

**ÜRETİM TEZGÂHLARINDA ZEMİN TİTREŞİMİ
VE YALITIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Cahit EKEN

Danışman

Prof. Dr. Abdurrahman KARABULUT
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2017

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÜRETİM TEZGÂHLARINDA ZEMİN TİTREŞİMİ VE YALITIMI
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Cahit EKEN

Danışman

Prof. Dr. Abdurrahman KARABULUT

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2017

TEZ ONAY SAYFASI

Cahit EKEN tarafından hazırlanan “Üretim Tezgahlarında Zemin Titreşimi Ve Yalıtımı Üzerine Bir Araştırma” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 30/06/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Abdurrahman KARABULUT

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Başkan : Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Mustafa AYDIN

Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.


30/06/2017
Cahit EKEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÜRETİM TEZGÂHLARINDA ZEMİN TİTREŞİMİ VE YALITIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Cahit EKEN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdurrahman KARABULUT

Üretim tezgâhlarında çalışma sırasında oluşan kuvvetler tezgâhın salınımına sebep olmaktadır. Bu salınımlar yakında bulunan diğer tezgâhları olumsuz yönde etkilemekte ve gürültü oluşmasına da sebep olmaktadır. Bu olumsuzlukların giderilmesi için tezgâh ayaklarının altına izolasyon malzemesi yerleştirilerek tezgâh titreşim hareketinin zemine geçmesi engellenmektedir. Tezgâh yalıtım malzemesi çok çeşitli ürünlerden yapılmakta, yalıtım malzemesinin seçimi tezgâh kütlesi ve tezgâhın ürettiği kuvvete bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, torna tezgâhı titreşim yalıtımı üzerinde inceleme yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda yalıtım malzemesi kullanmadan tezgâh gövdesinin ve zeminin titreşim değerleri ölçülmüş daha sonra tezgâh ayaklarına yalıtım malzemesi konularak tezgâh ayaklarının ve zeminin eş zamanlı olarak yer değiştirme ve ivme değerleri ölçülmüştür. Bu değerler Kartezyen koordinatları oluşturularak çizelge halinde sayısal değerler ile zamana bağlı gösterilmiştir. Değerler arasında grafikler oluşturulmuş yer değiştirme ve ivme grafiklerinin birbirlerine göre uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Torna tezgâhı ayakları ile zemin arasına ivme ve yer değiştirmede büyük farkın olduğu görülmüştür. İzolasyon malzemesi kullanılarak yapılan ölçümlerin izolasyonsuz ölçümlerden daha küçük olduğu görülmüştür. Tezgâh ayaklarında kullanılan titreşim sönümleyici sayesinde zemine geçen titreşim miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

2017, xii+66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Torna tezgâhları, torna tezgâhlarında titreşim, titreşim yalıtımı, zemin titreşimi.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

A RESEARCH ON GROUND VIBRATION AND ISOLATION IN PRODUCTION MACHINE TOOLS

Cahit EKEN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Abdurrahman KARABULUT

The vibration isolation of the lathe machine has become more important each and each day. The forces which come off during processing time of the lathe machine are the reason of oscillation. These oscillations also impact the other lathe machines around. In addition to that those forces make so much noise. In order to decrease these kind of negativensses by mounting an isolation material under the each of the column of the lathe machine which can absorb the same amount of vibration that comes off from the lathe to stop the vibration movement to be delivered to the ground. The vibration isolation material of the lathe machine can be made from various products. The material selection is related to mass of the lathe machine and the forces it genaretes. In this paper, the vibration isolation of the lathe machine is studied. In accordance with this purpose, the vibration of the trunk of lathe machine and the vibration of the ground was measured without using an isolation material afterwards the isolation material was added to the columns of the lathe machine then by the acceleration and the displacement values of the columns and the ground were measured simultaneously. The graphs were created between the values and it had been seen that the displacement and acceleration graphs are coherent to each other. The big difference has been seen between columns of the lathe machine and the ground on the displacement and acceleration values. The measured values with an isolation material has been noted lower than the values without an isolation material. It has been seen that the amount of the vibration which was being

delivered to the ground was decreased with the use of a dumper on the column of the lathe machine.

2017, xii+66 pages

Keywords: Lathe tools, tools vibration, isolation of the lathe, ground vibration.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılardan dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Abdurrahman KARABULUT, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Kenan YAğMURLU, Sayın Enes KARABULUT, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma, kıymetli eşime ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Cahit EKEN

AFYONKARAHİSAR, 2017

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
Sayfa	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	7
3. MATERYAL METOT	14
3.1 Materyal	14
3.1.1 Dört Kanallı (Datalogger) Titreşim Ölçme Cihazı.....	14
3.1.2 Torna Tezgâhı.....	16
3.1.3 İzolasyon Malzemesi	18
3.1.3.1 Neopren pedler	18
3.1.3.2 Neopren ayaklar ve askılar	19
3.1.3.3 Çelik yaylar	19
3.1.3.4 Hava yayları.....	19
3.1.3.5 Çelik veya beton kaideler	20
3.1.3.6 Yüzer beton kaideler.....	20
3.1.3.7 Kauçuk genleşme parçaları.....	21
3.2 Metot	22
3.2.1 Titreşim Teorisi	22
3.2.2 Hareket Denklemi Oluşturma Yöntemleri.....	27
3.2.2.1 Dinamiğin Hareket Kanunu.....	28
3.2.2.2 Lagrange yöntemi	28
4. BULGULAR.....	30
4.1. Torna Tezgâhı Deney Düzenegi.....	30
4.2 Yer Değiştirme ve İvme Değerleri	31
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	61

6. KAYNAKLAR	63
İnternet Kaynakları	65
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

m	Kütle
$x - y$	Yay mesafesi
$(x' - y')$	Sönümleyici hızı
y	Baz hareketin büyüklüğü
ω_b	Baz salınım frekansı
F_0	Sönümleyici cisim kuvveti
x_p	Özel çözüm
ζ	Sönümlenme katsayısı
ω_n	Normal frekans
θ	Faz açısı
$\frac{x}{y}$	Yer değiştirme iletkenliği
$\frac{\omega_b}{\omega_n}$	Frekanslar oranı
γ	Frekans oranı
r	Sönümlenme oranı
F_T/kY	Kuvvet iletimi genliği
x_S	Statik yer değiştirme
x_d	Dinamik yer değiştirme
k	Yay sönümlenme katsayısı
P_{net}	Sisteme verilen net toplam güç
E_t	Toplam enerji
P_g	Sisteme verilen mekanik güçlerin toplamı
P_V	Sistemin dışarıya verdiği güçlerin toplamı
P_d	Sönümleyici elemanlardan dışarı atılan ısı güçlerinin toplamı
q	Bir sistemin i genel koordinatı
Q	Koordinata etki eden kuvvetlerin toplamı
δ	Kuvvetlerin yaptığı iş
δ_w	Sanal iş

Kısaltmalar

SLD	Stabilite Lob Diyagramları
TDS	Zaman Domenli Simülasyon
OTF	Yönlendirilmiş Transfer Fonksiyonu
EMM	Elektro Kimyasal Mikro-Metrasyon
HSM	Yüksek Hızlı Talaş İmalat
WAM	Titreşim Destekli İşletme
BNC	Kablo bağlantı elemanı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Değişik izolasyon malzemeleri.	21
Şekil 3.2 Harmonik yer değiştirme ile tahrik alan kütlelerinin hareket modeli.	23
Şekil 3.3 Yerdeğişim iletim derecesinin sönüm oranı için boyutsuz sapması (Inman 2013).	25
Şekil 3.4 Frekans oranlarına göre kuvvet iletimi (Inman 2013).	27
Şekil 3.5 Tek serbestlik dereceli sistem.	28
Şekil 4.1 Torna tezgâhı üzerinde sensörlerin gösterilmesi.	30
Şekil 4.2 Torna sol ayak ve zemin ivme değerleri.	33
Şekil 4.3 Torna sağ ve sol ayak ivme değerleri.	34
Şekil 4.4 Titreşim yalıtımsız zemin ivme değerlerinin gösterilmesi.	35
Şekil 4.5 Torna tezgâhı sağ ayak ve zemin titreşim ivme değerleri.	36
Şekil 4.6 Torna sol ayak ve zemin titreşim yalıtımsız bağlantıda sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.	38
Şekil 4.7 Torna tezgâhı ayaklarının yalıtımsız bağlantıda sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.	39
Şekil 4.8 Torna toplam titreşim yalıtımsız bağlantıda sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.	40
Şekil 4.9 Tornanın titreşim sönümleyici kullanılmadan sağ ayak ve zeminin ölçülen yer değiştirme değerleri.	41
Şekil 4.10 Tornanın titreşim sönümleyici kullanılarak (sol ayak – sol ayak zemini) ölçülen ivme değerleri.	43
Şekil 4.11 Tornanın titreşim sönümleyici kullanılarak ölçülen (sol ayak – sağ ayak) titreşim ivme değeri.	44
Şekil 4.12 Tornanın titreşim sönümleyici kullanılarak (sol ayak zemini – sağ ayak zemini) titreşim ivme değeri.	45
Şekil 4.13 Tornanın titreşim sönümleyici kullanılarak (sağ ayak – sağ ayak zemini) titreşim ivme değeri.	46
Şekil 4.14 Torna (sol ayak – sol ayak zemini) titreşim yalıtımlı bağlantıda sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.	48
Şekil 4.15 Torna (sol ayak – sağ ayak) titreşim yalıtımlı bağlantıda sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.	49
Şekil 4.16 Torna (sol ayak zemini - sağ ayak zemini) titreşim yalıtımlı sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.	50
Şekil 4.17 Torna (sağ ayak - sağ ayak zemini) titreşim yalıtımlı sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.	52

Şekil 4.18 Torna (sol ayak) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin ivme değerlerinin gösterilmesi.....	53
Şekil 4.19 Torna (sol ayak zemini) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin ivme değerlerinin gösterilmesi.	54
Şekil 4.20 Torna (sağ ayak) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin ivme değerlerinin gösterilmesi.	55
Şekil 4.21 Torna (sağ ayak zemini) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin ivme değerlerinin gösterilmesi.	56
Şekil 4.22 Torna (sol ayak) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin yer değiştirme değerlerinin gösterilmesi.	57
Şekil 4.23 Torna (sol ayak zemini) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin yer değiştirme değerlerinin gösterilmesi.....	58
Şekil 4.24 Torna (sağ ayak) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin yer değiştirme değerlerinin gösterilmesi.	59
Şekil 4.25 Torna (sağ ayak zemini) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin yer değiştirme değerlerinin gösterilmesi.....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Titreşim sönümleyici kullanılmadan elde edilen ivme sayısal değerleri. ...	32
Çizelge 4.2 Titreşim sönümleyici olmadan elde edilen yer değiştirme sayısal değerleri.....	37
Çizelge 4.3 Titreşim sönümleyici kullanılarak elde edilen ivme değerleri.	42
Çizelge 4.4 Titreşim sönümleyici kullanılarak elde edilen yer değiştirme değerleri.	47

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 3.1 Datalogger ve teknik özellikleri.....	15
Resim 3.2 Torna tezgâhı.	16
Resim 3.3 Dört kanallı datalogger ve torna tezgâhı.....	17
Resim 3.4 Kauçuk izolasyon malzemesi.....	18

1.GİRİŞ

Genellikle malzemelerin şekillendirilmesi talaşlı imalat yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Malzemelerin işlenmesi için kesici takımların iş parçasına uyguladığı kuvvetler tezgâh üzerinde sarsıntıya sebep olacaktır. Sarsıntı kuvvetlerin şiddetine bağlı olarak değişir.

Talaş kaldırma sırasında zorlanmış titreşim meydana gelmektedir. Zorlanmış titreşim, takım tezgâhının mekanik hareketlerinin toplam etkisinin sonucu olarak ortaya çıkan titreşimdir. Bunun dışında oluşan diğer titreşim ise, kendiliğinden oluşan titreşim yani talaş kaldırmadan dolayı, tezgâhtan ve dış çevreden bağımsız olarak oluşan tırlama titreşimidir. Tırlama titreşimi, iş parçalarının boyutsal tamlığında azalma, düşük işleme hassasiyeti, kesici takım aşınmaları ve kırılmaları, takım tezgâhının zarar görmesi gibi üretimi sınırlayan etkenlerin yanında çalışma ortamında aşırı sestən dolayı gürültüye de sebep olur. Bu titreşim ve ses sistemin rijitliğine göre aşırı talaş genişliği gibi şartlar altında başlayarak çabucak gelişir ve büyük genliklere erişerek kesme kuvveti periyodik biçimde değişebilir. İşlenmiş yüzeydeki dalgalanmalar ve titreşimler aşırı olarak değişir.

Tırlama, bu titreşimlerle birleşen ses ve işlenen yüzey üzerinde kesici takımın bıraktığı izler ile kolaylıkla görülebilir. Üretim alanında tezgâhların hassasiyeti günden güne artmaktadır. Kaliteli ve hassas üretim için bu durum kaçınılmazdır. Bununla beraber üretilen mamullerde yüksek hassasiyette olması istenmektedir. Ürün kalitesini belirleyen tezgâhın kalitesidir. Üretim alanında kesici takımların üzerindeki çalışmalar iyi bir noktaya getirilmiştir. Tezgâh rijitliği ile birlikte yüksek toleransta ürün elde etme imkanına mümkün hale gelmiştir. Bu arada tezgâh şartlarını etkileyen dış etmenler de vardır. Tezgâhların çalışma sırasında yaptığı işe göre titreşim üretmektedir. Bazı tezgâhlarda üretilen titreşim miktarı kayda değer derecede büyüktür. Titreşim sonrası tezgâhların yıpranması yanında çalışan kişileri de olumsuz yönde etkilemektedir bunların dışında önemli bir durum vardır. Tezgâhların titreşiminden diğer tezgâhlarda etkilenir yan yana çalışan iki tezgâhta birinin üretmiş olduğu titreşim kuvvetleri diğer tezgâhi da sallayacaktır, yakın tezgâhın hassas üretimini de etkileyecektir. Bu durum endüstride problem haline gelmiştir son yıllarda üzerinde çok çalışılan bir konudur. Bu doğrultuda, tezgâhların zeminle bağlantıları üzerinde yalıtım sistemi kullanılarak tezgâh

titreşim hareketinin azaltılması amaçlanmıştır. Ülkemizde bu çalışmalar yeni yeni ortaya çıkmıştır. Hassas üretim tezgâhlarında mutlaka yapılması gereken iştir. Zemin yalıtımı sonrası tezgâhların çıkarmış oldukları gürültü seviyesi de düşmektedir. Tezgâh ayaklarında zemin ile bağlantıyı sağlayan ara izolasyon malzemesi mevcut olup, bir çok çeşidi vardır. Yalıtım malzemelerini belirlerken tezgâhın kütlesi üretmiş oldukları darbe kuvvetleri ve zemin durumu gibi parametreler dikkate alınmalıdır. Yalıtım malzemesi olarak kauçuk malzemesi kullanılmaktadır. Bunlardan en basiti sert kauçuk tezgâh ayakları altına konularak yapılabilir, daha hassas yalıtım malzemelerine mevcuttur. Çok büyük kütleyle sahip tezgâhlar için zemin üzerinde blok izolasyon betonları dökülmektedir. Beton içerisinde kullanılan malzemeler ile belli bir elastikiyet oluşturulmakta ve sönümlene oranı da olduğundan bu iki özellikten dolayı izolasyon malzemesi görevini görmektedir.

Freze tezgâhında kesme işlemi yapılırken meydana gelen kesme kuvveti; kesici kenarlar (dişler) arası mesafe, konum açısı, iş parçası geometrisi, iş mili sehimi, talaş derinliği, talaş genişliği, ilerleme miktarı, kesme hızı ve aşınma gibi birçok faktörlere bağlı olarak kesme işlemi boyunca dönme açısına bağlı olarak değişir. Bu da sistemde sürekli titreşimin oluşmasına neden olur. Bu titreşim, tezgâhın mekanik veya tezgâh tespitinden gelen titreşimlerden farklıdır. Çünkü bu titreşim direkt olarak tezgâh parametreleri ve kesme şartlarına bağlıdır. Tezgâhın çalışma şartlarına bağlı olarak kesme kuvveti değerlerinde meydana gelen ani değişiklikler, birim zamanda kaldırılan talaş miktarı, simetrik ve asimetric kesme şartlarına bağlı olarak titreşim genliğinde de değişime sebep olur. Bunun sonucu olarak bozuk bir işleme kalitesi elde edilir. Bu bakımdan arzu edilen işleme kalitesini maksimum tezgâh kapasitesini kullanarak elde edecek optimum kesme şartlarının sağlanması freze tezgâhlarında işleme sıkıntısının ve doğan problemlerin esasını teşkil etmektedir. Bu amaçla, iyi bir yüzey kalitesine sahip olmak için; ilerleme hızı, talaş derinliği, kesme hızı, takım çapı, kesici takım geometrisi, iş malzemesi, konum açısı, simetrik veya asimetric çalışma durumu, takım-tezgâh çiftinin dinamik karakteristikleri, bağlama sistemi ve takım kesme yüzeylerindeki aşınmanın gelişimi gibi kesici takım ve iş parçası arasındaki titreşim genliğini istenilen kaliteyi elde etmeyi sağlayacak şekilde optimum kesme şartlarını belirlemek gerekir. Talaşlı imalat işlemleri sırasında meydana gelen ve kontrol edilemeyen titreşimler, iş

parçası yüzey kalitesinin bozulmasına, iş parçası ölçü tamlığının istenilen hassasiyette elde edilememesine, kesici takımın erken aşınmasına ve kırılmasına, takım tezgâhı bileşenlerinin zarar görmesine ve yüksek gürültülere sebep olmaktadır. Yapılan çalışmalar talaşlı imalat işlemleri esnasında oluşan titreşimlerin karmaşık bir yapıda olduğunu ortaya koymuştur. Talaşlı imalat alanında son yıllarda elde edilen üstün teknolojik gelişmeler, bu alandaki imalatı oldukça iyi bir düzeye çıkarmasına rağmen, hala işleme performansını etkileyen birçok sorun mevcuttur. Takım-iş parçası ara yüzeyinde fiziksel temasın varlığından ve takım tezgâhlarının hareketli elemanlarından (motor, dişli kutusu, kızak kayıt sistemleri vb.) kaynaklanan titreşimler kesici uçta etkisini göstererek yüzey kalitesini ve işleme performansını olumsuz etkilediği bir gerçektir. Kesici takım titreşimleri, işlenen parça yüzeyinde kötü yüzey kalitesi ve ölçü hassasiyetine, kesici takımın çabuk aşınmasına ve kırılmasına sebep olduğu ve daha da önemlisi takım tezgâhına önemli ölçüde zarar verdiği bilinmektedir. Talaşlı imalat yöntemleriyle işlenen malzemelerin yüzey kalitesini artırmak için bilimsel düzeyde araştırmalar çok yoğun bir şekilde devam etmektedir. Talaşlı imalat esnasında iş parçasının yüzey kalitesini etkileyen kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, talaş kaldıran takımın geometrisi, kesme derinliği vb.) en önemli parametrelerdir. Ayrıca kesici takımda oluşan titreşimler, işlenen yüzeylerin kalitesini ve tezgâh verimini olumsuz etkilemektedir. Makine takımlarının titreşimi, iş malzemelerinin yapılarındaki hatalar, takım aşınması veya düzensiz talaş oluşumu, işleme süresince yüzey hasarlarına sebebiyet vermektedir. Kontrol edilebilen parametreler ile istenilen yüzey pürüzlülüğü ve üretim kalitesini arttırmak için hız ve ilerleme gibi işleme parametrelerinin uygunluğunu değerlendirmek ve frezelemeden önce ürünün yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için teknikler geliştirilmektedir.

İyi kalitede bir ürün için işleme parametrelerinin doğru seçimi ve kontrol edilemeyen faktörlerin olumsuz etkilerini en aza indirebilecek parametre kombinasyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Tahmin tekniğinde önemli olan hususlar; hassasiyeti, güvenilirliği ve maliyetidir. Literatürde tahmin tekniğinin kullanılarak birçok çalışmanın yapıldığı gözlenmiştir. Tahmin tekniği olarak, çoklu regresyon modelleme, regresyon modeli, lineer regresyon, ikinci dereceden regresyon, üstel regresyon ve yapay sinir ağları yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada torna tezgâhının tornalama sırasında tezgâh sarsıntısının zemine yaptığı titreşim etkisini azaltmak için tezgâh ayağını yalıtım malzemesi bağlayarak zemine geçen titreşim değerinin azaltılması amaçlanmıştır. Çalışmada izolasyon malzemesi ve izolasyon malzemeli iki duruma göre titreşim değerleri alınmış ve karşılaştırılmıştır. İzolasyonlu titreşim değerlerinden küçük olduğu görülmüştür. Titreşim ölçümünde torna tezgâhının salınımını artıracak sadece aynadan iş parçası bağlanarak parçanın uzun bir malzeme seçilmesi ile tezgâh salınımı artırılmıştır. Titreşim değerlerinin ölçümünde 4 kanallı datalogger kullanılmıştır. Datalogger ile hem genlik hem ivme değerleri ölçülmüştür. Elde edilen numune değerler grafiklere dönüştürülmüş bir birleri ile kıyaslanmıştır.

Talaş kaldırmada sürekli olarak, zorlanmış ve kendiliğinden oluşan olmak üzere iki türlü titreşim mevcuttur. Zorlanmış titreşim, takım tezgâhının mekanik hareketlerinin toplam etkisinin sonucu ortaya çıkan titreşimdir. Kendiliğinden doğan titreşim ise talaş kaldırmadan dolayı, tezgâhtan ve dış çevreden bağımsız olarak oluşur. Bu şekilde titreşime tırlama titreşimi denilmektedir. Bu titreşim esas itibarıyla kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin azalmasından meydana gelir. Kesme hızının değişimi, kayma açısının değişiminden kaynaklanmaktadır. Tırlama titreşimi, iş parçalarında, boyutsal tamlıkta azalma, düşük işleme hassasiyeti, kesici takım aşınmaları ve kırılmaları, takım tezgâhının zarar görmesi gibi üretimi sınırlayan etkenlere sebep olur (Orak ve Türkes, 2006). Sistemin rijitliğine göre aşırı talaş genişliği gibi şartlar altında başlayarak çabucak gelişir ve büyük genliklere erişerek kesme kuvveti periyodik bir biçimde değişebilir. Talaş kalınlığı ve işlenmiş yüzeydeki dalgalanmalar gözle görülebilecek şekilde aşırı değişir. Tırlama, bu titreşimlerle birleşen ses ve işlenen yüzey üzerinde kesici takımın bıraktığı izler ile kolaylıkla görülebilir. Metal kesimde tırlamanın kendiliğinden oluşmasının iki nedeni vardır. Bunlar, mod çiftinin oluşumu ve işlenen yüzeyde oluşan dalgaların tekrarlı bir şekilde üretilmesidir. İşlenen yüzeyin kalitesi özellikle savunma, uzay, ve kalıpcılık sanayiinde ve de alüminyum gibi kesilmesi en kolay metallerin işlenmesinde oldukça önem taşımaktadır.

