CNC freze tezgâhında 100 nöron eğitim sonuçları

Şekil 7.33 CNC freze tezgâhı 1500d/dk de 0,5 mm paso derinliği olmadan gerçekleşen fener mili 200 nöron titreşim eğrisini içermektedir. ile 100 Nöron test eğrisi ile oldukça farklıdır. Deneysel test eğrisinin pik noktası $1,1 \text{ m/s}^2$ iken 100 nöron test eğrisinin pik noktası $1,2 \text{ m/s}^2$ dir.



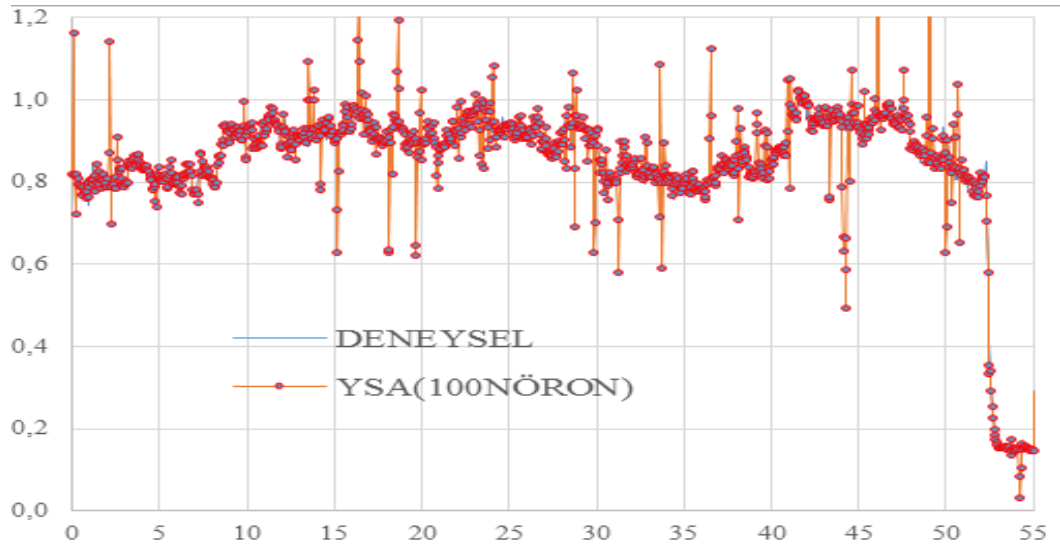
Şekil 7.33. CNC freze fener mili paso derinliği olmadan 100 nöron eğitim eğrisi

Şekil 7.34 CNC freze tezgâhı 1500d/dk de 0,5 mm paso derinliği olmadan gerçekleşen x-y tablası 100 nöron titreşim eğrisini içermektedir. Eğrinin pik noktası ve eğri dalga boyları deneysel analize oldukça farklıdır.



Şekil 7.34. CNC freze tablası paso derinliği olmadan 100 nöron eğitim grafiği

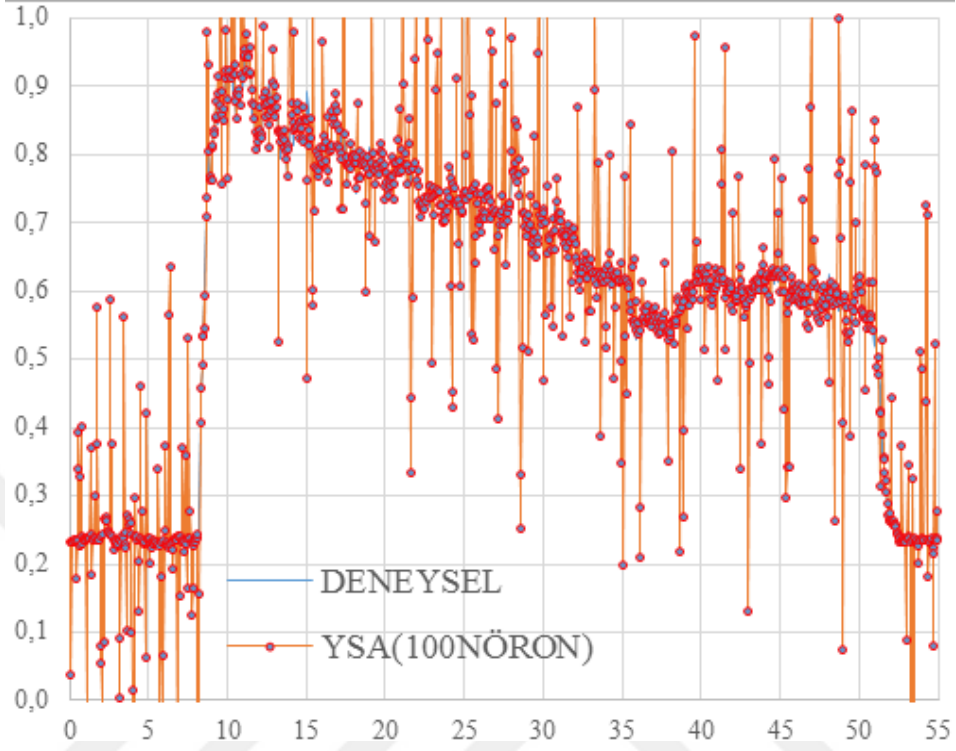
Şekil 7.35 CNC freze tezgâhı 1500d/dk de 0,5 mm paso derinliğinde gerçekleşen fener mili 100 nöron titreşim eğrisini içermektedir. Eğrinin pik noktası deneysel analizde yaklaşık 1m/s^2 iken, 100 nörondaki eğri $1,2\text{ m/s}^2$ değerini aşmaktadır.