Tırlama titreşiminin tahmini için günümüze kadar birçok araştırmacı çeşitli modellemelerle analiz ve kontrol teknikleri ortaya koymuştur. Ancak kesme

mekaniğinin ve dinamik davranışının şimdiye kadar iyi bir şekilde ortaya konamamasından dolayı talaş kaldırma dinamiğini tam olarak ifade edebilen bir model hala mevcut değildir. Tırlama titreşiminin analizi, lineer ve nonlineer kuvvet prosesleriyle yapılır. Tüm analiz teknikleri, işleme kuvvet prosesinin ve takım-iş parçası yapısının modellenmesiyle başlar. İşleme operasyonu bir kapalıçevrim formunda ele alınır. Tırlama titreşiminin önlenmesi için kritik hız ve kesme derinliklerinin belirlenmesinde sistemin karakteristik denkleminin harmonik çözümlerinden stabilite lob diyagramları (SLD) çizilir. Bunun için iki tür model mevcuttur. Bunlar, Nyquist kriteri tekniği ve zaman Domenli Smilasyon (TDS) teknikleridir. Bunlarla, kesme prosesinin analitik ve nümerik çözümleri yapılabilmektedir. Analitik çözümde bazı basitleştirmeler yapılmaktadır. Bunlar, kesme kuvvetinin iş parçası yüzeyine sabit bir açıda etki ettiği, kuvvetin kaldırılan talaş alanı ile doğru orantılı olduğu, takım tezgâhının rijitliğinin ve sönümlemesinin lineer olduğu kabulleridir. Nümerik modelle ise, tırlama sisteminin lineer bir yaklaşımıyla analitik modelin bazı eksiklikleri giderilebilmektedir. Nyquist kriteri, kesme şartlarının kararlılığının araştırılması için uygulanır. Stabil kesme şartını sağlayan kritik kesme derinliği belirlenene kadar bu prosedür sürdürülür. Zaman domenli smilasyon tekniğinde ise, kesme operasyonunun kapalı çevrimli dinamik modeli kesme şartlarının belirli durumları için simüle edilir. Takımın iş parçasına göre yer değişimi ve kesme kuvveti sinyalleri sistem kararlılığının belirlenmesi için araştırılır. Kararlı kesmeyi sağlayan optimum kesme derinliği bulunmaya çalışılır. TDS' nin en önemli üstünlüklerinden biri tırlama analizindeki nonlineer karakteristikleri de içine almasıdır. Dezavantajı ise çok smilasyon yapılmasından kaynaklanan hesap zorluğu ve hatta aşırı zaman kaybıdır. TDS' nin bu dezavantajlarından dolayı SLD' nin çizilmesinde analitik yöntemlerin geliştirilmesi bazı araştırmacılar tarafından hala sürdürülmektedir ve yeni analitik analiz teknikleri geliştirilmektedir. Bu çalışmada tırlama titreşiminin analitik olarak tahmininde, ortogonal kesme yapan bir serbestlik dereceli bir torna modeli ele alınmıştır. İlk olarak kesme prosesinin modellenmesi, OTF ve τ dekompozisyon teknikleriyle yapılmıştır. Daha sonra çalışmanın üçüncü bölümünde sistemin kararlılığı, OTF ve τ dekompozisyon tekniğinin Nyquist kriterlerine uygulanması şeklinde araştırılmıştır. Makinelerin motorlarının endüstride kullanımıyla birlikte “ Titreşim Azaltma Ve Yalıtma” mühendislerin üzerinde çalıştığı bir konu olmuştur. Gelişen teknoloji, titreşim

azaltma ve yalıtma yöntemlerini makine tasarımlarının bütünleyici bir parçası yapmış, sonuçta titreşimlerin doğru ölçümü ve çözümlemesi gereği doğmuştur (Cinalioğlu, 2001). Yıllar önce, bu gereksinim deneyimli mühendisin dinleme ve dokunma duyuları ve yer değiştirmeyi ölçen basit optik aletlerle karşılanabilmiştir. Ancak günümüzde çok hızlı ve titreşim sonucu oluşan kuvvetlerin çok büyük olduğu makineler için, titreşim ölçme yöntemleri ve araçları geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. Pratikte titreşimlerin önlenmesi çok zordur. Titreşim genellikle; üretim toleransı, açıklığı, makine arasındaki dönme, sürtünme veya döner parçaların dengesiz olmasından doğan kuvvetlerin dinamik etkilerinden oluşur. Küçük titreşimler, makine yapısındaki diğer parçaların rezonans sıklıklarını uyararak yükseltirler ve temel titreşim ve gürültü kaynağına dönüşürler. Tüm enerjinin işe dönüştürüldüğü ideal makinede titreşim yoktur. Ancak, pratikte makine parçalarının tepkimeleri sonucu, enerjinin bir kısmı titreşim enerjisi olarak harcanır. Titreşimlerin insanoğluna hiç faydası yok mudur? Evet, beton sıkıştırıcılar, kaya deliciler, ses üstü parça temizleme banyoları ve üretim sonrası test için kullanılan titreştiriciler, titreşimin yararlı olarak kullanıldığı araçlardır. Bir kütle için bir referans konuma göre yaptığı salınım titreşim denir. Bir saniyedeki çevrim yada salınım sayısı ise titreşim sıklığıdır. Hareket, tek sıklıkta tek bir bileşen (Diyapazon hareketinde olduğu gibi) veya değişik sıklıklarda çok bileşenden (içten yanmalı motorun piston hareketinde olduğu gibi) oluşabilir. Genellikle, karşılaşılan titreşim imleri çeşitli sıklıkta birçok bileşenden oluşur ve titreşimin genlik-sıklık eğrisi çizilir. Bu eğriye elektriksel imlerde olduğu gibi, titreşimin “genlik görüngesi” adı verilir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Çalışmamıza yön gösterecek diğer çalışmaları örnek almak için bundan önce konu ile ilgili diğer araştırmacıların yapmış olduğu teorik ve bedensel çalışmalar aşağıda anlatılmıştır.

Mori, Kono ve diğerleri (2016), Viskoelastik sönümleyici desteği kullanılarak takım tezgâhının titreşim azalması konulu çalışma 2016 yılında yayınlanmıştır. Tezgâh destek sisteminin sönümleme özellikleri salınım titreşimi genliği üzerinde büyük etkiye sahiptir. Rijitliği azaltmadan sönümlemeyi artırmak için takım tezgâhı destekli bir sistem önerilmiştir. Bu çalışmada, çeşitli takım tezgâhlarına önerilen damper (sönümleme) sistemi uygulanmıştır. Sonuçlar, amortisörün, daha önce uygulanmış olan makineden daha büyük makineler için etkili olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, sönüm katsayısı (aynı damper temas alanı ve ön yükle bile) uygulanan makineler arasında farklılık gösterebilir. Bu, sönüm katsayısının belirlenmesinde göz önüne alınması gereken olası bir etken olduğunu düşündürmektedir.

Ghoshal ve Bhattacharyya (2012), Titreşimin elektrokimyasal işleme ile mikro-ürün imalatına etkisi toplumlarda son trendtir ve amaç sınırlı alanlarda mikro ürünlere sahip olmaktır. Verimli mikro-işleme teknolojileri, sırayla malzeme, enerji tasarrufu ve işlevselliği arttırmada yardımcı olarak mikro ürünleri imal etmek için gereklidir. Mikro-işleme için mikro-parça çok önemlidir. Bu çalışma, elektrokimyasal işleme ile mikro takım imalatının en uygun ve en hızlı yöntemini bulmayı amaçlamaktadır. Tungsten mikro aletleri, voltajın, alet titreşiminin frekansı, tungsten aletinin titreşim amplitüdünün, elektrolit konsantrasyonlarının ve elektrot içine daldırılan aletin uzunluğunun etkilerini bilmek için farklı işleme koşullarında üretildi. Uygun bir amplitüd ile titreşimi kullanarak 2V' den başlayarak daha yüksek volta yükselen uygulamada, mikro-parçanın aynı şekilde imalatı mümkündür. Farklı şekillere sahip kaliteli mikro-parçalar, mikro-parçanın titreşimlerini getiren çok kısa sürede uygun bir difüzyon tabakası kalınlığının kontrol edilmesiyle üretilebilir. Son olarak, imal edilmiş mikroparçalar, hassas mikro deliklerin ve mikro-kromun elektrokimyasal mikro-metrasyon (EMM) kullanılarak işlenmesi için uygulanmıştır.

Salehi, Blum ve diğerkleri (2016), yılında yapmış oldukları Epikikloidal ve trokoid frezeleme çalışmasında; kesme kuvveti, takım ucu titreşimi ve işleme çevrimi süresinin karşılaştırılması konusunda; trokoid freze, kaba haddeleme işlemleri için etkili bir yöntemdir ve çevrim süresini önemli ölçüde azaltır. Verimliliği en üst düzeye çıkarmak ve trokoid frezelemede işleme çevrimi süresini azaltmak için , epik sikloid frezeleme olarak adlandırılan yeni bir takım yolu stratejisi geliştirilmiştir. Bu çalışmada, epik sikloid frezelemenin matematiksel modeli sunulmuştur. Sözü edilen iki strateji için kesme kuvveti, takım ucu titreşimleri ve işleme döngüsü süreleri arasındaki karşılaştırılma, dört işleme aşaması deneyiyle gerçekleştirilir. Takım ucu titreşimini hesaplamak için, takım tezgâhının modal parametreleri sistem tanımlama ile elde edilmiş ve ardından makine milinin dinamik modelleri geliştirilmiştir. Ölçülen kuvvetler ve hesaplanan titreşimler bir miktar artarken, epik sikloid frezelemenin işleme çevrimi süresini artırabildiği gözlenmektedir.

Krishnakumar, Rameshkumar ve Ramachandran (2015), yılında yapmış oldukları çalışmada Titanyum (Ti-6Al4V) Alaşımının Yüksek Hızlı Talaşlı İmalatında (HSM) Titreşim Sinyalleri Kullanarak Takım Aşınma Durum Tahmini için ayrıca havacılık ve biyo-tıbbi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomatik bir işleme ortamında takım koşullarının izlenmesi zorunludur. Bu çalışmada, Titanyum alaşımının Yüksek hızlı işleme sırasında takım koşullarının sınıflandırmak için deneyler yapmıştır. İşleme işlemleri sırasında titreşim sinyalleri ivme-sensörü kullanılarak kesintisiz olarak izlendi. Sinyalin özellikleri çıkarılır ve Boyut azaltma Tekniği kullanılarak bir dizi belirgin özellik seçilir. Seçilen özellikler, aletin durumu hakkında karar vermek için sınıflandırma algoritmasına bir girdi olarak verilir. Özellik seçimi, J48 Karar Ağacı Algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ürün koşullarının sınıflandırılması, Makine Öğrenme Algoritmaları (yani J48 Karar Ağacı algoritması ve Yapay Sinir Ağı) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizden, ANN' nin nispeten daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir. Bu çalışmada benimsenen metodoloji çevrimiçi araç durumunun izlenmesi için yararlı olacaktır.

Apprigh, Wulle ve diğerkleri (2015), Küçük yapısal sönüm katsayıları, üretim süreci üzerinde olumsuz etkileri olan yapısal titreşimler için çürüme sürelerine neden olur.

Tipik olarak, bu titreşimler kütlelerin eklenmesiyle yapının sertliğini arttırarak işlenir. Bu hem maddi hem de enerjide yüksek kaynak tüketimine yol açtığı için sürdürülebilir imalatın ihtiyaçlarına ters etki yapmaktadır. Yakın zamanda yapılan araştırma faaliyetleri, kontrol entegre edilmiş aktif titreşim önleme ve sönümleme yöntemlerine dayanan radikal kütle indirilmesi ile daha yüksek kaynak verimliliğine yol açmıştır. Bu kontrol yöntemleri, makinenin mevcut durumuna göre kaçınma veya azaltma yöntemi parametrelerinin ayarlanması için kontrol edilen takım tezgâhlarının dinamik davranışlarını açıklayan bilgilere dayanır. Makale, makine titreşimlerine düzgün bir şekilde baş etmek için, yukarıda bahsedilen titreşimden kaçınma ve azaltma yöntemlerine gerekli girdiyi sağlayan, büyük hafif makine aletlerinin dinamik davranışının genel poz bağımlı modeline yaklaşımı tanımlamaktadır. Makale, tezgâhların poz-bağımlı dinamik davranışının sanatın son durumuna genel bir bakış ve titreşim önleme ve azaltma için en yaygın yöntemlerin ardından başlar. Hafif bir makine alet yapısının deneysel modal analizinin sonuçlarına dayanarak, ilgili poz-bağımlılık gösterilir ve dinamik davranışı üretmek için ilgili parametreler çıkarılır. Ardından, tezgâhın dinamik davranışını modellemek için genel bir model yapısı tanıtıldı. Model parametrelerini farklı ayrı makineye güncelledikten sonra dinamik davranış modeli ve gerçek makine aleti yapısı karşılaştırılır. Son olarak, modelin hafif makine takımlarının gerçek titreşim azaltılmasına nasıl katkıda bulunduğu açıklanmaktadır.

Khoroshailo, Kovalov, ve Dasiü (2015), Torna Tezgâhlarında Büyük Çap Delikli Parça Takımlarıyla Titreşim Direncinin Geliştirilmesi konusunu çalışılmıştır. Bu çalışmada, gelişmiş takım sisteminin uygulanmasına ilişkin değişken kuvvetlerin etkisi altındaki serbest noktanın titreşim-yer değiştirmesinin matematiksel bir modeli sunulmaktadır. Üç boyutlu bir model oluşturuldu; altta takım sistemi tasarımı geliştirildi. Sonuç olarak, paralel yer değiştirmenin grafikleri elde edildi ve bu da kesme işleminde titreşim genliğinin azalması konusunda yargıya varmamızı sağladı. Yapılan deneysel çalışmalar, gelişmiş takım sistemi kullanıldığında, sıkıcı-parçaların artan titreşim direncini göstermiştir. Titreşim genliğinin kesme işlemi ile azaltılması, işlenmiş yüzeyin kalitesini artırabilir.

Zhang, Lü ve diğerleri (2013), Titreşim destekli çelik işçiliğinde elmas takım aşınma baskı mekanizmasının incelenmesi konulu çalışmayı yapmıştır. Çelik işleme

yetersizliği, özellikle son derece hassas ve mikro işleme alanlarında ve imalat sanayinde elmas işleme uygulamasını kuvvetle engellemektedir. Son yıllarda titreşim destekli işleme (VAM), çelik kesiminde elmas takım aşınmasını etkili bir şekilde bastırma kabiliyetine sahip olduğunu kanıtlamıştır. Şu anda, çoğu araştırmacı tarafından böyle bir baskı için talep edilen genel spekülasyon, çelik üzerindeki demir ve elmas üzerindeki karbon arasındaki kimyasal reaksiyonu yavaşlatacak VAM’da takım iş parçası parlama sıcaklığının azalmasıdır. Bununla birlikte, bu spekülasyonun doğruluğu herhangi bir deneysel ya da teorik araştırmayla kanıtlanmadı. Bu makalede çelik VAM’ da elmas araçlarının gerçek aşınma baskı mekanizmasını anlamak için, iş parçası sıcaklığını ölçerek ve kesme enerji tüketimini hem VAM hem de geleneksel kesim (CC) ile modelleyerek bir çalışma yürütülür. Karşılaştırma sonuçlarına dayanarak, VAM’ de ki kesme sıcaklığı ve enerji tüketiminin CC’ de ki değerdan daha küçük olmadığı ve dolayısıyla VAM ‘ de ki azaltılmış elmas takım aşınmasının, iddia edilen indirgenmiş sıcaklığın, özellikle malzeme uzaklaştırma hızı çok küçüktür. Son olarak, EDS analizi ve farklı hava basıncı altında deneysel sonuçların karşılaştırılmasına dayalı olarak, çelik VAM’ da önemli ölçüde azaltılmış takım aşınması için iki muhtemel neden önerilmektedir :

- (i) Takım-iş-parçası ara-yüzü ve
- (ii) Yeni işlenmiş yüzey üzerinde bir oksit tabakası oluşturulması.

Orak ve Türkeş (2006), yapmış oldukları çalışmada takım tezgâhlarında maksimum talaş kaldırma hızının artırılması, yüksek talaş genişliği ve işleme hızları gerektirmektedir. Bu gereksinimlerin aşırı zorlanması ise, kesme hızının değişimine neden olarak titreşim meydana getirir. Bu durum ise düşük parça işleme hassasiyeti, yüksek işleme kuvvetleri ve aşınma gibi bir çok problemlere sebep olmaktadır. Kesici takım ve iş parçası arasındaki dinamik etkileşimden dolayı kendi kendini besleyen tırlama titreşimi meydana gelmektedir. Bu çalışmada, tornalamada ortogonal kesme için tırlama tahmini yapılmıştır. Bir serbestlik dereceli kesme modelinin lineer analizi yapılarak kararlılığı analitik olarak incelenmiştir. Sistemin lineer analizi, yönlendirilmiş transfer fonksiyonu (OTF) ve τ dekompozisyon formlarının Nyquist kriterine uygulanmasıyla yapılmıştır. Her iki yaklaşımdan elde edilen tırlama frekansı tahminleri,

modal analizle elde edilen sonuçlarla ve kesme testleriyle karşılaştırılmıştır. Her iki form için gerekli bilgisayar programları MATLAB programlama diliyle yapılmıştır.

Sencer, Ishizaki ve Shamoto (2015), yaptığı çalışmada, yüksek hız viraj hareketi için yeni bir gerçek zamanlı yörüngede algoritma oluşturması hedeflenmiştir. Tipik olarak G01 hatlarından ödün verilmiş referans alet-yolları geometrik olarak Yay ve düzlem araçları. Bu çalışmada kinematik bir köşe yumuşatma algoritması yaklaşımı önerilmiştir. Aracın viraj alma yörüngesi, FIR (Sonlu Dürtü Tepki) filtrelemesi yoluyla üretilir. Kesikli kavşaklarda kesitli eksen hızı komutları. Keskin köşelerde kontur hataları vardır. Analitik olarak, önceki ve mevcut segmentlerin en iyi çakışan hızlanma profilleri ile kontrol edilir. Tüm sürücüler için filtre geçirmelerinin ayarlanmasıyla yapısal modların uyarılmasına bağlı kalan titreşimler önlenir. Önerilen yöntem, deneysel olarak, döndürme zamanı ve kartezyen araç yollarının konturlanmasının doğruluğu.

Ast, Braun ve diğerleri (2008), paralel kinematikli takım tezgâhlarının aktif titreşim kontrolüne adaptronic yaklaşımı konulu makaleyi 8 Temmuz 2008 yılında yayımlanmıştır. Son yıllarda giderek azaltılmış kütlesi nedeniyle son derece dinamik uygulamalarda avantaj sağlamak için takım tezgâhlarında giderek daha hafif bileşenler kullanılmaktadır. Bu hafif sistemlerin en büyük dezavantajı, hızlı konumlandırma sırasında yüksek pisliliklerden ve işleme sürecinin kendisinden kaynaklanan yapısal titreşimlere duyarlılığıdır. Dahası, paralel kinematik yapılar durumunda dinamik tepki, çalışma alanındaki mekanizmanın gerçek pozu üzerinde doğrusal olmayan bir şekilde bağlıdır. Bu yazıda düzlemsel paralel kinematikli bir takım tezgâhının aktif titreşim kontrolü için bir kavram sunulmuştur. Bu amaçla, bir adaptronic çubuk geliştirilmiş ve mevcut makine aletine entegre edilmiştir. Ünite, aktif titreşim kontrolü alanındaki farklı kontrol konseptlerinin uygulanması ve test edilebilmesi için, çubuğun uzunlamasına yönünde kuvvetleri indirebilen ve çeşitli sensörleri indirebilen yüksek güçlü bir kurşun-zirkonat-titanat piezo istifleyiciden oluşur. Takım tezgâhının esnek ve çok gövdeli bir sistem modeli temel alınarak, düşük frekanslı bir doğrusal kuadratik regülatör ile kombine edilmiş düşük yetkili Kontrol olarak entegre kuvvet geribildiriminden oluşan hiyerarşik bir kontrol cihazı tasarlanmıştır. Burada sunulan deneysel sonuçlar, seçilen

yaklaşımın, aktif sönümlenme kavramlarının ciddi bir problemi olan düşük frekans aralığında performans kaybı olmaksızın ilk baskın rezonansı açıkça bastırma yeteneğini açıklamaktadır.

Ast, Braun ve diğerleri (2007). Takım tezgâhları için Adaptronik Titreşim Sönümlenme üzerine çalışmışlar. Bu çalışmada makine titreşimlerinin aktif sönümlenmesi için güçlü piezo-yığın aktüatörlü yeni tasarlanmış bir adaptronik bileşen sunulmuştur. Özellikle hafif yapılara sahip ve yüksek işleme hızları elde etmek için üretilen paralel kinematikli takım tezgâhları için istenen sistem performansını elde etmek için makine titreşimlerinin aktif sönümlenmesi önemlidir. Dağıtıcı kontrol, entegre kuvvet geribildirimi veya H_2 / H_∞ kontrolü ve son deneysel sonuçlar gibi farklı kontrol algoritmalarını test etmek için; çok-gövdeli esnek sistemler ile kapsamlı simülasyon çalışmaları, sistem davranışını geliştirme potansiyelini gösterir.

Mahboubkhah, M., Nategh, M., J., Esmailzadeh, S., Khadem (2007). Bir hekapodun serbest titreşim tepkilerinin önceden bilgisi, mevcut karmaşık işleme koşullarında meydana gelen rezonansı önlemek için kuvvetle gereklidir. Yazarlar tarafından, tüm kinematik zincirleri dikkate alınarak, takım tezgâhının altıgen tablasının serbest titreşimi üzerine kapsamlı bir çalışma yürütülmüştür. Sonuçlar, hareketli platformun titreşim denklemlerinden elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Daha az denkleme gerektiren ikinci yaklaşım, yatay düzlemlerde oluşan titreşimler için yeterince doğru sonuçlar verebilir. Teorik ve sonlu elemanlar yöntemi (FEM) sonuçları benzer değişiklikler eğilimleri sergilemekte ve birbirlerine yakın olmaktadır. Sonuçlar arasındaki tutarsızlıklar, esas olarak, dikey düzlemlerde meydana gelen ve temas modellerinin dinamik doğasından kaynaklanabilen dönme hareket modlarından kaynaklanmaktadır. Bir altıgen masa, alt modlarda yatay düzlemlerde doğrusal titreşimler ve yüksek modlarda dönme titreşimleri gibi farklı titreşim modlarına sahiptir.

Zhang ve Zhu (2014), International Journal of Machine Tools & Manufacture dergisinde Makine-alet titreşiminin ve ultra hassas işlemede yüzey oluşumundaki etkisi üzerine 9 Eylül 2014 yılında bir makale yazmışlar, bu makalede ultra hassas işlemede titreşim (UPM), yüzey üretimini etkileyen önemli bir faktör olan, içsel bir fiziksel

fenomendir. Pasif titreşime odaklanarak, bu yazıda titreşim özelliklerine ve titreşimin UPM'deki yüzey üretimine etkisi hakkında en son araştırmalar gözden geçirilir. Araştırmacıların karşılaştıkları fırsatlar ve zorluklar da tartışılır ve gelecekteki ilgili çalışmalar için öneriler yapılır. UPM'de pasif titreşimden etkilenen yüzey kalitesini artırmak için aktif titreşimin muhtemelen kullanılabileceği bulunmuştur.

3. MATERYAL METOT

3.1 Materyal

Tezgâh titreşimlerin belirlenmesi zor bir iştir tezgâhın kütlesi tezgâhın üretmiş olduğu kuvvet gibi önemli parametrelerin bilinmesi gerekir bu parametrelere göre yalıtım malzemesi tespiti yapılmalıdır bu çalışmada kauçuk malzemenin torna tezgâhı titreşim yalıtımına etkisi incelenmiştir.

3.1.1 Dört Kanallı (Datalogger) Titreşim Ölçme Cihazı

Tezgâh titreşimini yer değiştirme ve ivme değerlerini ölçmek için kullanılmıştır 4 sinyal alıcı elemanı vardır bu sinyal alıcılara da ivme ölçer de denilmektedir. İvme ölçerler mıknatıs özelliğinden dolayı metal malzemelere kuvvetli yapışır dataloggerin teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Sensörlere kablolar BNC adaptörleri ile bağlıdır bu bağlantı çok sıkı olmasından dolayı sinyal kaçmasını engeller ve 4 sensör dataloggera bağlanır. Cihaz üzerinde ayar ve saat butonu vardır ölçme sırasında pik değerlerini bulmak için maksimum minimum butonu kaydetme butonu vardır. Bunların dışında cihazın çalışmasını sağlayan birçok fonksiyonda mevcuttur. Bununla birlikte cihaz üzerinde kayıt işlemlerini depolamak için bir SD kartı mevcuttur cihaz pil ile çalışmakta aynı zamanda 9 voltluk bir adaptörle de çalışabilir. Cihaz üzerindeki yönlendiriciler ile ivme hız ve yer değiştirme değerleri ölçülebilmektedir. Cihazın en önemli yönü ivme değerini “g” değerini olarak da ölçebilmesidir. Datalogger cihazı eş zamanlı ölçün yapabilmektedir. Sayısal değerleri SD kartına depolayabilmekte dört kanalda elde ettiği değerleri binde bir (1/1000) hassasiyette ölçüm yapabilmektedir. Aynı zamanda her bir kanalın farklı hassasiyette de ölçümü mümkündür. Sayısal değerler yer değiştirme ve ivme değerleri olarak ölçülmektedir.

4-Channel Vibration Meter/Datalogger

Özellikler:

- Zaman aralıkları oranı: 1, 2, 5, 10, 30, 60, 120, 300, 600, 1800, 3600 seconds
- Taşınabilir adaptör kablo uzunluğu 39"(1m) cable
- Frekans oranı aralığı 10Hz to 1kHz
- Tamlık of $\pm(5\% + 2 \text{ digits})$
- RMS or Peak değer ölçüm modları
- Datalogger dan bilgiler excel formatında bilgisayara kolaylık ile aktarılabilir.
- Ekranda bilgiler durdurulabilir
- Uzun ömürlü bataryaya sahip
- ISO2954 standartları karşılar
- 4 adet magnetik sensörü vardır.,
- 8 x AA pil ve, 100-240V batarya ile çalışır

Kullanıldığı yerler:

- Motorlar,yataklar fanlar, pompalar dönen makinalar yüzey bakım

Özellikler:

İvme	656ft/s ² , 200m/s ² , 20.39g (peak)
Hız	7.87in/s, 200mm/s, 19.99cm/s (peak)
Yerdeğiştirme	0.078in, 2mm (peak-to-peak)
Çözünürlük	1ft/s ² , 0.1m/s ² , 0.01g; 0.01in/s, 0.1mm/s, 0.01cm/s; 0.001in, 0.001mm
Tamlık	$\pm(5\%+2 \text{ digits})$
Hafıza	20M data records using 2G SD card
Ebatlar	8 x 3 x 1.5" (203 x 76 x 38mm)
Ağırlık	1.13lbs (515g)



Datalogger

Resim 3.1 Datalogger ve teknik özellikleri.

3.1.2 Torna Tezgâhı

Torna tezgâhı kullanılmıştır orta büyüklükteki torna tezgâhı ayakları zemin üzerine izolasyon (kauçuk) malzeme olmadan tornalama sırasında yer değiştirme ve ivme değerleri ölçülmüş torna ayakları altına kauçuk izolasyon malzemesi konularak ivme ve yer değiştirme değerleri ölçülmüştür tornalama için uzun bir iş parçası bağlanmış iş parçasının pürüzlü yüzeyi ve parçanın eğri olması tornalama sırasında balanssız lığından dolayı titreşim üreten bir malzeme olmuştur. Titreşim değerlerinin artırılması tornalama sırasında en yüksek titreşim oranlarına ulaşmada bir parametre oluşturulmuştur.



Resim 3.2 Torna tezgâhı.

Deneysel çalışmada kullanılan torna tezgâhının önden görünüşü Resim 3.2 de gösterilmiştir. Tezgâh orta büyüklükte olup zemin üzerinde herhangi bir noktaya bağlantısı olmadan zemin ile temas halindedir. Çalışma sırasında tezgâh ayakları altına titreşim sönümleyici malzeme konulmuştur. Tezgâhın orta büyüklükte seçilmesinin sebebi tezgâh ayağına sönümleyici malzemenin insan gücü ile montajının mümkün olması sebebiyle tercih edilmiştir.

Tezgâh üzerine tornalamak için 1,5 m boyunda uzun bir mil bağlanmıştır. Tornalanan eğri mil dönme sırasında tezgâhın titreşimine sebep olmuştur. Tezgâh üzerine

tornalamak için bağlanan iş parçası, tornalama eksenine göre simetrik olmaması belli bir devirde torna tezgâhını sarsıntıya maruz bırakmıştır.



Resim 3.3 Dört kanallı datalogger ve torna tezgâhı.

Tezgâh titreşimi ölçümü sırasında bir datalogger ve 4 sensör kullanılmıştır. Sensörlerin 2 si tezgâh 2 side zemin üzerine bağlanmıştır. Şekilde görülen datalogger cihazı tezgâhın salınımı sırasındaki yer değiştirme ve ivme bilgilerini kaydetmektedir. Kayıt işlemi datalogger üzerinde bulunan SD kart üzerine kayıt yapılmaktadır. Çalışma bittikten sonra kart yerinden çıkarılarak bilgiler bilgisayara aktarılmaktadır. Sonra sayısal değerler ilgili grafiklere dönüştürülmektedir. Resim 3.2 de görülen donanımdaki kablolar her birinin boyu 1,5 m dir ve bu kablolar yekparedir. Kablo ve sensör bağlantısı BNC tipi bağlantılar kullanılmıştır bunun sebebi ölçüm sırasında devredeki

sinyalin kaçmasını engellemektir. 1,5 m kablo standart boyda ve kalınlıktadır. Koptuğu zaman birbirine bağlantı yapılmaz.

3.1.3 İzolasyon Malzemesi

Titreşim ölçümünde bir çok izolasyon malzemesi vardır. Tezgâhın büyüklüğüne göre uygun olan seçilir. Resim 3.3 de kauçuk bir izolasyon malzemesi gösterilmiştir tezgâhlarda konik yapıda ve yaylı titreşim malzemeleri mevcuttur. Bunların her birinin kauçuk yoğunluğu ve yay katsayısı farklıdır.



Resim 3.4 Kauçuk izolasyon malzemesi.

Bir mekanik sistemde titreşim yalıtımı yapılması gereken yerlere kullanılacak olan yalıtım malzemeleri ve özellikleri aşağıdaki gibidir.

3.1.3.1 Neopren Pedler

Pedler, ister neopren veya mantar, ister ise her ikisinin kombinasyonu, fiberglas, sisal lifler, keçe, kurşun veya başka bir malzeme olsun, sınırlı bir çökmeye sahiptirler. Çökmeler normal olarak 1" kalınlığındaki bir ped için kalınlığın %10-20' si çökmektedir. Yüksek katlardaki cihazların titreşimlerinin alınması için bu çökme miktarları yeterli olmayacağı için, kullanım alanları bodrum katlar ve kritik olmayan cihazlar ile sınırlıdır. Bina içinde her katın sarsıntısı farklı olacağı için makinenin hangi katta montajı yapılacaksa bunun belirtilmesi gerekir. Zemin sarsıntısı bina özelliğine göre de değişiklik arz etmektedir.

3.1.3.2 Neopren Ayaklar ve Askılar

Neopren ayaklar ve askılar çökme miktarları 0.20" – 0.50" arasındadır. 3 HP' ye kadar olan pompaların küçük ısıtma ve havalandırma üniteleri gibi cihazların yüksek hızlı küçük ekipmanların titreşim yalıtımında, dengesiz kuvvetlerin çok küçük olduğu, sadece ses probleminin ya da küçük bir titreşim probleminin olduğu yerlerde gerekli statik çökmeyi sağlayabilirler. Neopren askılar nadiren titreşen, aslında normal olarak yüksek frekanslı ısıklık sesi çıkartan buhar hatlarında kullanılırlar. Neopren ayaklar ve askılarında kullanılacağı yerlerde, spesifikasyonlar, yay kullanılmasını önerirler. Çünkü neopren ayaklar ile küçük yayların fiyatları arasında fazla fark yoktur. Neopren askı elemanları, genellikle yaylarla seri olarak kullanılacaktır. Çünkü neopren malzemeler, yayların tek başlarına yapamayacakları kadar yüksek frekanslı sesleri elimine ederler.

3.1.3.3 Çelik Yaylar

Çelik yaylar, kritik durumlarda kullanımı en yaygın olan titreşim alıcılardır. Çelik yaylar pratik olarak 5" , bazı özel durumlarda da daha fazla çökme yapabilirler. Yaylar, çeşitli dizayn imkanları verirler. Çelik yaylar, makine kadar uzun ömürlüdür. Modern titreşim alıcılar yani ilave bir şeye gerek kalmadan gerekli stabiliteyi sağlayarak yeterli büyüklükteki çelik yayların bağlantı şekilleri çok önemlidir. Yaylar genellikle bir ayar civatası ve neopren ped veya yüksek frekanslı sesi hafifletici malzemeler ile birlikte üretilirler.

3.1.3.4 Hava Yayları

Titreşim alıcıların en randımanlısı hava yaylarıdır. Genel olarak bir hava yayı; 100 psi veya daha fazla hava basıncına dayanıklı olarak üretilmiş ve cihaza stabil destek sağlayan geniş lifli takviyeli kauçuk balondan oluşur. Uygun bir şekilde dizayn edilmiş vir hava yayı, çelik yayın 6 – 7" çökmesine eşdeğer bir çökme sağlarlar. Hava yayının cidarları kauçuktan olduğu için, çelik yaylarda meydana gelebilen rezonans veya ses köprüsü riski yoktur. Hava yayları, tek bir boyuttaki yay ile hava basıncını çok az

miktarda değiştirerek, çeşitli ağırlıklardaki y¼kleri taşıyabilme avantajına sahiptir. Hava yayları, k¼¼k kaçakları ya da b¼¼k sıcaklık farklarından doğabilecek genişleme veya b¼¼lme hareketlerini kompanze edecek bir y¼kseklik kontrol vanası ile birlikte monte edilirler. Hava yaylarının montajı, elik yaylarınkine nazaran daha pahalı olduğu için hava yayları son derece kritik yerlerde uygulanır.

3.1.3.5 elik veya Beton Kaideler










elik veya beton kaideler, genellikle ekipmanı d¼zenli bir biçimde muhafaza etmek için kullanılırlar. Kaideler, d¼kme demir pompa kaidesi gibi mevcut bir kaidenin kuvvetlendirilmesi, santrif¼j kompres¼rler gibi uzun cihazları stabil hale getirmek veya uzun ve bir çok b¼l¼mden oluşan ısıtma ve havalandırma ünitelerini bir arada tutmak için de kullanılabilirler. Birçok durumda, beton yerine elik kaideler kullanılır ¼nk¼ kullanılacağı mahale kaynaklanmış, hazırlanmış halde g¼nderilebilmektedir. Beton kaide ile karşılaştırıldığında hafifliği sebebi ile d¼řeme betonunun g¼çlendirilmesine ihtiyaç kalmaz. elik kaidelerin kullanılması halinde dikkat edilmesi gereken en önemli konular, cihazı taşıyabilmesi için yeterince rijit olması ve taşıdıkları cihazın frekansında rezonansa girmemesidir. En iyi y¼ntem, kaide elemanları olarak elik kirişlerin kullanılmasıdır. Kiriş derinlikleri, kaidenin en uzun kenarının en az 1/10'u kadar olmalıdır. Özellikle b¼¼k g¼çlü cihazlar için ilave bilezikler kullanılabilir.

3.1.3.6 Y¼zer Beton Kaideler

Y¼zer beton kaideler özellikle pompalar için tavsiye edilmektedir. Pompa için gerekli olan ekstra sağlamlık ve saplanmış y¼zey gibi özellikler, y¼zer beton kaidelerde mevcuttur. Eğer en önemli fakt¼r sağlamlık ise, beton derinliği kaidenin en uzun kenarının 1/12'si kadar olmalıdır. Beton kaideler, cihazın balanssızlığına, dışarıdan gelebilecek bir takım kuvvetlere karşı dayanım için bir k¼tle artışı gerekli olması halinde de kullanılmaktadır.

3.1.3.7 Kauçuk Genleşme Parçaları

Kauçuk genleşme parçaları, ses köprüsünü ve borudaki gerilimi azaltması için, kesme vanalarının cihaz tarafına yerleştirilmelidir. Sıcaklık ve basıncın çok yüksek olduğu tesisatlarda kauçuk yerine paslanmaz çelik veya bronz metalik hortumlar önerilir. Flexible metalik hortumlar, boru hattındaki seslere karşı çok az koruma sağlarlar. Cihaz bağlantı noktalarında esneklik sağlarlar. Bu da, fFlanşlardaki gerilimi azaltır ve titreşim yalıtımı yapılmış olan cihazın, yaylar üzerinde serbest olarak hareket etmesine olanak verir. Kauçuk bağlantı parçaları, ses köprülerini ve borudaki gerilimi azaltır.

Sr.No	Tip	Yük Kgs/Cm2	Kalınlık mm		Uygulama alanı
1.	B4	3 – 10	15		Çok yönlüdür, tezgahlarda, paketleme ve baskı makinelerinde kullanılabilir. Özellikle „gezme“ eğilimi olan makineler için uygundur. Freze ve matkap tezgahları için tavsiye edilir.
2.	B0	5 – 12	15		Profili yoktur. Çok yoğun bir malzemedir. Özellikle tornalar, işleme merkezleri, transfer hatları vs. gibi rijiditesi yüksek makineler için uygundur.
3.	B6	10 – 40	15		Çok yoğun ve yüksek yük kapasitesi olan yalıtım plakaları. Çok ağır ve uzun gövdeli işleme merkezleri, transfer hatları gibi makineler için uygundur.
4.	B5	5 – 16	25		Presler, markalama presleri, giyotinler gibi büyük dinamik düzensizliğe ve küçük destek alanına sahip makineler için uygundur.
5.	B30	2 – 5	18		Profilsiz, yumuşak tip. Özellikle üst katlarda bulunan hafif preslerin, zımbalama makinelerinin vs. etkili bir şekilde yalıtılması için uygundur.
6.	B32	2 – 8	25		B30 gibi yumuşak ama daha yüksek yük kapasitesine sahip olup, orta-büyük presler, zımbalama makineleri, enjeksiyon kaplama makineleri vs. için uygundur. Yüksek yalıtım değerleri sağlar.
7.	B30W	0.5 – 4	18		Genellikle pasif yalıtım için çok yumuşak tip. Düşük frekans uyumlaması sayesinde yüksek yalıtım etkisi. Ölçüm ve test aletleri, teraziler, mikroskoplara ve taşlamalar için.
8.	B13W	0.5 – 3.5	13		En yüksek yalıtım değerleri için özel tip, 5 kata kadar istiflenebilir. Yaklaşık 8 Hz'e kadar frekans uyumlaması sağlar. Temel yalıtımında plaka setleri olarak kullanılması tavsiye edilir.
9.	BS	1 – 20	2		Bilz kaymayı önleyici ara parçaları. Titreşim yalıtımı sağlamaz.
	BR7	2 – 10	7		

Şekil 3.1 Değişik izolasyon malzemeleri.

3.2 Metot

Bu çalışmada deneysel araştırmalar yapılmış cihaz kullanılarak nominal değerler elde edilerek grafikler oluşturmuştur aynı zaman da teorik bilgiler kullanılarak titreşim değerleri elde edilmiştir.

3.2.1 Titreşim Teorisi

Makinalarının titreşim hesaplarını yapmak zordur fiziksel modeller titreşim modellerine çevrilir Titreşim parametreleri belirlenir Newton, Enerji Metodu veya Langrance Metodu kullanılarak diferansiyel denklemleri oluşturulur Matematiksel kurallara göre çözümü yapılır cismin hareketi ortaya çıkartılır ve grafikler çizilerek deneysel sonuçlar ile karşılaştırılır.

Sıklıkla, makineler ya da makine parçaları, yaylar veya amortisör olarak modellenen elastik bağlantılarda harmonik olarak uyarılmıştır. rnek olarak bir otomobilin süspansiyon sistemi harmonik olarak çok sönümleyici vasıtası ile yol yüzeyinde uyarılır buda viskoz sönümleyici ile paralel olarak modellenmiş lineer bir yay ile olabilir. Diğer rnekler ise, motoru şasiden ayıran kauçuk motor bileşenler yada bir uçağın motorunu kanadından veya kuyruk kısmından ayıran elastik malzemelerdir. Bu gibi sistemler desteğinin hareketiyle uyarılacak sistemlerin hesaba katılmasıyla modellenenebilir. Bu basit-tahrik yada destek-hareket modeli şekil 3.2 de gösterilmiştir.

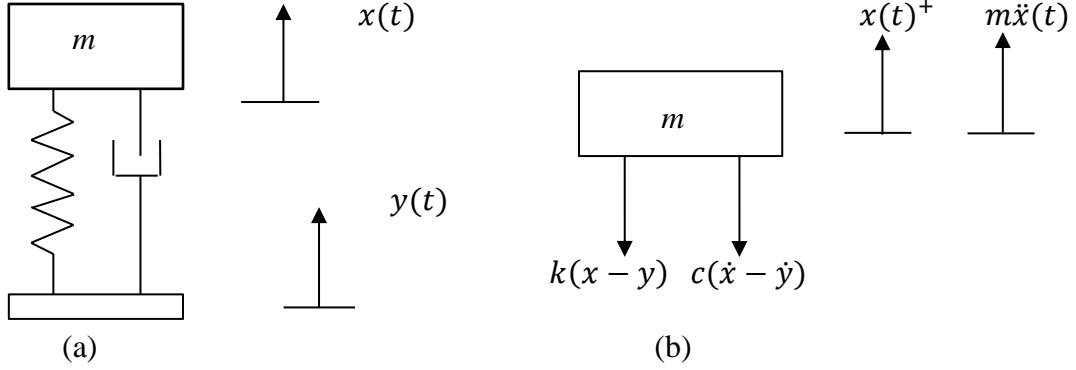
Kütledeki (m), ilişkili kuvvetleri özetlersek şekil 3.2 akma (rneğin, atalet kuvveti $m\ddot{x}$; m de etkisi olan iki kuvvetin toplamına eşittir ve ilk başta olduğu gibi yer çekimi yayın statik sapmasına karşı dengededir.

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y) = 0 \quad (3.1)$$

Burada yay mesafeyi ($x-y$) saptırır ve sönümleyici hızı ($\dot{x} - \dot{y}$) belirler. Basit-tahrik problemi için alt kısmın harmonik olarak hareket ettiği farz edilir. Bu da ;

$$y(x) = Y \sin \omega_b t \quad (3.2)$$

Y zemininin hareketin büyüklüğünü ifade eder ve ω_b yerin salınımının frekansını simgelemektedir. Denklem 3.2 den $y(t)$ nin, hareketini veren denklem 3.1 deki denklemin türevi alınarak yerine konursa,



Şekil 3.2 Harmonik yer değiştirme ile tahrik alan kütlesinin hareket modeli.

Şekil 3.2 (a) Basit-tahrik problemi, yay ve sönümleyici ile hareket eden önceden saptanmış harmonik yer değiştirme yapan cismin kütlesini “m” harfi ifade etmektedir.

(b) (a) daki zemin hareket probleminin serbest cisim diyagramıdır.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = cY\omega_b \cos\omega_b t + kY \sin\omega_b t \quad (3.3)$$

Bu iki girdili yay-kütle-sönümleyici sistemi olarak düşünülebilir. Sönümleyici sistemin kuvvet uygulanmış harmonik cevabı için $F_0 = cY\omega_b$ ve $\omega = \omega_b$, “ekstra” kuvvet terimi $kY \sin\omega_b t$ hariç. Çözüm yaklaşımı hareket denkleminin lineerliğini kullanmak ve 3.3 deki denklemin özel cevabının; $x_p^{(2)}$ olarak ifade edilen $kY \sin\omega_b t$ ifadesinin kuvvet girdisi kabul edilerek elde edilen ve $x_p^{(1)}$ olarak ifade edilen, $cY\omega_b \cos\omega_b t$ ifadesinin kuvvet girdisi kabul edilerek elde edilen özel çözümün toplamı olacaktır.

Bu özel çözümleri hesaplamak için, 3.3 denklemini m ile bölmek ve doğal akışkan frekansını ve sönümleme oranını kullanılarak yapılan hesaplamalar takip etmektedir.

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = 2\zeta\omega_n\omega_b Y \cos\omega_b t + \omega_n^2 Y \sin\omega_b t \quad (3.4)$$

Böylelikle $f_0 = 2\zeta\omega_n\omega_b Y$, $x_p^{(1)}$ özel çözümü cosinüs tahriğine bağlı olarak;

$$x_p^{(1)} = \frac{2\zeta\omega_n\omega_b Y}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega_b^2)^2 + (2\zeta\omega_n\omega_b)^2}} \cos(\omega_b t - \theta_1) \quad (3.5)$$

olduğu yerde,

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{2\zeta\omega_n\omega_b}{\omega_n^2 - \omega_b^2} \quad (3.6)$$

$x_p^{(2)}$ yi hesaplamak için, harmonik girdi olan $\omega_n^2 Y \sin\omega_b t$ ile belirsiz katsayılar yöntemi uygulanmıştır.

$$x_p^{(2)} = \frac{\omega_n^2 Y}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega_b^2)^2 + (2\zeta\omega_n\omega_b)^2}} \sin(\omega_b t - \theta_1) \quad (3.7)$$

Buradaki özel çözümün $x_p^{(2)} = X \sin(\omega_b t - \theta_1)$ in bir formu olduğu sayılmaktadır. Buradaki θ_1 açısı tahrik genişliğinden bağımsız faz açısıdır. Sinüs ve cosinüs çözümleri kullanılarak iki özel çözüm arasındaki faz farklılığı hesaplanmıştır. Çünkü iki farklı özel çözümün argümanları aynıdır $(\omega_b t - \theta_1)$ ve bunlar basit trigonometri kullanarak kolaylıkla eklenebilirler.