Şekil 7.35. CNC freze fener mili 0.5 mm paso derinliğinde 100 nöron eğitim eğrisi

Şekil 7.36 CNC freze tezgâhı 1500d/dk de 0,5 mm paso derinliğinde gerçekleşen x-y

tablası 100 nöron titreşim eğrisini içermektedir. Eğrinin pik ve dip noktaları şekil 7.36 da görüldüğü gibi birbirinden oldukça farklıdır.



Şekil 7.36. CNC freze tabla 0.5 mm paso derinliğinde 100 nöron eğitim eğrisi

BÖLÜM VIII

SONUÇLAR

Torna için titreşim değerlerinin en yüksek seviyede olduğu noktalar; kesici takımın iş parçasına temas ettiği noktalardır. İlerleyen süreçte titreşimin belirli oranlarda azaldığı görülmektedir. Bu azalmanın sebebi ise kesici takım, tezgâh aynasına yaklaştıkça oluşan moment, kuvvet çarpı kuvvet kolu mantığı ile mesafe azaldığı için moment düşmekte ve fener milinde oluşan titreşimi azaltmaktadır.

Freze tezgâhında, titreşim değerlerinin en yüksek olduğu nokta, iş parçası ve kesici takımın temas ettiği alanının en yüksek olduğu noktadır. Kesici takımda bulunan bütün kesici uçlar iş parçasına temas etmekte olduğu için iş mili titreşimini bu anda maksimuma çıkarmaktadır.

Bu çalışmada, CNC torna tezgâhının fener mili ve tarete bağlı bulunan kesici takım titreşimi, cnc freze tezgâhının fener miline bağlı bulunan kesici takım ve tabla titreşiminin kesici karbür uca etkisi en küçük kareler yöntemi olarak da bilinen Levenberg-Marquardt yöntemi incelendi. Analizler sayesinde deneysel olarak doğrulandı. Silindirik dış çap tornalama ve yüzey frezeleme işlemlerinde oluşan titreşimler için yapay sinir ağları oluşturuldu.

- Farklı yük hızında ve paso sayısında kesici uçların krom ve çelik alaşımlara sahip numunelerin işlenmesinde performans analizi YSA tarafından tahminlendi.
- Diğer taraftan LMM yapısında kullanılan YSA tahmin modeli yaklaşık %99,4 doğrulukta tahminler gerçekleştirildi.
- Sonuçlarda da görüleceği gibi; LMM tipi yapay sinir ağları ile yapılan çalışma ile nümerik kontrollü CNC takım tezgâhlarında; farklı pasolarda ve farklı hızlarda; performans analizi için gerçek zamanlı, deneysel uygulamalarda çok yaygın bir şekilde uygulanabilirler.
- Titreşim ölçüm cihazından elde edilen veriler sayesinde tezgâhın devir ilerleme kontrolü sağlanabilir. Kesici uç aşınmasının nedenlerinden talaşlı imalat esnasındaki titreşim grafiklerinde ani dalgalanmalar ani yüklenmeler kesici uca etki etmektedir.

8.1 Gelecekte Çalışma Ve Öneriler

Bu tez çalışması CNC tornalama ve frezeleme operasyonlarında oluşan titreşim ölçüm deneyleri farklı devir ve ilerlemeler de ve paso derinliklerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyde talaş kaldırma işleminde belirli devirlerden daha farklı devir ve ilerleme hızlarında ölçüm yapılarak; titreşim grafikleri elde edilmelidir. Her iki tezgâhta, sadece tek tip kesici uç kullanılmıştır. Yani kesici uç Radius, kaplama çeşit ve talaş kırıcı gibi özelliklerin değişimi dikkate alınmamıştır. Aslında endüstride birçok değişik kesici uç kullanılmaktadır. Dolayısıyla gelecek çalışmalarda takım geometrisi ve özelliklerinin değişimlerini dikkate alarak süreç sönümlenme analizi yapılabilir.