Lineer üst düşün prensibinden; toplam özel çözüm (3.5) ve (3.7) denklemlerinin toplamıdır. (3.5) ve (3.7) çözümlerini ekleyerek

$$x_p t = \omega_n Y \left[\frac{\omega_n^2 + (2\zeta\omega_b)^2}{(\omega_n^2 - \omega_b^2)^2 + (2\zeta\omega_n\omega_b)^2} \right]^{1/2} \cos(\omega_b t - \theta_1 - \theta_2) \quad (3.8)$$

olduğu yerde,

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{\omega_n}{2\zeta\omega_b} \quad (3.9)$$

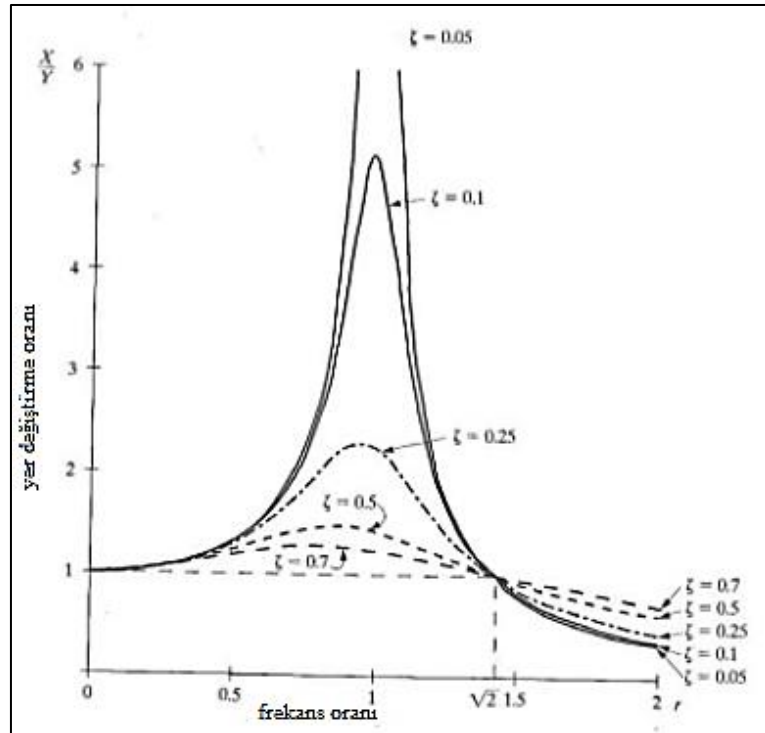
X ile $x_p(t)$ nin özel çözümünün büyüklüğünü ifade etmek uygundur. Böylece,

$$X = Y \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (3.10)$$

Frekans oranının $r = \omega_b/\omega_n$ olduğu yerde bas hareketin büyüklüğünü bu son ifade ile bölersek, Y , akma,

$$\frac{X}{Y} = \left[\frac{1+(2\zeta r)^2}{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (3.11)$$

Girdi yer değiştirme büyüklüğü, maksimum cevap büyüklüğünün oranına yer değiştirme oranı denmektedir. Yer değiştirme oranı $r = 1$ de maksimum değere ulaşır. ζ nin farklı değerlerinde 3.3 de gösterildiği gibi farklı eğriler oluşmuştur. ζ değeri büyüdükçe eğrilerin genliği de artmaktadır. ζ değeri sıfıra doğru yaklaştıkça genlikte maksimum değere ulaşmaktadır. $\sqrt{2} = \omega_b/\omega_n$ değerinde bütün eğriler bir noktada kesişirler. $r > \sqrt{2}$ de ise eğrilerin iletkenliği 1 in altına düşer. Şekil 3.3 de görüldüğü gibi ζ değerine göre grafik şekillenmektedir. $r = 1$ de rezonans oluşur. Bu noktayı hızlıca geçmek gerekir.



Şekil 3.3 Yerdeğişim iletim derecesinin sönüm oranı için boyutsuz sapması (Inman 2013).

Şekil 3.3 de $r < \sqrt{2}$ için iletkenlik oranı 1 den büyüktür, sistem doğal frekansı (ω_n) ve zemin frekansı (ω_b) nin değerleri birbirine oranını göstermektedir. Özellikle daha büyük oranlarda daha küçük iletkenlik oranını ifade eder.

$r > \sqrt{2}$ değerleri için iletkenlik oranı her zaman 1 den küçüktür. $r = \omega_b/\omega_n$, burada $r = \text{frekanslar oranı}$, $\omega_b = \text{xemin frekansı}$, $\omega_n = \text{sistemin doğal freksnsıdır}$. Grafiğin yatay ekseninde yer alır. r değerinin artmasıyla iletkenlik küçülmeğe. ξ değeri ile karşılaştırılacak olursa ξ değerinin küçülmesiyle $r > \sqrt{2}$ den büyük durumlarda iletkenlik düşer. ξ değerinin büyümesiyle iletkenlik büyür. $r > \sqrt{2}$ de cismin kütlesi yerden daha az yer değiştirmektedir. Yerin Y eğrisinden daha az bir eğri oluşturması anlamına gelmektedir.

$$F(t) = k(x - y) + c(\dot{x} - \dot{y}) \quad (3.12)$$

Bu kuvvet kütle m in atalet kuvvetini dengelemelidir. Böylelikle,

$$F(t) = -m\ddot{x}(t) \quad (3.13)$$

Durgun halde, (3.8) deki denklemde x değeri için çözüm verilmiştir. Denklem (3.8)'in ikinci türevini alarak (3.13) yerine konulursa.

$$F(t) = m\omega_b^2\omega_n Y \left[\frac{\omega_n^2 + (2\zeta\omega_b)^2}{(\omega_n^2 - \omega_b^2)^2 + (2\zeta\omega_n\omega_b)^2} \right]^{1/2} \cos(\omega_b t - \theta_1 - \theta_2) \quad (3.14)$$

Tekrar frekans oranı r yi kullanarak, aşağıdaki hale gelir,

$$F(t) = F_T \cos(\omega_b t - \theta_1 - \theta_2) \quad (3.15)$$

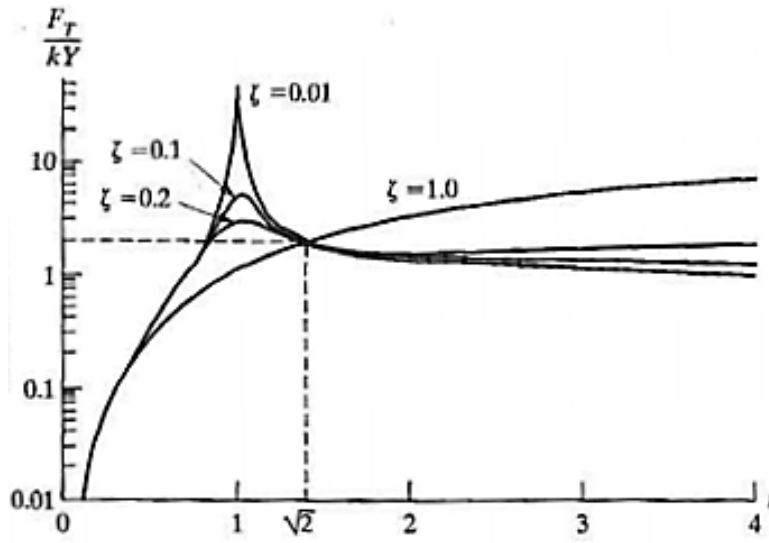
İletilen kuvvetin büyüklüğünün F_T , aşağıdaki gibi

$$F_T = kYr^2 \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (3.16)$$

verilir. Denklem önceden oranın formunu değiştirerek kuvvet iletkenliğini tanımlamaktaydı.

$$\frac{F_T}{kY} = r^2 \left[\frac{1+(2\zeta r)^2}{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (3.17)$$

F_T/kY kuvvetlerin oranıdır. Burada F_T cisme iletilen kuvvettir. kY de zeminin geometrisinden oluşan kuvvettir. Bu kuvvetler arasında karşılaştırma yapılabilir. Yer değiştirmeninki gibi değildir. $r > \sqrt{2}$ için kuvvet iletimi 1 den daha büyüktür. ζ nin yüm değerlerinin iletimi 1 den büyük olacaktır. ζ büyüdükçe iletimi $r > \sqrt{2}$ de daha büyür. ζ küçüldükçe $r > \sqrt{2}$ de küçülecektir.



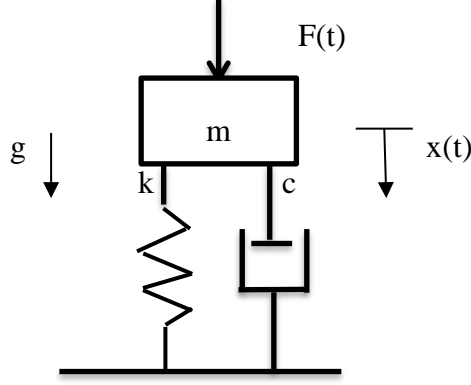
Şekil 3.4 Frekans oranlarına göre kuvvet iletimi (Inman 2013).

Frekansa göre kuvvetin genliği şekil 3.4 te gösterilmiştir. Bütün eğriler $\sqrt{2}$ de bir noktadan geçmektedir. Her bir eğri ζ değerinin sayısal değerine göre şekillenmektedir. $r > \sqrt{2}$ durumunda iletilen kuvvet miktarı belirgin oranda artmaktadır.

3.2.2 Hareket Denklemi Oluşturma Yöntemleri

Titreşim analizi yapılacak sistemin matematik modelinin oluşturulmasını takiben literatürde mevcut yöntemlerden biri kullanılarak sistemin hareketini tanımlayan diferansiyel denklemler oluşturulur. Hareket denklemleri oluşturulur iken farklı yöntemler kullanılabilir.

Mekanik titreşim problemlerinde temel olarak ele alınan yay-kütle sistemi ele alınacaktır.



Şekil 3.5 Tek serbestlik dereceli sistem.

Tek serbestlik dereceli sistemdir. Genellikle sistemler birden fazla serbestlik dercesine sahip olabilirler. Burada bu model üzerinden hareket eşitliği oluşturulacaktır.

3.2.2.1 Dinamiğin Hareket Kanunu

Şekil 3.5 de görülen sistem tek serbestlik dereceli sistemdir ve m kütesinin hareketi x koordinatı ile tanımlanabilir. Newtonun 2. yasası gereği cisme etkileyen kuvvetlerin toplamı cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir. m kütesi k yayı üzerine konulmadan önce yay şekil değiştirmemiş serbest konumdadır. mg ağırlığındaki kütle yay üzerine yerleştirildikten sonra yay bir miktar statik çökmeye uğrar ve $F(t)$ dış zorlaması ile bu çökmenin üzerine x dinamik yer değiştirmeleri oluşur. Dolayısıyla m kütesi toplam değişime ifadesi $x(t) = x_s + x_d$ şeklinde statik ve dinamik yer değiştirmelerinin toplamı şeklinde ifade edilebilir.

3.2.2.2 Lagrange Yöntemi

Bu yöntemde de incelenen sisteme ait kinetik ve potansiyel enerjiler dikkate alınır. Ayrıca Sanal İş ilkesi ile dış kuvvetlerin ve sönüm kuvvetlerinin sistemin genel koordinatlarında gerçekleştirmiş oldukları sanal işler dikkate alınarak türetilen genel kuvvetler hareket denkleminin türetilmesi için kullanılır.

Sisteme ait Lagrange ifadesi kinetik enerji ile potansiyel enerji farkına eşittir.

$$L = E_k - E_p \quad (3.18)$$

Kinetik enerji – potansiyel enerji farkı aşağıdaki Lagrange denkleminde yazılarak

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i \quad (3.19)$$

Lagrange ifadesi açılır ise Lagrange denklemi aşağıdaki formda elde edilir.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial E_p}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_i} + \frac{\partial E_p}{\partial q_i} = Q_i \quad (3.20)$$

Burada q_i bir sistemin i . genel koordinatını, Q_i ise bu koordinata etki eden kuvvetlerin toplamını (genel kuvvet) ifade eder. Genel kuvvet ifadesi sanal iş ile elde edilir.

Mühendislik sistemlerinde genel olarak potansiyel enerjinin genel koordinat hızı ve kinetik enerjinin de genel koordinat ile ilişkisi olmadığından Lagrange denklemindeki bu terimler sıfır alınarak, incelenecek mekanik sistemler için Lagrange denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_i} \right) + \frac{\partial E_p}{\partial q_i} = Q_i \quad (3.21)$$

Bu denklem öteleme yapan sistemler için bir kuvvet, dönme yapan sistemler için ise bir moment dengesidir.

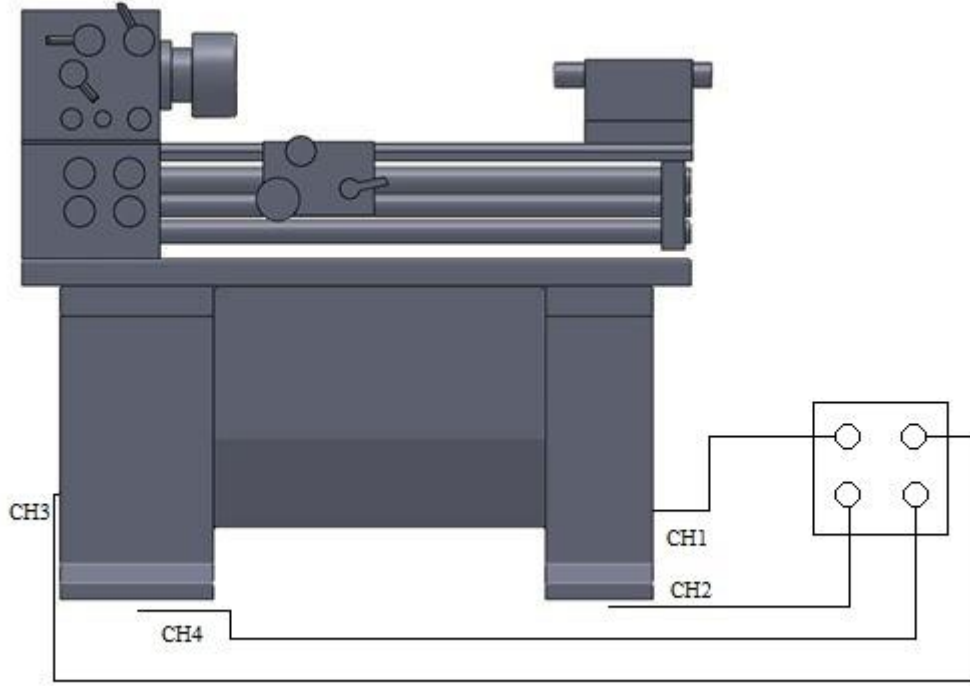
Genel kuvveti elde etmek için dış zorlamaların ve sönümleyici kuvvetlerin genel koordinatlar üzerindeki sanal işleri dikkate alınır. Genel koordinatlarda zamandan bağımsız olarak küçük değişimler dikkate alınarak (δ) bu kuvvetlerin yaptığı iş $\delta W = F(t)\delta q_i - c\dot{q}_i\delta q_i$ ifadesi yazılabilir. Genel olarak sanal iş ifadesi $\delta W = Q_i\delta q_i$ yazılarak ilgili genel koordinata ait genel kuvvet ifadesi oluşturulmuş olur.

Lagrange denklemi birkaç serbestliğe sahip sistemlerde kullanılır. Tek serbestli sistemlerde genelde dinamiğin kanunu kullanılır.

4. BULGULAR

Deneysel çalışmanın sonuçları bu bölümde grafikler ve tablolar halinde gösterilmiştir. Torna tezgâhının ayaklarından datalogger yardımıyla titreşim değerleri alınarak Çizelge 4.1 de gösterilmiştir. Bu tablodaki değerler kullanılarak yer değiştirme ve ivme büyüklükleri bir biriyle karşılaştırılmış bunlar arasındaki farklar grafikler ile gösterilmiştir.

4.1. Torna Tezgâhı Deney Düzeneği



Şekil 4.1 Torna tezgâhı üzerinde sensörlerin gösterilmesi.

Datalogger cihazı dört kanallıdır. Torna tezgâhının zemine temas eden ayaklar üzerine ve zemine bağlantı yapılarak ikişer kombinasyon şeklinde titreşim ölçümü yapılmıştır.

4.2 Yer Değiştirme ve İvme Değerleri

Datalogger cihazından elde edilen nominal değerlerin tablo halinde düzenlenerek aşağıda gösterilmiştir. Titreşim konusunda ivme değerleri önemli bir büyüklüktür titreşimin etkisini belirlemek için genelde ivme değerleri kullanılır.

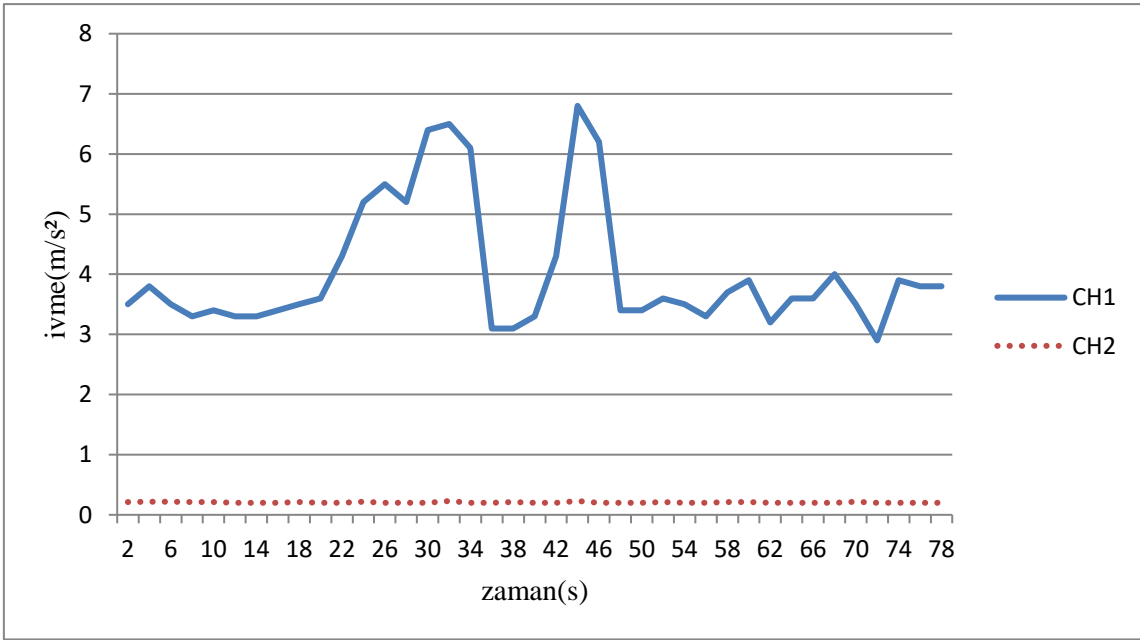
Bu çalışmada ivme değerleri Çizelge 4.1 de gösterildiği gibi ölçülmüştür. İvme ölçümü için bir datalogger ve sensör, BNC bağlantısı ve ara kablosundan oluşan bir donanım gereklidir. Tezgâh üzerinde yapılan bu çalışmada tezgâh gövdesi ile zemin bağlantısında titreşim hareketinin ne kadarının geçip geçmediğini anlamak için tezgâh gövdesindeki titreşim ile zemindeki titreşim değerleri karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Titreşim cihazı 4 kanallıdır ve kanallar CH1, CH2, CH3 ve CH4 dür. CH1 ve CH3 tezgâh gövdesine bağlı CH2 ve CH4 zemine bağlı olarak donanım kurulmuştur. CH1 ve CH2 birlikte değerlendirilmiş tezgâhın diğer ayağında CH3 ve CH4 birlikte değerlendirilmiştir. Datalogger cihazı hem yer değiştirme hem ivme değerleri bu düzenekte kaydedilmiştir. Ölçüm değerleri 2 saniye ara ile kayıt altına alınmıştır. Bu değerler titreşim sönümleyici kullanılarak kayıt altına alınmıştır, yani torna tezgâhı ayağı altına titreşim yalıtım malzemesi konularak hem ivme hem yer değiştirme değerleri kayıt altına alınmıştır. Her iki durumda Çizelge 4.1 den incelendiği gibi tezgâh gövdesindeki ivme değerleri zemindeki ivme değerlerinden daha büyüktür. Titreşim yalıtımlı ve titreşim yalıtımsız karşılaştırıldığında titreşim yalıtımlı değerler titreşim yalıtımsızdan küçüktür. Bu değerler grafikler üzerinde tek tek gösterilmiştir.

Çizelge üzerinde bazı değerlerde ani yükselme görülmüştür. Deney sırasında sensörleri elle düzeltme yapılmıştır. Bu sırada temastan dolayı ölçülen değerlerde artışlar görülmüştür. Sensörlerin yere rijit bir bağlantı elemanı ile bağlanması gerekirdi. Deney sonrası bu eksikliği anladık. Bir başka çalışmada bu konu önemli hususlardan biri olacaktır. Sensörlerin metal yüzeye bağlantısı mıknatıslanma ile gerçekleştirilmektedir. Metal yüzeylerde oldukça sağlam bağlantı oluşmaktadır.

Çizelge 4.1 Titreşim sönümleyici kullanılmadan elde edilen ivme sayısal değerleri.

Zaman (s)	CH1 takozsuz (m/s^2)	CH2 takozsuz (m/s^2)	CH3 takozsuz (m/s^2)	CH4 takozsuz (m/s^2)
2	3,5	0,21	2,2	0,1
4	3,8	0,22	2,2	0,2
6	3,5	0,22	2,2	0,2
8	3,3	0,21	2,1	0,2
10	3,4	0,21	2,1	0,2
12	3,3	0,2	2,1	0,2
14	3,3	0,2	2,2	0,2
16	3,4	0,2	2,1	0,2
18	3,5	0,21	2,2	0,2
20	3,6	0,2	2,2	0,2
22	4,3	0,2	2,2	0,2
24	5,2	0,22	2,4	0,2
26	5,5	0,2	2,6	0,2
28	5,2	0,2	3,9	0,2
30	6,4	0,2	2	0,2
32	6,5	0,23	1,9	0,2
34	6,1	0,2	2,1	0,2
36	3,1	0,2	2,1	0,2
38	3,1	0,21	2,1	0,2
40	3,3	0,2	2,2	0,2
42	4,3	0,2	2,1	0,2
44	6,8	0,23	2,1	0,2
46	6,2	0,2	2,1	0,2
48	3,4	0,2	2,4	0,3
50	3,4	0,2	2,4	0,9
52	3,6	0,21	2,2	0,3
54	3,5	0,2	2,3	0,2
56	3,3	0,2	2,3	0,1
58	3,7	0,21	2,2	0,1
60	3,9	0,21	2	0,1
62	3,2	0,2	2	0,1
64	3,6	0,2	2,1	0,1
66	3,6	0,2	2,1	0,1
68	4	0,2	2,1	0,1
70	3,5	0,22	2,1	0,1
72	2,9	0,2	2,1	0,1
74	3,9	0,2	2,1	0,1
76	3,8	0,2	2,1	0,1

Çizelge değerleri kullanılarak grafikler oluşturulmuştur. Çizelge değerlerinde sıfır çıkmıştır. Bu değerler aslında sıfır değildir zemin üzerine sensorların yeterince sıkı bağlanamayışından dolayı yerdeki salınımın tamamını ölçülememiştir. Aslında bunun için zemin üzerine metal bir plaka bağlanılarak plaka üzerine sensor bağlanması gerekirdi atölye şartlarında bunu gerçekleştirilemedi.