KAYNAKLAR

Büyükşahin, U., 3 eksenli CNC tezgah tasarımı ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 12-13, 2005.

Caixu, Y., “A review of chatter vibration research in milling”, *Chinese Journal Of Aeronautics* 32(2), 215-242, 2019.

Çalığıülü, U., Türkmen, M., Çanakçı, A., ve Gökdaş, M., PTA “Kaynak yöntemi ile birleştirilen OPTİM 700 MC-St37 malzemelerinin X-Ray radyografisi”, *1. Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu*, Batman , s. 466-474,3-5 Mayıs, 2018.

Dalmış, F., CNC tezgâhlarında işleme esnasındaki titreşimleri analiz ederek cnc operatörüne rehberlik eden bir sistem geliştirilmesi, Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, s. 3-6, 2012.

Dere, M., ”Experimental investigation of the effects of workpiece diameter and overhang length on the surface roughness in turning of free machining steel and modelling of surface roughness by using ANFIS”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34(2), 675-686, 2019.

Gülesin, M., Güllü A., Özdemir A., ve Uluer, O., Solidworks 2007 ile modelleme, 1. Cilt, *Asil Yayın Evi*, Ankara, 2007

Gürbüz, H., ve Baday Ş., ”CNC torna tezgâhlarında ayna ve punta basıncının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerine etkisinin Taguchi metodu ile optimizasyonu”, *BŞEU Fen Bilimleri Dergisi* 6 (2), 119-134, 2019.

Haas, Part list, <https://www.parts.haascnc.com/haasparts/en/USD/Find-Replacement-Parts/Spindle>, 2016

Howe, H., "Numerically controlled milling machine", *Popular Science* 167(2), 219-224,1955.

Huame, B., "The analysis and diagnosis of machine tool spindle's fault based on the vibration test", *Advances in Engineering Research* 63, 843-847, 2016.

McCulloch W., "A logical calculus of the ideas immanent in neurons activity", *Bull.Math Biophys* 5, 115-133, 1943.

Mete T., Kesikli bir biyoreaktörde yapay sinir ağlarının kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s 3-6, 2008.

Milenko, S., Miodrag., H., and, Renata, T., "Influence of material properties on the machinability in face milling", *Materials and Technology* 46 (6), 601–606, 2012.

Milton S., Metal Cutting Principles, 2nd ed., *Oxford Universty*, New York, 2005.

Muhammad, B., and Feng, J., "Dynamic damping of machining vibration: a review", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 89(10), 2935–2952, 2017.

Myress A., "Active vibration control for a CNC milling machine, proceedings of the institution of mechanical engineers", *Journal of Mechanical Engineering Science* 228(2), 230-245, 2013.

Neşeli, S., Tırlama titreşimleri üzerine süreç sönümlenme etkisinin analitik olarak araştırılması ve tornalamada kararlı kesme derinliği ile süreç sönümlenme değerlerine bağlı parametre optimizasyonu, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s 8-15,2013.

Prototechasia, Definition, and history of NC Machining, <https://prototechasia.com/en/plastic-cnc-machining/history-cnc>, July 2020

Shahin, N., and Steffen J., 1st ed., Analysis of machine elements using solidworks simulation, *Routledge*, London, 2017.

Shanshin, I., Shagniev, O., and Burdakov, F., “Adaptive self-excited vibrations suppression during milling”, *Journal of Physics, Conference Series*, Saint-Petersburg, s. 1-2, 21–22 Mart 2019.

Tezmaksan, CNC torna tezgâhı kullanım alanları, <https://www.tezmaksan.com.tr/cnc-torna-tezgahlari-ve-kullanim-alanlari-haberdetay-553>, Şubat 2015.

Yıldırım, A., Pakdil, M., Doğantan, Z., ve Çakan, A., “Mühendislik malzemeleri III” 9. Yayın, *Dora Yayın evi*, Kütahya, 2012.

Wszolek, G., Czop P., Sloniewski J., and Doğruşoz H., “Vibration monitoring of CNC machinery using MEMS sensors”, *Journal of Vibroengineering* 22 (3), 735-750, 2019.

ÖZ GEÇMİŞ

.... doğumluyum. İlk, orta ve lise eğitimi yılına kadar de tamamladım. Yükseköğrenim için yılında Konya Selçuk Üniversitesine gittim. yılında Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldum. yılında Hipomak Hidrolik pompa firmasında yeni ürün tasarımcısı ve imalat Mühendisi olarak görev yaptım. 2018 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliğinde Yüksek Lisans Eğitime başladım. Daha sonra 2018 yılında Tekrar memleketim olan Niğde iline geldim Tom Hisar pompa firmasında tasarım ve imalat mühendisi olarak görevime devam etmekteyim.