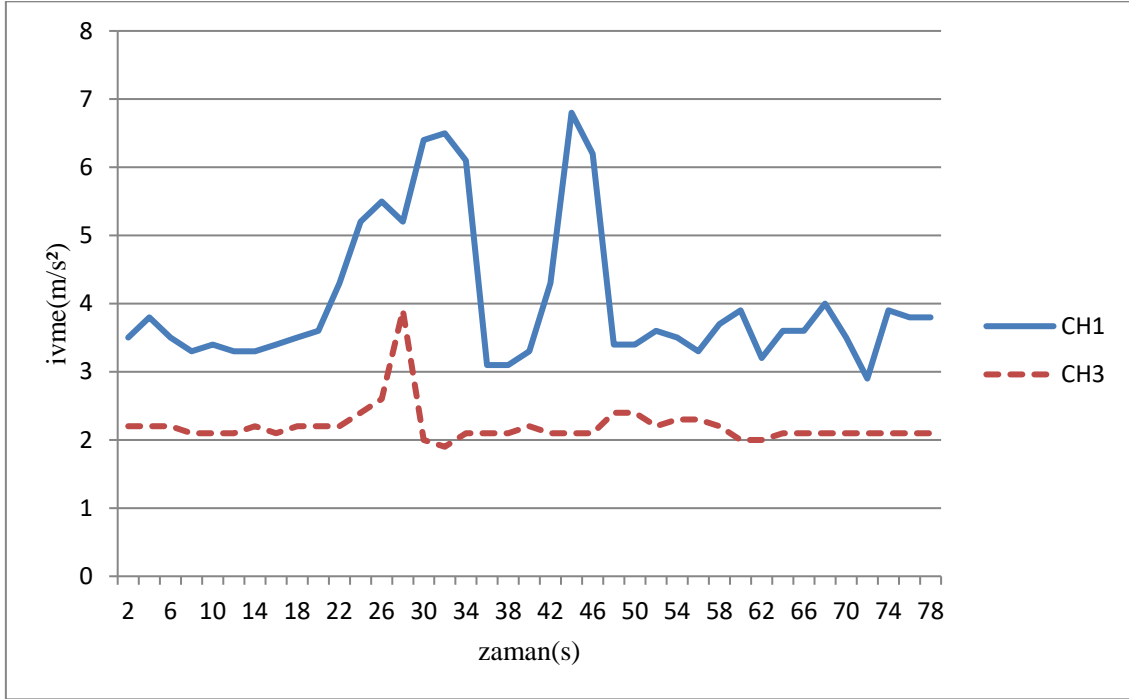


Şekil 4.2 Torna sol ayak ve zemin ivme değerleri.

Tornanın sol ayağı ivme değerleri diğer ayaktan yüksek çıkmıştır tornanın bu ayağı üzerindeki kütle azdır ve zemin üzerinde yere teması düzgün değildir. Tornalama sırasında tornalama kuvvetlerinin artış ve azalmasına bağlı olarak gözle görülür derecede sol ayak üzerinde bir salınım hareketi vardı buna bağlı olarak ivme değerleri de yüksek ölçülmüştür. Şekil 4.2 den görüldüğü gibi 6,8 ile 7,9 arasında ivme değerleri dağılmıştır. İvme değerleri 3,2 - 3,8 m/s² büyüklük değerlerin arasında yoğunlaşmıştır. Tornanın bu ayağının üzerinde olduğu zeminin titreşimi ise 0,2 aralığında ivme değerlerine sahiptir.

Torna tezgâhının hafif olduğu bölgedir. Bu yüzden titreşim hareketinin yüksek görüldüğü ayaktır. Bu ayağın zemine de teması zayıf olmaktadır. Torna çalışırken

zeminin üzerinde de kaymalar olmuştur. Tornaya çalışma sırasında yanlardan takviye yapılarak tornanın bir noktada kalması sağlanmıştır.



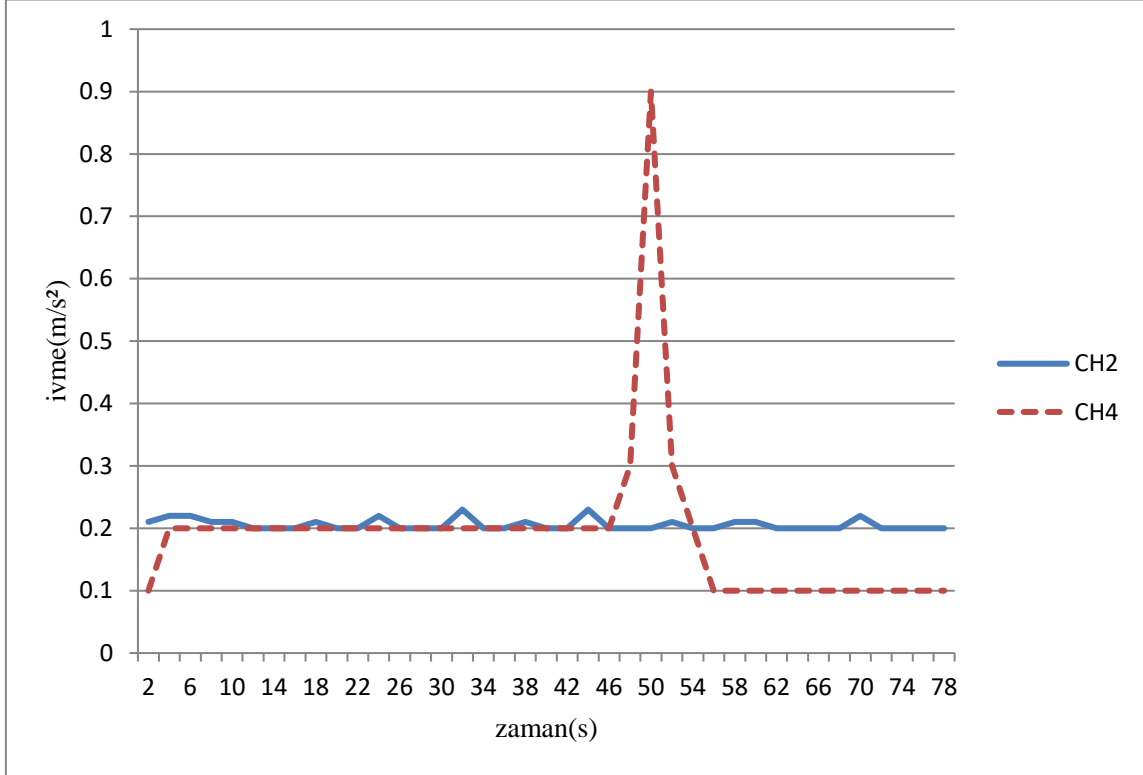
Şekil 4.3 Torna sağ ve sol ayak ivme değerleri.

Torna tezgâhının iki ayağında ölçülen ivme değerleri Şekil 4.3 de görülmektedir. Grafik değerlerine bakıldığında CH1 ile ölçülen torna tezgâhı sol ayak değeri 4-7 m/s² değerleri arasında değişirken CH3 ile ölçülen torna sağ ayak değerleri ise 2-3 m/s² arasında değiştiği görülmektedir. Bu durum torna tezgâhının ağır olan kısmının CH3 ile ölçülen sağ ayak olduğunu göstermektedir. Buradan çıkarılacak sonuç şayet tezgâh ne kadar ağır ise titreşimi o kadar az hissettireceğidir.

CH1 in bağlı olduğu ayak üzerinde fazla ağırlık olmamasından dolayı tornanın genel salınım hareketini daha fazla algılamıştır. Aslında her bir ayak titreşimi aynı olmayabilir. Fakat buradaki şekilde aradaki fark biraz fazladır. Bunun sebebi ileride bir araştırma konusu olabilir.

Zemine iletilen kuvvet her iki ayakta farklıdır. CH1 tarafından zemine iletilen kuvvet fazladır. Önceki grafikte CH1 ile ölçülen ivme değeri yüksektir. İletilen kuvvet ivme değeriyle orantılı olarak artmaktadır. Titreşimde ivme değeri ivme değeri hem kinematik hem de kinetik konusunda önemli bir parametredir. İletkenlik değerlerini

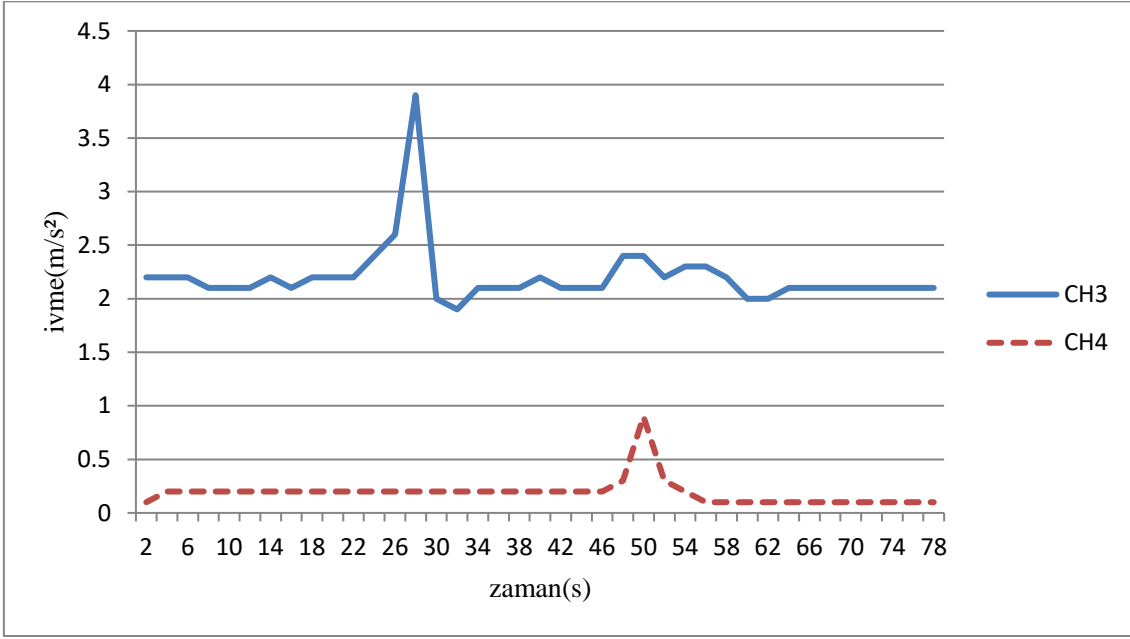
belirlerken de ivme değeri kullanılır. İki cisim arasındaki temastan dolayı iletim, ivmenin yanında yaylanma ve kütle gibi parametrelere de bağlıdır.



Şekil 4.4 Titreşim yalıtımsız zemin ivme değerlerinin gösterilmesi.

Torna tezgâhının ayakların yere bastığı zeminin titreşim değerleri Şekil 4.4 de görüldüğü gibidir. CH4 CH2 ye göre daha ağır ayağın ölçtüğü değerler olduğundan dolayı buradaki ölçülen değerler daha düşük çıkmıştır. 0,9 olarak ölçülen değer ise dışarıdan sensörlerin daha iyi algılayabilmesi için uyguladığımız kuvvetten kaynaklanmıştır.

Ölçülen değerler Çizelge 4.1 de görülmektedir. Zemin değerleri arasındaki fark her ne kadar çok olmasa da yapılan ölçümlerin hassas yapılması durumunda daha belirgin olabilir.



Şekil 4.5 Torna tezgâhı sağ ayak ve zemin titreşim ivme değerleri.

Torna tezgâhının sağ ayak ve zemin ivme değerleri şekil 4,5 da görülmektedir. Bu değerler diğer ayak ta ölçülmüş olan ve Şekil 4,2 de gösterilen değerlerden daha düşüktür. Bunun sebebi ise daha önce açıkladığımız gibi daha ağır olmasıdır. CH3 de meydana gelen ani ivme değeri ise kullanmış olduğumuz parçadan kaynaklanmıştır.

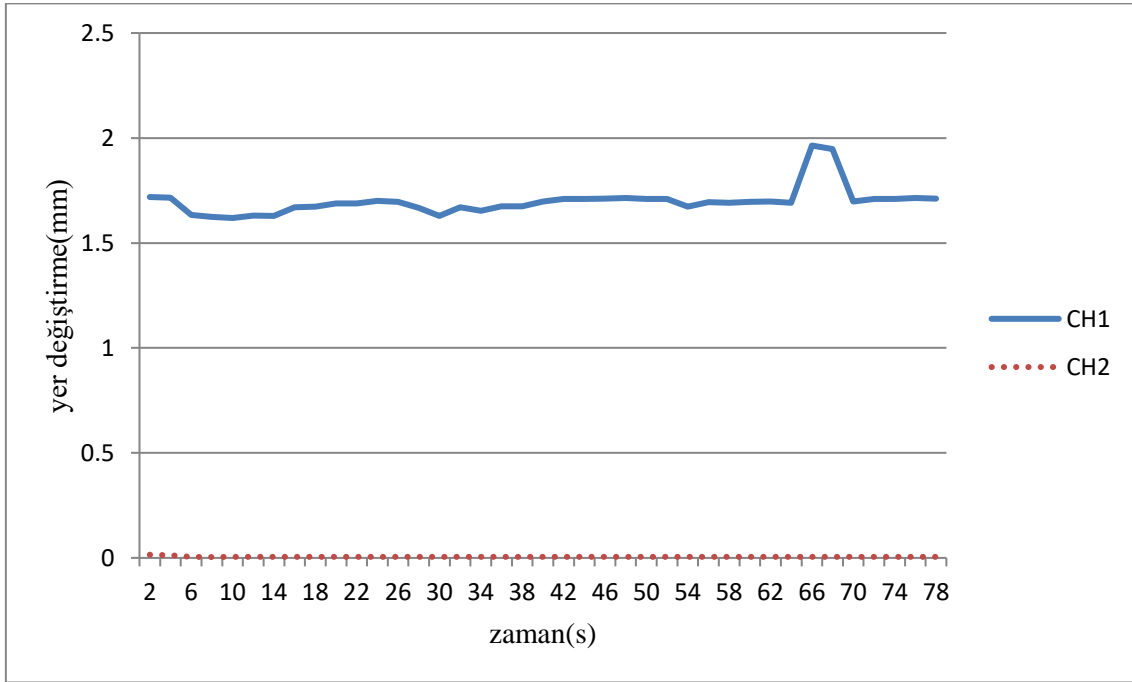
Çizelge 4.1 de gösterildiği gibi nominal değerleri ölçülmüş bu değerlere göre grafikler gösterilmiştir. Sensörlerin numarasına göre dağılım şöyledir; CH1 tornanın sol ayağına bağlı CH2 sensörlü sol ayağın altındaki zemine bağlı CH3 sensörü sağ ayağa bağlı CH4 sensörü ise sağ ayağı altındaki zemine bağlıdır. Bu donanım ile eş zamanlı titreşim ivmesinin ölçümü yapılmıştır. Ölçüm yapılırken tornalama işlemi için pürüzlü bir iş parçası kullanılmıştır. İş parçasının işlenmesi sırasında torna tezgâhı dinamik kuvvetlere maruz kalmış, bu kuvvetler sayesinde torna gövdesi maksimum salınım hareketi yapmıştır. En yüksek ivme değerlerini tornanın sol ayağı göstermiştir. Torna ayakları ile zemin arasında ivme değerlerinde büyük fark vardır. Bu şunu göstermektedir torna ayaklarındaki ivmenin ancak %25 kadarı zemine geçmektedir yani zemin hareketin bir kısmını yalıtılmaktadır. Torna ayaklarının zemin üzerine çok sıkı bağlanması gerekirdi bu konuda ileriki çalışmalarda göz önüne alınarak iyileştirilmelidir Bu konuda üzerinde araştırma yapılması gereken önemli bir alandır. Grafikte zemin üzerindeki ölçme

değerlerinde ani pik olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ivme ölçüm sırasında sensör üzerine müdahale edilmesi sonucu oluşmuştur.

Çizelge 4.2 Titreşim sönümleyici olmadan elde edilen yer değiştirme sayısal değerleri.

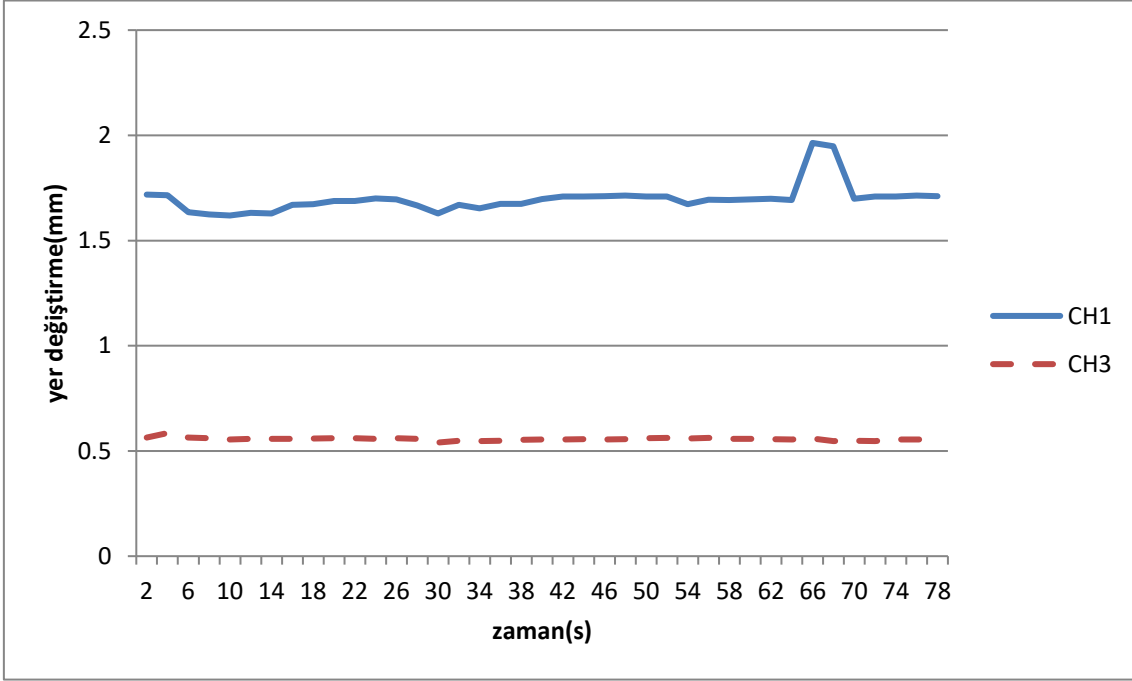
Zaman	CH1 takozsuz	CH2 takozsuz	CH3 takozsuz	CH4 takozsuz
2	1,719	0,015	0,564	0,002
4	1,716	0,013	0,585	0,094
6	1,634	0,005	0,564	0,01
8	1,624	0,004	0,561	0,003
10	1,619	0,005	0,555	0,006
12	1,631	0,005	0,558	0,002
14	1,629	0,005	0,557	0,002
16	1,670	0,005	0,558	0,001
18	1,673	0,005	0,559	0,001
20	1,688	0,005	0,561	0,001
22	1,688	0,005	0,56	0,001
24	1,700	0,005	0,558	0,001
26	1,696	0,005	0,56	0,001
28	1,667	0,005	0,557	0,001
30	1,629	0,005	0,54	0,001
32	1,670	0,005	0,548	0,001
34	1,653	0,005	0,547	0,001
36	1,674	0,005	0,549	0,002
38	1,675	0,005	0,553	0,001
40	1,697	0,005	0,555	0,002
42	1,709	0,005	0,555	0,593
44	1,710	0,005	0,556	0,018
46	1,711	0,005	0,555	0,004
48	1,714	0,005	0,556	0,003
50	1,710	0,005	0,56	0,004
52	1,710	0,005	0,562	0,003
54	1,673	0,005	0,559	0,001
56	1,694	0,005	0,562	0,001
58	1,692	0,005	0,557	0,004
60	1,696	0,005	0,557	0,003
62	1,698	0,005	0,556	0,003
64	1,692	0,005	0,555	0,004
66	1,964	0,005	0,559	0,003
68	1,948	0,005	0,547	0,002
70	1,698	0,005	0,549	0,003
72	1,710	0,005	0,547	0,003
74	1,710	0,005	0,555	0,002
76	1,714	0,005	0,555	0,002
78	1,711	0,005	0,555	0,002

Tezgâh salınım hareketinin araştırılmasında 2 önemli parametre vardır. Bunlardan biri ivme diğeri ise yer değıştirmediir. Çalışmamızda ivme ile birlikte yer değıştirme değerleri de ölçülmüştür. Çizelge 4.2 de eş zamanlı yer değıştirme değerleri gösterilmiştir. Yine ivme ölçümünde olduğu gibi tezgâhın iki ayağı ile ilgili zemine ait yer değişim değerleri elde edilmiştir bu değerlere göre grafikler çizilmiştir.



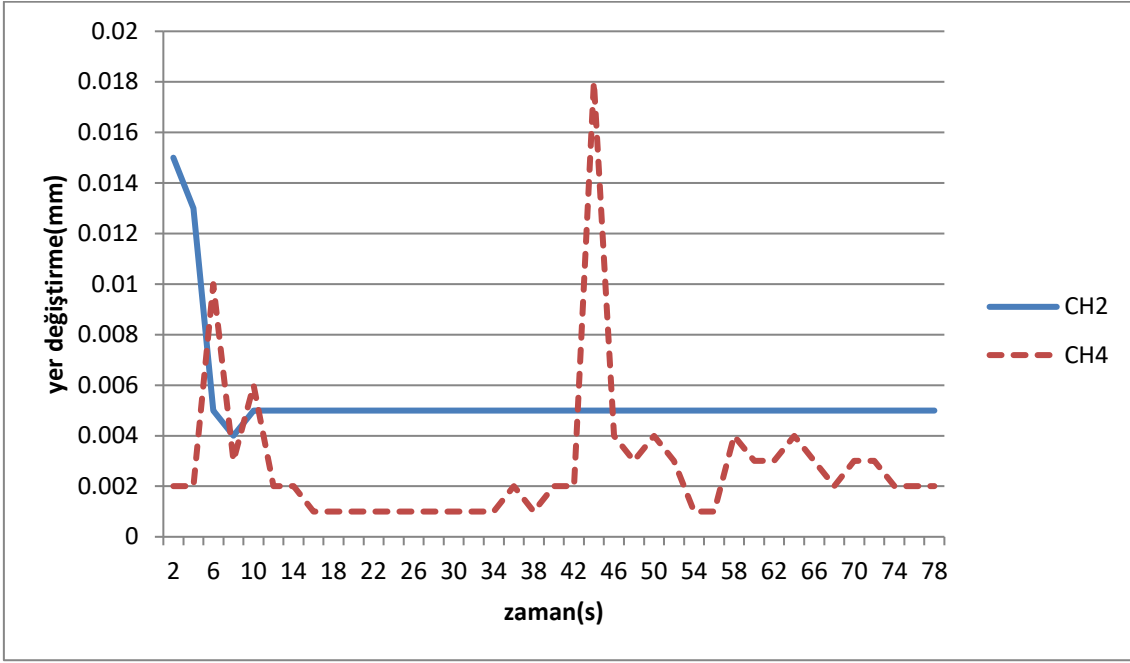
şekil 4.6 Torna sol ayak ve zemin titreşim yalıtımsız bağlantıda sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.

Tornanın gövdesine ait ve ayağın bulunduğu zemine ait yer değiştirme grafiğini şekil 4.5 de gösterilmiştir. Tornanın bu ayağı diğer ayaktan küçüktür. Grafikteki değerler 1,6 ile 2,0 mm arasında belirgin bir şekilde zamana bağlı olarak değişmiştir. Yer değiştirme miktarı tornanın diğer ayağından yüksektir. Bunun sebebi tornanın bu tarafındaki kütesinin az olması hareket etme fırsatı ortaya çıkarmaktadır. Zemin değerleri ise 0,005 ortalama değerinde ölçülmüştür.



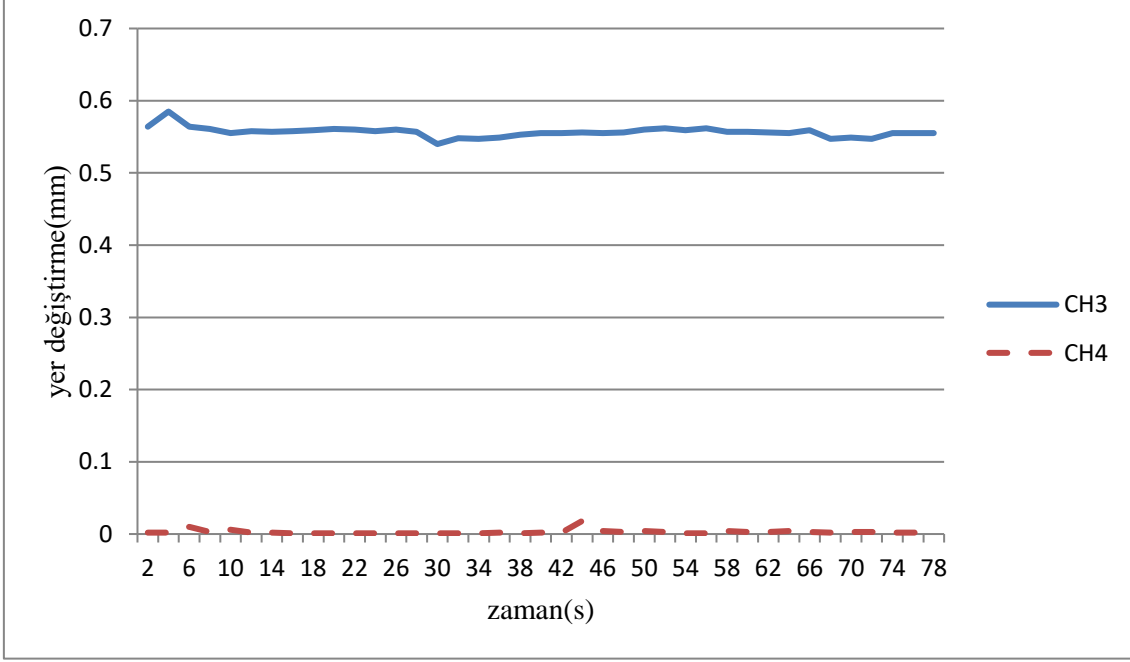
Şekil 4.7 Torna tezgâhı ayaklarının yalıtımsız bağlantıda sensörlerin yer değıştirme değeri gösterilmesi.

Tornanın sol ayağı altındaki zemin grafik değeri CH1 ile sağ ayak değeri ise CH3 değeri ile ölçülmüştür. Buradaki farklılıkta iki ayak arasındaki ağırlık farkından kaynaklanmaktadır. Sağ ayağın ağırlığı sol ayağa göre daha fazla olmasından dolayı buradaki ölçülen yer değıştirme miktarları ağırlık ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Yani başka bir deyişle ağır olan kısmın yer değıştirme miktarı az hafif olan kısmın yer değıştirme miktarının fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8 Torna toplam titreşim yalıtımsız bağlantıda sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.

Şekil 4.8 de torna tezgâhının ayaklarının yer değiştirme değerleri gösterilmiştir. Burada torna tezgâhının ayaklarına gelen ağırlık farkından dolayı yer değiştirme miktarındaki fark ortaya çıkmaktadır. Ağır olan kısımda yer değiştirme miktarının az hafif olan kısımda ise yer değiştirme miktarının fazla olduğu görülmektedir. Ani artışların ise sensörlerin daha iyi algılayabilmesi için dışardan uyguladığımız kuvvetten kaynaklanmaktadır. Sensörlerin daha iyi algılayabilmesi için sensörleri zemine yapıştırmaya çalıştık bu sebepten dolayı sensörlerin algısını artırdık bunun ile birlikte değerlerde dışardan müdahale sebebiyle bazı değerlerin aşırı arttığını gördük.



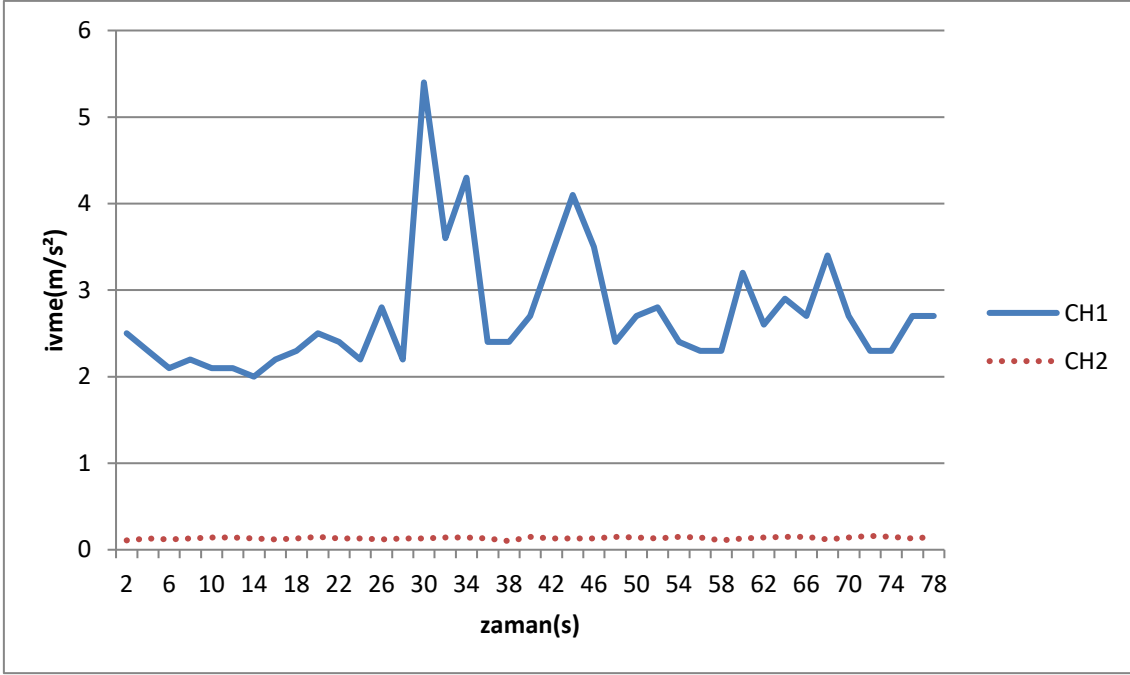
Şekil 4.9 Tornanın titreşim sönümleyici kullanılmadan sağ ayak ve zeminin ölçülen yer değiştirme değerleri.

Torna tezgâhının sağ ayağının ve bu ayağın zemindeki titreşiminin yalıtımsız yer değiştirme değerleri Şekil 4.9 de görülmektedir. Burada sağ ayağın ağır olmasından dolayı zemine fazla titreşim yaymadığı büyük bir kısmını tezgâhın kendisinin yalıtıldığını görmekteyiz.

CH3 sensörü ile ölçülen değerlerin 0,5 ile 0,6 arasında olduğunu görmekteyiz. CH3 sensörü torna tezgâhının ağır ayağı (sağ ayak) ve bu ayağın zemin üzerindeki titreşimi CH4 sensörü ile ölçülmüş ve bu değerler Çizelge 4.2 de gösterilmiştir.

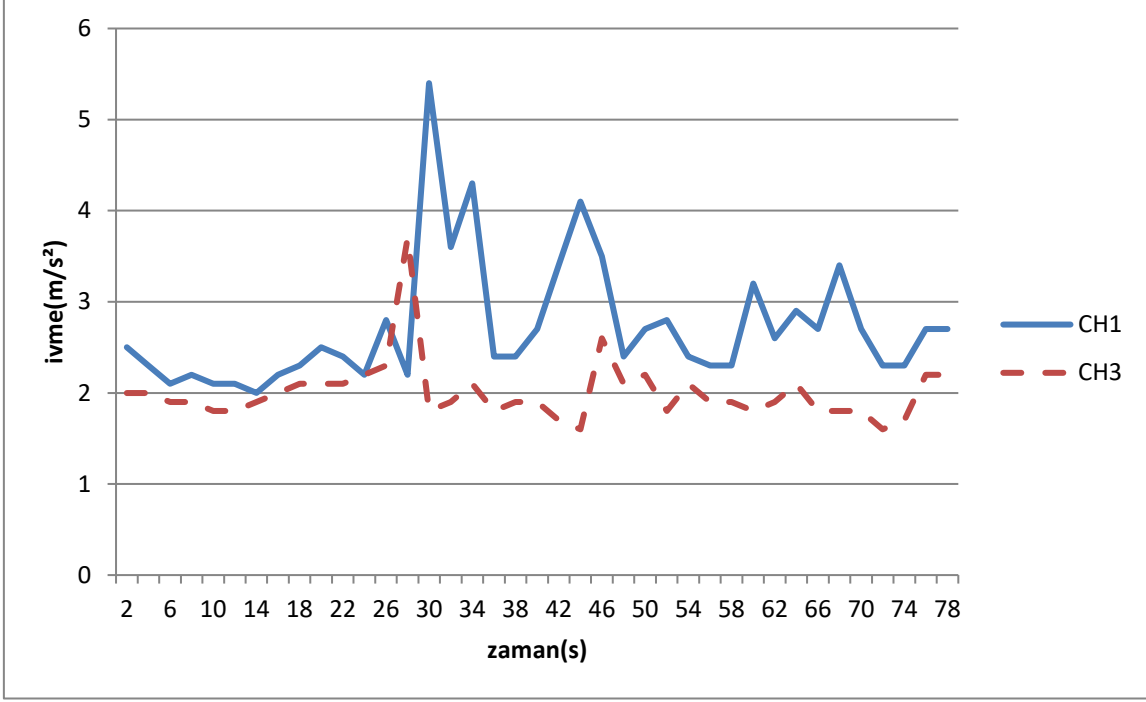
Çizelge 4.3 Titreşim sönümleyici kullanılarak elde edilen ivme değerleri.

Zaman	CH1takozlu	CH2 takozlu	CH3 takozlu	CH4 takozlu
2	2,5	0,11	2	0,1
4	2,3	0,13	2	0,12
6	2,1	0,12	1,9	0,13
8	2,2	0,13	1,9	0,1
10	2,1	0,14	1,8	0,14
12	2,1	0,14	1,8	0,1
14	2	0,13	1,9	0,1
16	2,2	0,12	2	0,12
18	2,3	0,13	2,1	0,13
20	2,5	0,15	2,1	0,14
22	2,4	0,13	2,1	0,1
24	2,2	0,13	2,2	0,1
26	2,8	0,12	2,3	0,1
28	2,2	0,13	3,7	0,12
30	5,4	0,13	1,8	0,13
32	3,6	0,14	1,9	0,14
34	4,3	0,14	2,1	0,13
36	2,4	0,13	1,8	0,12
38	2,4	0,1	1,9	0,1
40	2,7	0,15	1,9	0,14
42	3,4	0,13	1,7	0,13
44	4,1	0,13	1,6	0,12
46	3,5	0,13	2,6	0,12
48	2,4	0,15	2,1	0,13
50	2,7	0,14	2,2	0,13
52	2,8	0,13	1,8	0,12
54	2,4	0,15	2,1	0,14
56	2,3	0,14	1,9	0,13
58	2,3	0,11	1,9	0,1
60	3,2	0,13	1,8	0,13
62	2,6	0,14	1,9	0,12
64	2,9	0,15	2,1	0,14
66	2,7	0,15	1,8	0,15
68	3,4	0,12	1,8	0,1
70	2,7	0,14	1,8	0,13
72	2,3	0,16	1,6	0,14
74	2,3	0,15	1,7	0,13
76	2,7	0,13	2,2	0,13
78	2,7	0,15	2,2	0,12



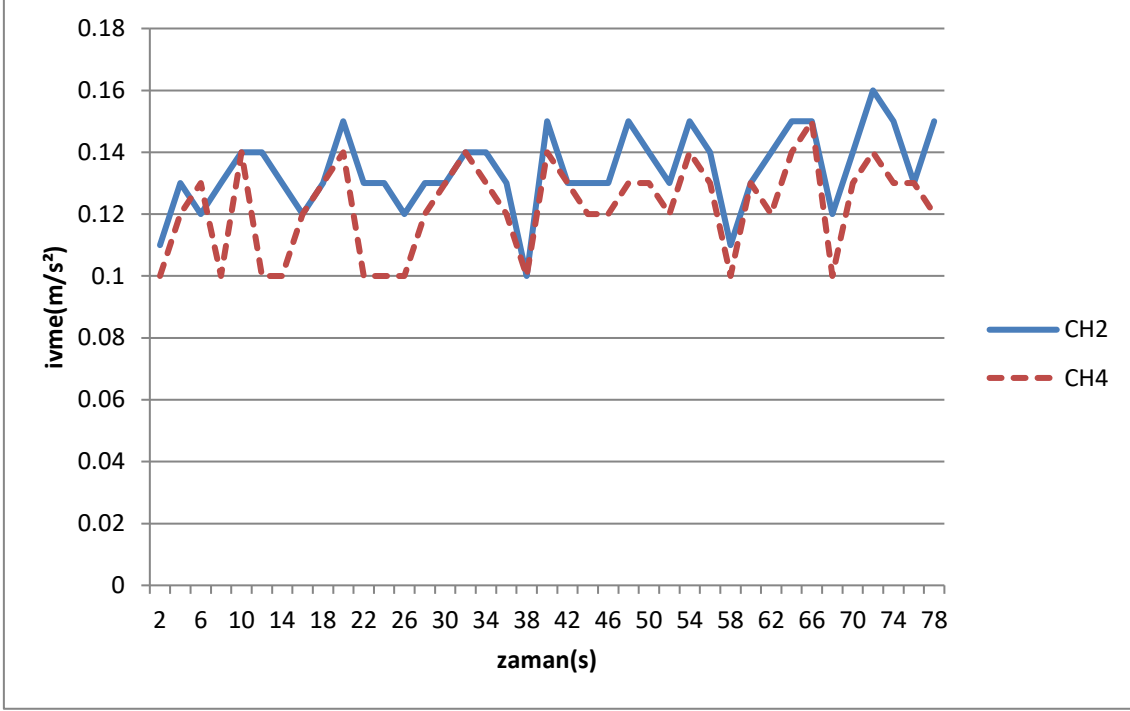
Şekil 4.10 Tornanın titreşim sönümleyici kullanılarak (sol ayak – sol ayak zemini) ölçülen ivme değerleri.

Tornanın sol ayak ve sol ayak zeminindeki ölçülen ivme değerleri, Şekil 4.1’de gösterilen titreşim sönümleyici kullanılmadan ölçülen ivme değerlerinden daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 4.1’de ölçülen maksimum değer yaklaşık olarak 7,0 m/s^2 iken sönümleyici kullandığımızda bu değer 5 m/s^2 bandına kadar düşmüştür. Baz değerlerde ise 2 m/s^2 ölçülüp salınım azaldığı tespit edilmiştir.



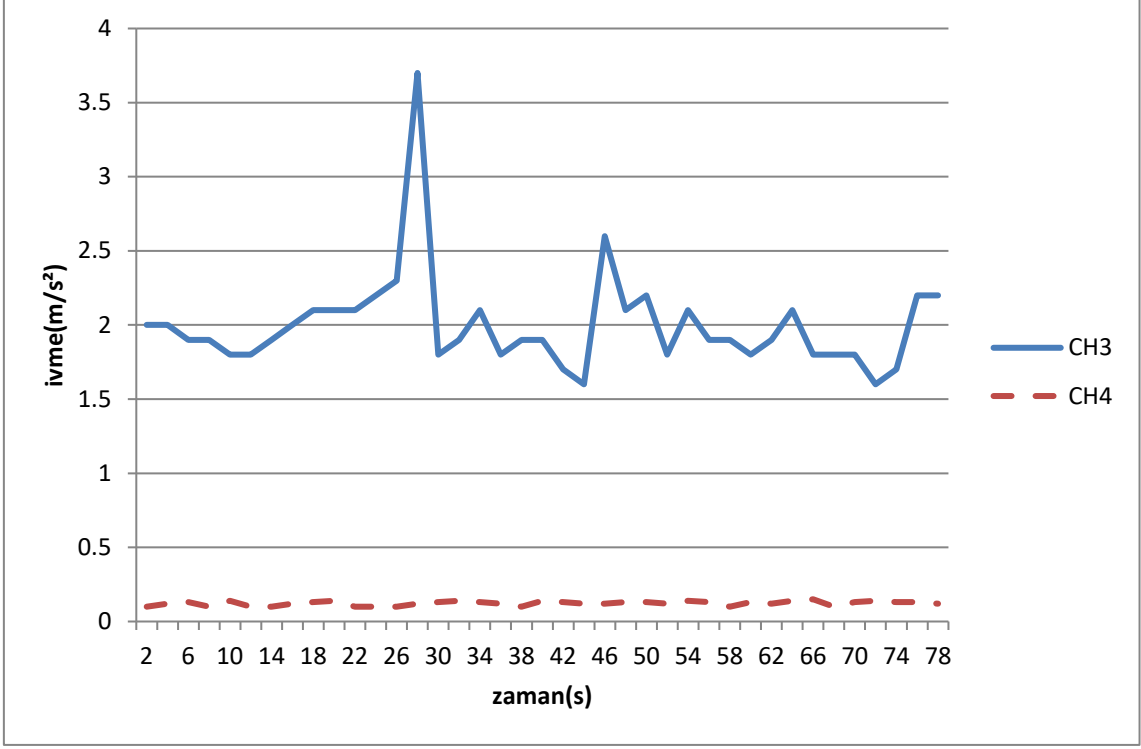
Şekil 4.11 Tornanın titreşim sönümleyici kullanılarak ölçülen (sol ayak – sağ ayak) titreşim ivme değeri.

Tornanın sol ve sağ ayağın titreşim sönümleyici kullanıldıktan sonra ölçülen ivme değerleri Şekil 4.11 de gösterilmiştir. Sol ayağın sağ ayağa göre titreşiminin yüksek çıkmasının sebebi üzerine gelen ağırlıktan kaynaklanmaktadır. CH1 değeri 4-2 m/s² arasında değişkenlik gösterirken CH3 2.6-1.8 m/s² arasında değişen değerler aldığı görülmektedir ayağının zemine transfer ettiği titreşim şekil 4.9 de ifade edilmiştir. Tornanın sol ayağının altına yalıtım malzemesi eklendikten sonra zemin titreşim ivme değerini 0.2 m/s² kadar azaltıp 0.1 m/s² bandında sabit bir şekilde seyretmesini sağlamıştır. Yalıtım aynı zamanda işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğünden kaynaklanan sıçramaları da sönümlemiştir.



Şekil 4.12 Tornanın titreşim sönümleyici kullanılarak (sol ayak zemini – sağ ayak zemini) titreşim ivme değeri.

Yukarıdaki şekilde sol ayak zemini ve sağ ayak zeminin titreşim ivme değerleri karşılaştırılmıştır. Sol ayakta oluşan ivme değerinin bir miktarda olsa sağ ayak zemininde oluşan ivme değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni tezgâhın daha ağır olan kısmının sol ayak zeminin üzerinde bulunmasıdır. Buradaki ağırlık tezgâhın zemine daha sağlam basmasını sağlayarak titreşimi azaltmıştır.

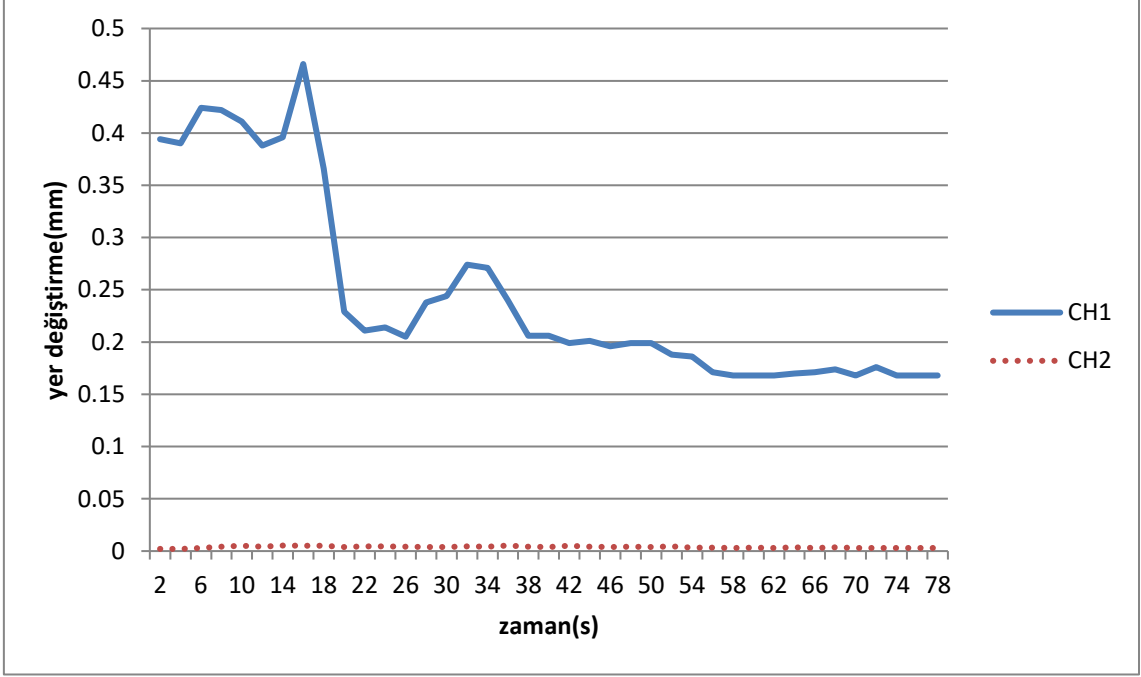


Şekil 4.13 Tornanın titreşim sönümleyici kullanılarak (sağ ayak – sağ ayak zemini) titreşim ivme değeri.

Torna tezgâhının gövdesinin ve ayakların yere bastığı zeminin titreşim değerleri Çizelge 4.3 de gösterildiği gibi nominal değerleri ölçülmüştür. Sensörlerin numarasına göre dağılım şöyledir; CH1 tornanın sol ayağına bağlı CH2 sensörlü sol ayağın altındaki zemine bağlı CH3 sensörü sağ ayağına bağlı CH4 sensörü ise sağ ayağı altındaki zemine bağlıdır. Bu donanım ile eş zamanlı titreşim ivmesinin ölçümü yapılmıştır. Ölçüm yapılırken tornalama işlemi için pürüzlü bir iş parçası kullanılmıştır. İş parçasının işlenmesi sırasında torna tezgâhı dinamik kuvvetlere maruz kalmış, bu kuvvetler sayesinde torna gövdesi maksimum salınım hareketi yapmıştır. Şekil 4.1 de görüldüğü gibi en yüksek ivme değerlerini tornanın sağ ayağı göstermiştir. Torna ayakları ile zemin arasında ivme değerlerinde büyük fark vardır. Bu şunu göstermektedir torna ayaklarındaki ivmenin düşük bir kadarı zemine geçmektedir yani zemin hareketin bir kısmını yalıtılmaktadır. Grafikte zemin üzerindeki ölçme değerlerinde ani pik olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ivme ölçüm sırasında sensör üzerine müdahale edilmesi sonucu oluşmuştur

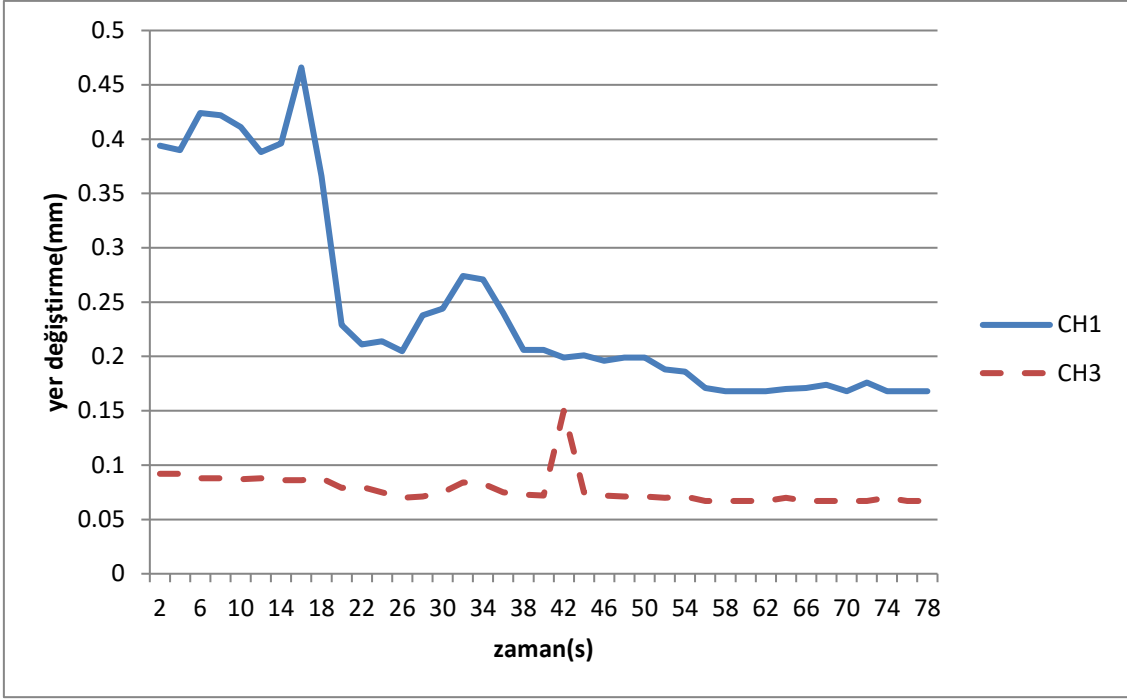
Çizelge 4.4 Titreşim sönümleyici kullanılarak elde edilen yer değiştirme değerleri.

Zaman	CH1 takozlu	CH2 takozlu	CH3 takozlu	CH4 takozlu
2	0,394	0,0021	0,092	0,001
4	0,39	0,0022	0,092	0,002
6	0,424	0,003	0,088	0,001
8	0,422	0,0041	0,088	0,004
10	0,411	0,0052	0,087	0,0012
12	0,388	0,0042	0,088	0,0013
14	0,396	0,0053	0,086	0,001
16	0,466	0,005	0,086	0,0012
18	0,366	0,0052	0,088	0,001
20	0,229	0,004	0,079	0,0015
22	0,211	0,0044	0,08	0,0013
24	0,214	0,0044	0,075	0,001
26	0,205	0,0043	0,07	0,001
28	0,238	0,004	0,071	0,0011
30	0,244	0,004	0,075	0,0013
32	0,274	0,0046	0,084	0,001
34	0,271	0,0043	0,083	0,0012
36	0,24	0,0053	0,075	0,001
38	0,206	0,0042	0,073	0,001
40	0,206	0,004	0,072	0,0011
42	0,199	0,005	0,15	0,001
44	0,201	0,0043	0,075	0,001
46	0,196	0,004	0,072	0,0012
48	0,199	0,0042	0,071	0,001
50	0,199	0,004	0,071	0,001
52	0,188	0,0044	0,07	0,0013
54	0,186	0,0032	0,071	0,0015
56	0,171	0,0033	0,067	0,001
58	0,168	0,003	0,067	0,001
60	0,168	0,0033	0,067	0,0013
62	0,168	0,003	0,067	0,0011
64	0,17	0,0036	0,07	0,001
66	0,171	0,003	0,067	0,0012
68	0,174	0,0037	0,067	0,0013
70	0,168	0,003	0,067	0,001
72	0,176	0,003	0,067	0,0014
74	0,168	0,003	0,07	0,001
76	0,168	0,003	0,067	0,0013
78	0,168	0,003	0,067	0,001



Şekil 4.14 Torna (sol ayak – sol ayak zemini) titreşim yalıtımlı bağlantıda sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.

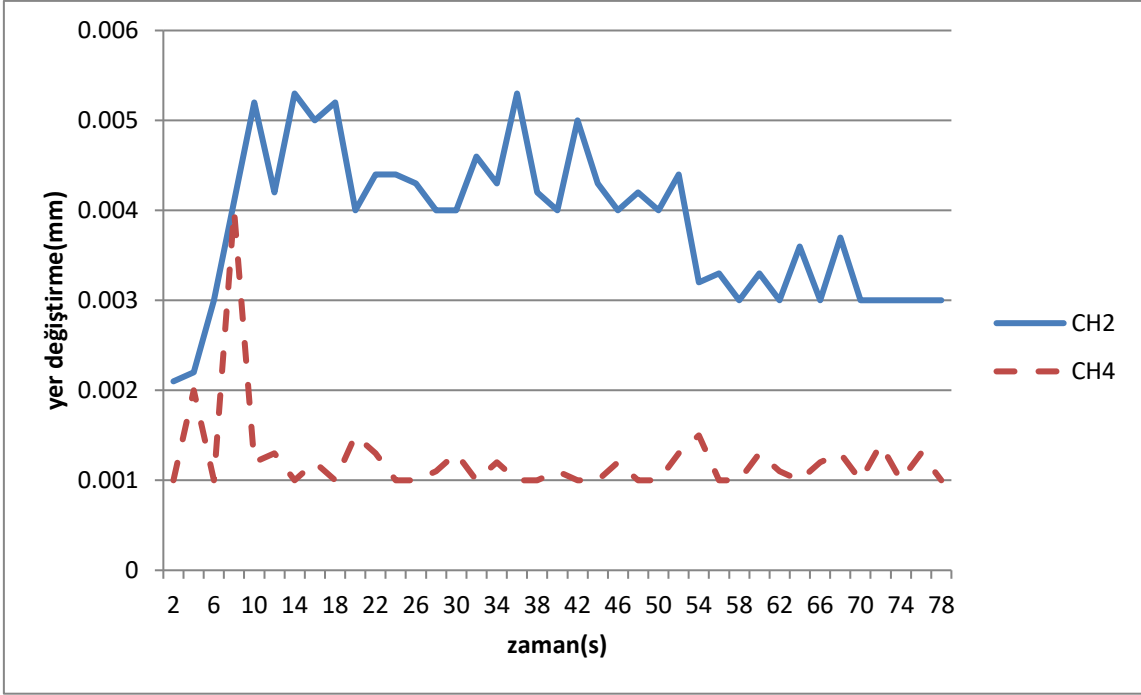
Yüzeyi pürüzlülüğü iyi olmayan ve korozyona uğraşmış işleme parçasının aynaya bağlanmasına müteakip başlanan işlemde tezgâhın sol ayağında ölçülen yer değiştirme değerleri yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni kesici ucun işlenen parçaya temas ettiği ilk andaki karşılaştığı korozif ve pürüzlü yüzeydir, kesici uç yaklaşık olarak 1 mm ilerledikten sonra ortadan kalkan bu handikaplı yüzey ile tezgâhın sağ ayağındaki ölçülen yer değiştirme değerleri 0,2 mm bandında sabit seyrettiği gözlemlenmektedir. Yalıtım malzemesi kullanıldıktan sonra, önceki duruma göre gözle görülür derecede yer değiştirmenin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.15 Torna (sol ayak – sağ ayak) titreşim yalıtımlı bağlantıda sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.

Tornanın sol ayağı altındaki zemin grafik değerleri gösterilmiştir. Sensörden alınan değerler 0,2 ile 0,45 değerinde zemin titreşimi oluşmuştur. Torna ayağında çok küçük bir titreşim değerinin olduğunu görmekteyiz. Diğer ayakta oluşan titreşim değerleri zemine daha fazla iletilmiştir. Yalıtım malzemesi kullanılmadan önce ise bu değerlerin genellikle aynı seviyede olduğu görülmektedir. Kesici ucun parçayla olan ilk temasında oluşan titreşim ve buna bağlı yer değiştirme sönümleyici kullanılmadığı takdirde daha yüksek olduğunu ifade edebiliriz.

Burada CH1 ile ölçülen değer tornanın diğer ayağına göre daha hafiftir. Hafif olan kısımda meydana gelen titreşim daha fazladır. CH3 sensörü ile ölçülen değer ise daha ağır olan ayaaktır. Bu kısım ağırlıktan dolayı titreşimin bir kısmını sönümlediğini görmekteyiz.



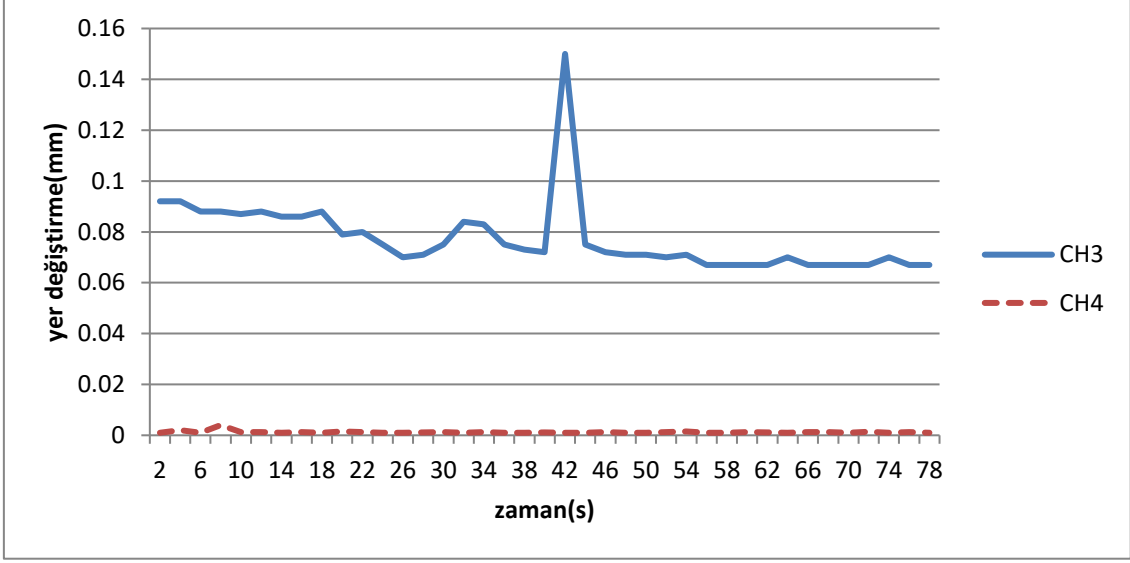
Şekil 4.16 Torna (sol ayak zemini - sağ ayak zemini) titreşim yalıtımlı sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.

Şekil 4.14 da zemine ait titreşim grafiği gösterilmiştir. Grafik değerleri tornanın ayağı ile karşılaştırıldığında daha küçük olduğu görülmektedir ki normalde de böyle olması gerekir. Bu şu anlama gelmektedir; tornanın titreşim değerler, zeminin titreşim değerlerinden daha yüksektir. Meydana gelen değişim değerlerinin neredeyse görünmediği ve baz değerlerde sabit kaldığı görülmektedir. CH2 sensörü torna tezgâhının sol ayağının zemin üzerinde meydana getirdiği titreşimi ölçerken CH4 sensörü sağ ayağının zemin üzerinde meydana getirdiği titreşim değerlerini göstermektedir. Başka bir deyişle hafif ayağın zeminde meydana getirmiş olduğu titreşim ile ağır ayağın zeminde meydana getirmiş olduğu yer değiştirme değerleridir.

Grafikteki zemin değerlerinin tam sıfır olmamakla birlikte sıfıra oldukça yakın olduğu görülmektedir. Torna ayaklarındaki değerler zemin değerlerinden yüksektir. Grafikten görüldüğü gibi zemin değerleri düzgün bir şekilde zamana bağlı olarak bir eğri oluşturmaktadır. Zemindeki değerlerin sayısal değeri binde olarak bir ölçekte gösterilmesi gerekir. Burada her iki değer çakışık çıkmıştır. Tezgâh ayakları altına sönümleyici malzeme konulduktan sonra önceki yer değiştirme değerleriyle karşılaştırıldığında bu değerlerin azaldığını görmekteyiz. Bilhassa zemin üzerindeki yer

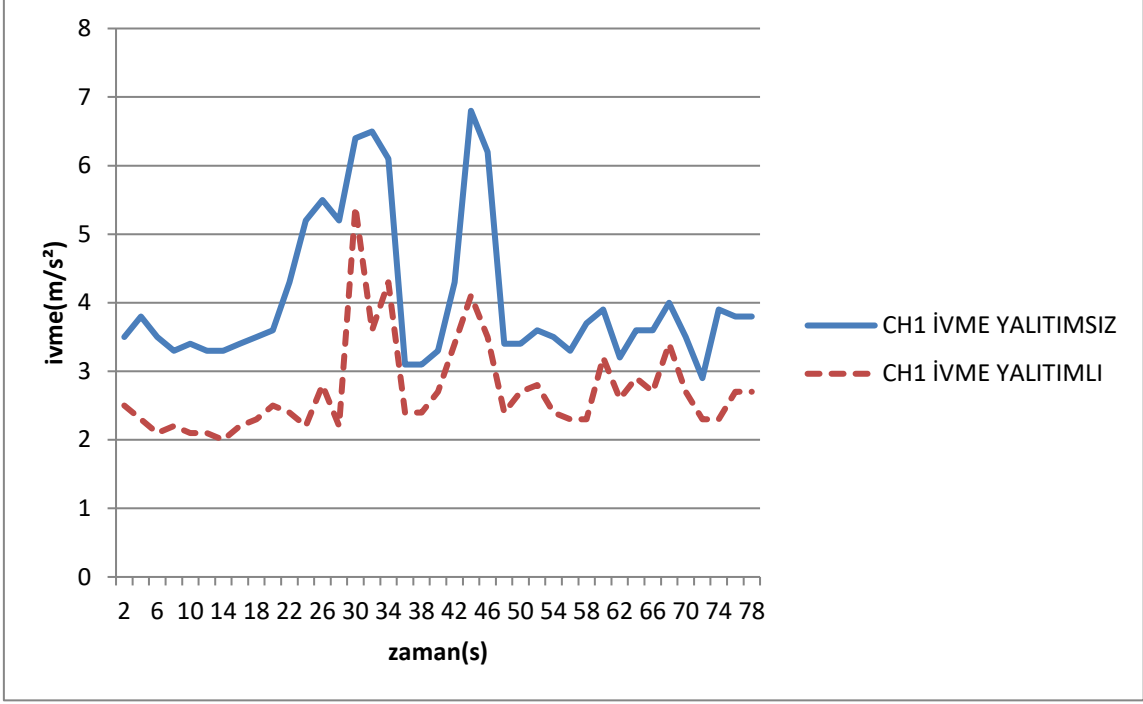
değiştirmelerinden küçüktür. Buradan şu çıkartılıyor, titreşim sönümleyici malzeme tezgâhtaki yer değiştirme hareketinin zemine geçmesini engellemektedir. Titreşim sönümleyici malzemenin kullanım amacı tezgâhın ayaklarında meydana gelen titreşim sonucu oluşan yer değiştirme ve ivme değerlerinin zemine geçmesini engellemektedir. Bu konu hassas üretim yapılan yerlerde mutlaka dikkate alınmalıdır. Tezgâhların çalıştığı ortamlarda zemine gelen kuvvetler, yanında çalışan tezgâhlara zarar verir ve çalışma ortamının konforunu olumsuz etkiler. Bunun sonucunda ise tezgâhta üretilen üründe istenilen hassasiyeti elde edilemez. Kullanılan kesici ucun ve tezgâhın ömrünü kısaltır. Daha bunlara ilave olarak birçok olumsuz durum söylenebilir. Güncel tezgâhlar zemin yalıtımlı montaj yapılmaktadır.

İzolasyon malzemesinin hangi özellikte olduğu deneysel yollar kullanılarak belirlenmesi gerekir. Titreşim sönümleyici malzemeler endüstride çok çeşitli tipte ve geometride üretilerek günümüzde kullanılmaktadır. Bu çalışma sonrası yeni bir konu ortaya çıkmıştır. Bu konuda tezgâh özelliği, çalışma kuvvetlerine göre kullanılacak titreşim sönümleyici malzemenin belirlenmesidir.



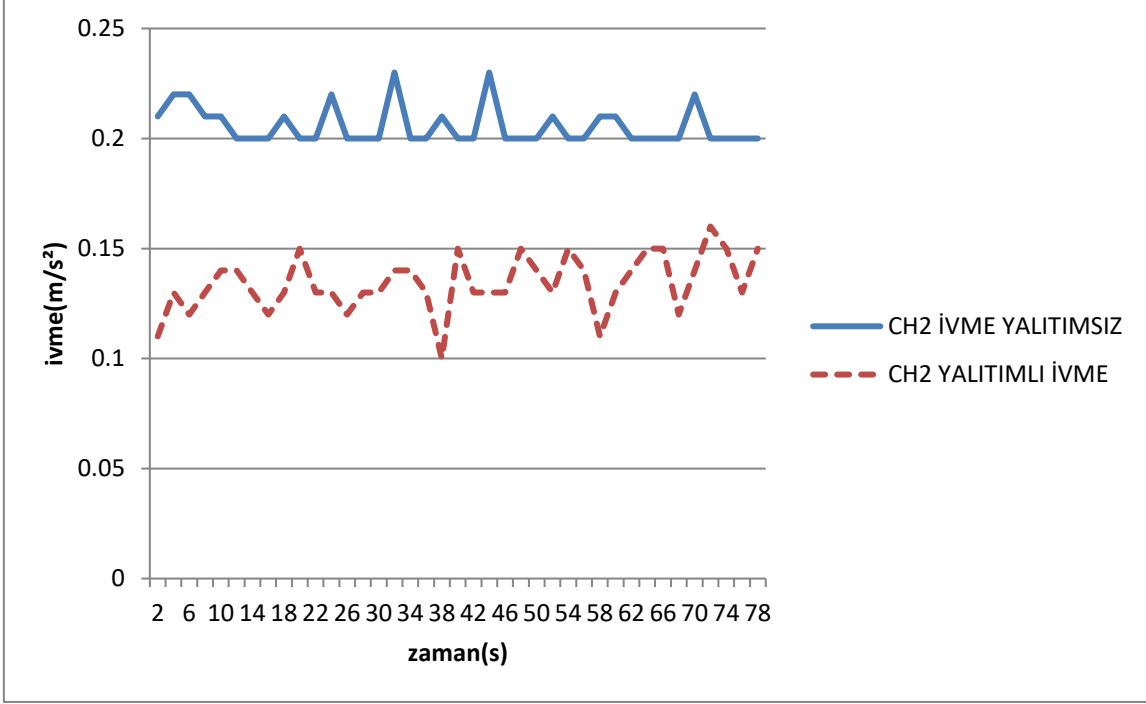
Şekil 4.17 Torna (sağ ayak - sağ ayak zemini) titreşim yalıtımlı sensörlerin yer değiştirme değerinin gösterilmesi.

Torna tezgâhının ağır olan ayağı ve bu ayağın zeminde oluşturmuş olduğu titreşimin yer değiştirme durumu görülmektedir. Burada gerek ayaktaki gerekse zeminde meydana gelen titreşimler azdır sebebi bu bölgede ağırlığın fazla olması sebebiyle zaten tezgâhta titreşimin sönümlenmeden dolayı azalmış olmasıdır. Ağırlık ile oluşacak titreşim oranının ters orantılı olduğunu ağırlık artıkça titreşimin azaldığını görmekteyiz. Titreşimi ve buna bağlı olarak oluşan yer değiştirme miktarını azaltmanın en iyi yolu uygun yalıtım malzemesi kullanmaktır.



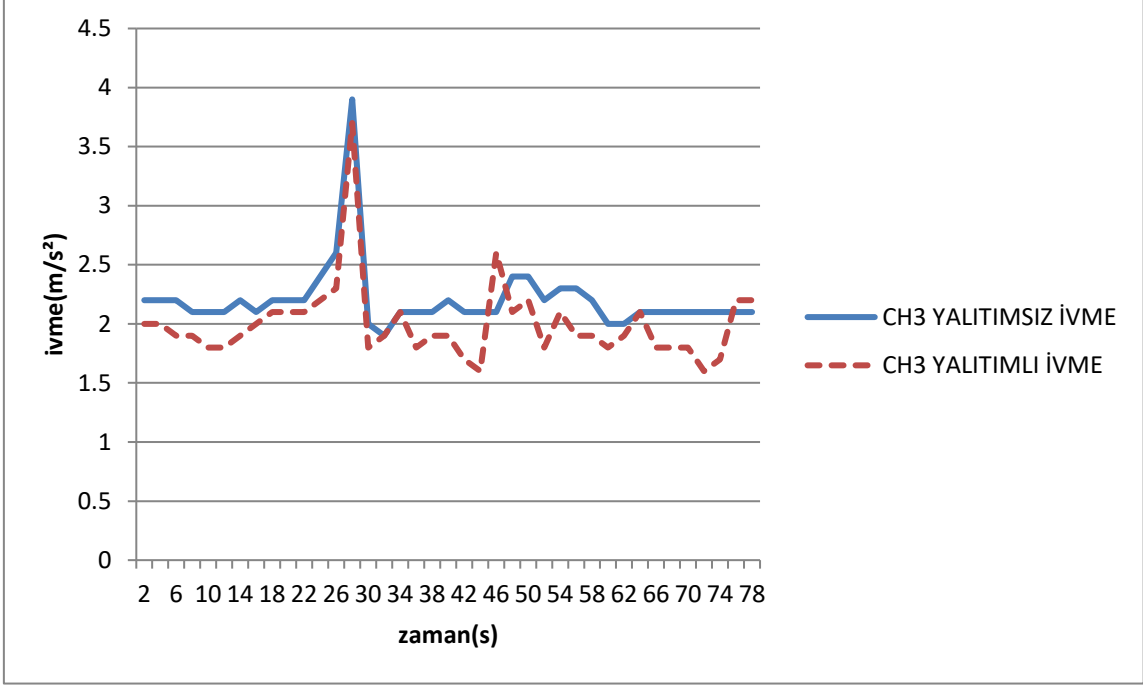
Şekil 4.18 Torna (sol ayak) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin ivme değerlerinin gösterilmesi.

Torna tezgâhının sol ayağındaki titreşim miktarı yalıtım malzemesi kullanılmadan önce $3-7\text{m/s}^2$ arasında değişirken yalıtım malzemesi kullanıldıktan sonra bu oranın $2-5\text{m/s}^2$ arasında değiştiğini görmekteyiz bu durumda özellikle kullanılan yalıtım malzemesinin özelliğine de bağlı olarak yaklaşık %30 oranında bir sönümleme sağladığını görmekteyiz. Bu oran hassas işleme yapacak tezgâhlarda çok önemlidir. İşlenen parçanın daha hassas işlenmesine ve yüzey kalitesinin artması anlamına gelmektedir. Tabi burada kullanacağımız uygun sönümleme malzemesi ile bu oranı daha da artırabiliriz.



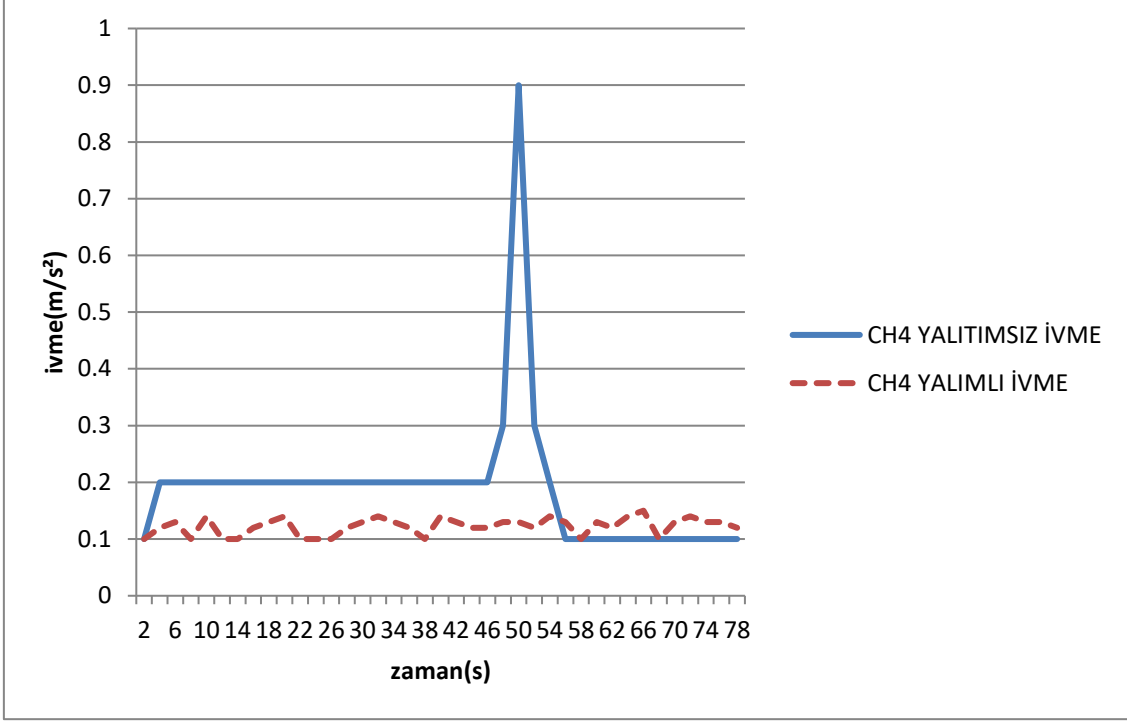
Şekil 4.19 Torna (sol ayak zemini) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin ivme değerlerinin gösterilmesi.

Şekil 4.19 ya baktığımızda sol ayağın zeminde oluşturmuş olduğu titreşimi görmekteyiz yalıtım malzemesi kullanılmadan zeminde oluşan titreşim yaklaşık $0,2\text{m/s}^2$ iken bu değer $0,1$ değerine kadar düşürüldüğünü görmekteyiz. Başka bir deyişle yalıtım malzemesi kullanılarak titreşim oranını yaklaşık %50 oranında azaltmış oluyoruz buda gerekse tezgâhın ömrünü işlenen parçanın hassasiyetini (işleme kalitesini) artırmış bulunmakta, Aynı zaman da operatörünün çalışma şartını da iyileştireceğinden dolayı daha verimli çalışmasını da sağlayacaktır.



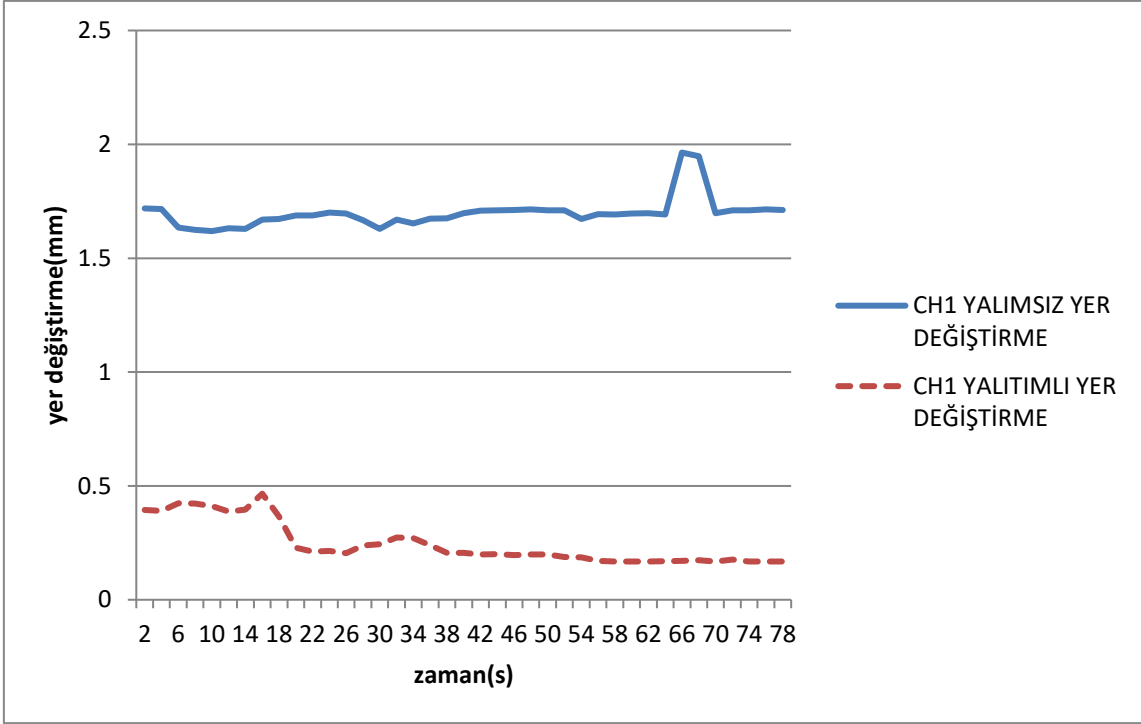
Şekil 4.20 Torna (sağ ayak) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin ivme değerlerinin gösterilmesi.

Şekil 4.20 de torna tezgâhının en ağır bölgesinde oluşan titreşim değerlerini görmekteyiz. Buradaki yalıtım malzemesi kullanılmadan önceki ve sonraki değerlerin arasında daha önceki değerler kadar büyük farkın olmadığını görmekteyiz bunun sebebi kütle ne kadar artar ise tezgâhın kendi titreşimini sönümleyerek dışarıya pek fazla titreşimi vermediğini görmekteyiz. Buradaki yalıtım oranı yaklaşık % 10 civarındadır. Başka bir deyişle kütle ile oluşan titreşim arasında ters bir orantı olduğudur kütle ne kadar artarsa oluşan titreşim o kadar azalmaktadır.



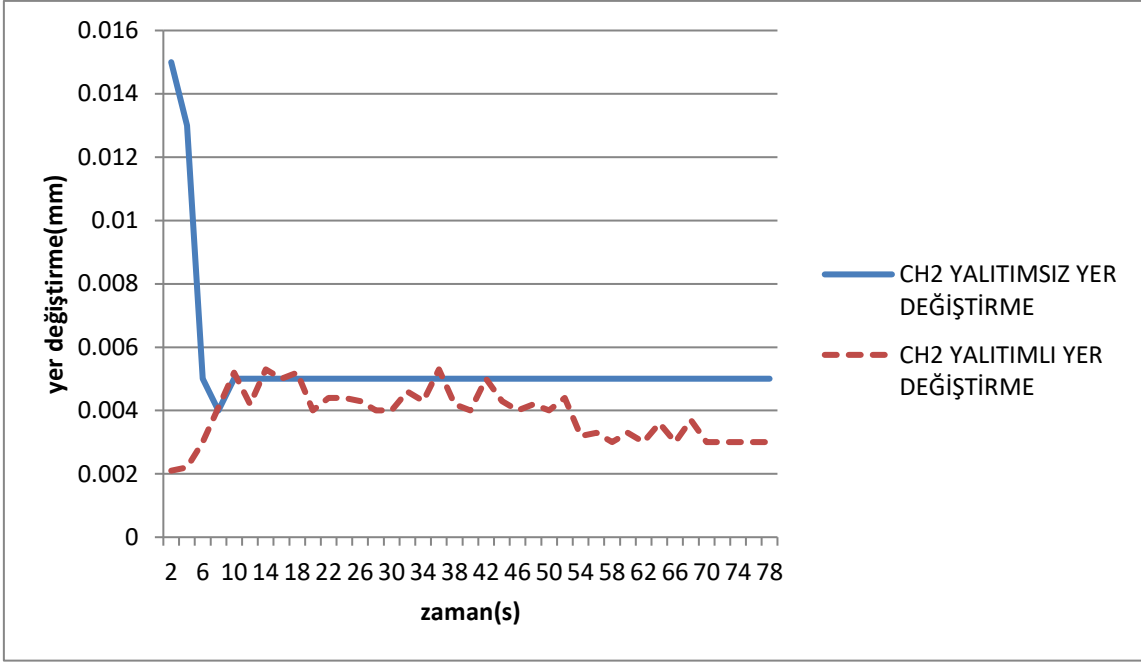
Şekil 4.21 Torna (sağ ayak zemini) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin ivme değerlerinin gösterilmesi.

Torna tezgâhının sağ ayak zemininde oluşturulan titreşimin ivme değerleri Şekil 4.21 de gösterilmiştir. Buradaki ani yükselme dışardan sisteme müdahale etmemizden kaynaklanmıştır. Bu müdahale ile ölçümün daha hassas yapılabilmesi için sensörler yapışkan ile zemine tutturulmuştur. Değerler karşılaştırıldığında yalıtımsız olarak ölçülen 0,2 değeri yalıtım malzemesi kullanılarak 0,1 değerine kadar düşürülmüştür.



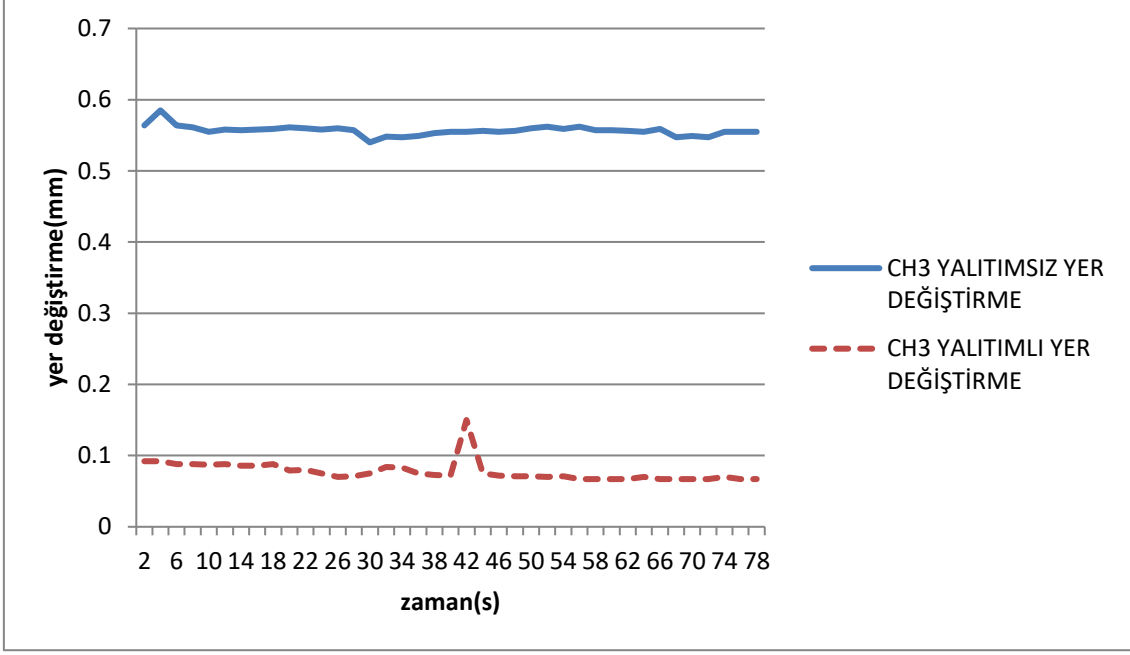
Şekil 4.22 Torna (sol ayak) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin yer değiştirme değerlerinin gösterilmesi.

Burada yer değiştirme değerleri daha net olarak görülmektedir. Yalıtım malzemesi kullanılarak ölçülen değerler ile yalıtım malzemesi kullanılmadan ölçülen değerler arasında yaklaşık olarak %75 gibi bir farkın olduğu dolayısıyla bu farkında doğru yalıtım malzemesi kullanılarak daha da artacağı değerlendirilmektedir.



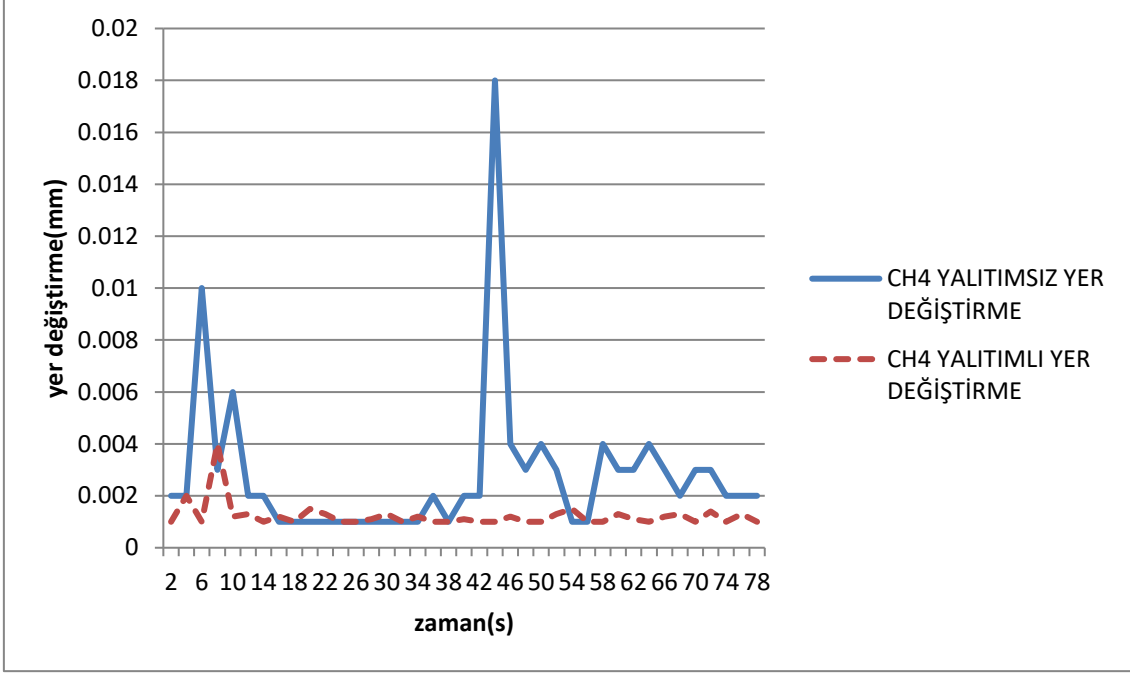
Şekil 4.23 Torna (sol ayak zemini) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin yer değiştirme değerlerinin gösterilmesi.

Grafığe bakıldığında değerin ayaklarda ölçülen değerlere göre daha az bir oynama meydana geldiğini görmekteyiz ölçülen değerlerde yalıtım malzemesi kullanılarak %35 titreşim yer değiştirme miktarında azalma meydana geldiğini söyleyebiliriz. Değerleri 0,002-0,005 arasında değişmekte iken yalıtımsız olarak ölçülen değerlerin ise 0,004-0,005 arasında değiştiğini görmekteyiz.



Şekil 4.24 Torna (sağ ayak) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin yer değiştirme değerlerinin gösterilmesi.

Bu sensör ile ölçüm yapılan ayak diğer ayaktan daha ağırdır. Dolayısıyla okunan titreşim değeri bu ayakta daha azdır. Buradaki grafik değerleri dikkatlice incelendiğinde 0,5-0,6 arasında değişen yer değiştirme değerinin 0,1 değerinin altına indirildiğini görmekteyiz.



Şekil 4.25 Torna (sağ ayak zemini) titreşim yalıtımlı ve yalıtımsız sensörlerin yer değiştirme değerlerinin gösterilmesi.

Bu grafikte ise torna tezgâhının daha ağır ayağının meydana getirdiği titreşimin yer değiştirme miktarını görmekteyiz. Yalıtım malzemesi kullanılarak değer ne kadar azaldığı ve bu azaltma sonucunda tezgâhın daha hassas malzemeleri işleyebileceğini dolayısıyla çalışma ortamını da olumlu olarak değiştireceği görülmüştür. Uygun yalıtım malzemesi kullanılarak titreşimin azaldığı ve dolayısıyla bu titreşime bağlı olarak yer değiştirme değerlerinin de azaldığı görülmüştür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Endüstride talaşlı üretim ve takım tezgâhları kullanılarak üretim yapılmaktadır. Son zamanlarda tezgâhların oluşturduğu titreşim hareketinin azaltılması bir çok bilim adamına çalışma konusu olmuştur.

Tezgâhların çalışma sırasında oluşturduğu bir takım kuvvetler vardır. Genelde tezgâhın işletim sırasında ürün işlerken veya tezgâh yapısına bağlı olarak oluşan kuvvetler vardır. Bu kuvvetlerin minimize edilmesi gerekir. Tezgâh ayaklarına yalıtım malzemesi başka bir deyişle titreşim sönümleyici malzemeler yerleştirilerek bu kuvvetlerin bağlı olduğu zemine etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Tezgâh ayaklarına kullanılan titreşim sönümleyici bir çok malzeme mevcuttur. Bunların seçimi tezgâhın oluşturduğu çalışma anındaki kuvvetle ve tezgâh kütlesi genelde göz önüne alınır.

Bizim çalışmamızda orta büyüklükte torna tezgâhı üzerinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Tezgâh üzerinden ölçümler alınmıştır. Ölçümler önce titreşim yalıtımlı malzemeyi yerleştirmeden ve sonra titreşim yalıtımlı malzemeyi tezgâh ayaklarının altına yerleştirilerek tezgâh çalışırken ölçüm değerleri ayrı ayrı alınmıştır. Ölçüm değerler datalogger ve bu cihaza bağlı dört kanalı bulunan ivme alıcılar-sensörler kullanılmıştır. Sensörler ile datalogger arasındaki bağlantıda BNC bağlantı tipi kullanılmıştır. Bu düzeneğe hem yer değiştirme hem de ivme değerleri ölçülmüştür. Tezgâh gövdesindeki yer değiştirme ve ivme değerlerini kayıt ederken eş zamanlı olarak zemine ait değerlerde ölçülmüştür. Datalogger üzerinde bir SD kartı vardır, ölçülen değerler bu karta kayıt edilmektedir. Bu bilgiler bilgisayar ortamında grafiklere dönüştürülmüştür. Ayak ve zemin salınımı karşılaştırılmıştır. Grafiklerde bulunan değerler okunduğunda titreşim yalıtımı malzeme kullanıldığında diğer duruma göre zemine daha az salınım hareketi geçmekte olduğu müşahede edilmiştir. Titreşim yalıtım malzemesi kullanılmayan ölçümlere bakıldığında daha fazla zemine salınım hareketinin geçtiğini görmekteyiz. Tam, gerçek değerleri belki yansıtmıyor olabilir, bunun birkaç sebebi vardır. Sensörleri zemine sabit bağlamak gerekirdi. Deneysel çalışmanın yapıldığı yer binanın içi olmasında zemin üzerinde bir kanal veya delik açma imkanı yoktu. Sensörler zemine yapıştırıcı kullanarak bağlanmaya çalışıldı. Bu da algılamayı

zayıflattı Zeminin hareketini olduğu gibi alma imkanı olmamıştır. Bir sonraki çalışmalarda bu konu dikkate alınarak sensörleri zemine sıkıca bağlanması önerilir.

Bu çalışmada tezgâh ölçüm için datalogger, sensörler ve bilgisayarlar, titreşim sönümleyici özel kauçuk malzeme kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo halinde verilmiştir. Datalogger dört kanallı olmasından eş zamanlı olarak tezgâhın salınımı ve zeminin salınmasına ait değerler tabloda gösterilmiştir. Sonra bu nominal değerler ilgili ayak-zemin çiftine göre grafikleri çizilmiştir.

Çalışmada şu önemli noktalara ulaşılmıştır;

- Tezgâhın çalışma sırasında tezgâhta dengesiz kuvvetler oluşmaktadır.
- Tezgâhın büyüklüğü oluşan kuvvetleri etkilemektedir.
- Tezgâhta oluşan kuvvetler tezgâhta salınım oluşturmaktadır.
- Tezgâh gövdesinde titreşim hareketi gözlenmiştir.
- Oluşan kuvvetler tezgâhın üretimini olumsuz yönde etkilemektedir.
- Tezgâh ayaklarının zemine bağlantı yerlerine titreşim yalıtım malzemesi yerleştirilerek tezgâh salınım hareketinin azaltılması gereklidir.
- Tezgâh ayaklarında bu amaca uygun yalıtım malzemesi kullanılmıştır.

Sonuç olarak;

- Yalıtım malzemesi ve yalıtım malzemesiz ölçümler karşılaştırılmıştır.

Yalıtım malzemesi kullanıldığında zemine daha az salınım hareketi-titreşim hareketi geçtiği grafiklerden görülmektedir.

• Yalıtım malzemesini tezgâhın ürettiği kuvvete göre seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

- Tezgâhtan oluşan kuvvetlerin diğer tezgâhlara iletimi yalıtım sonucu azaldığı görülmüştür.
- Tezgâh işleme hassasiyeti artırılmıştır.
- Gürültü azalmıştır, çalışma ortamı rahatlamıştır.
- Binanın yıpranması azaltılmıştır. Bina güvenliği artırılmıştır.

Bunlara ilave birçok fayda sağlandığını söylemek mümkündür. Bu çalışma sonrasında birçok çalışma noktaları ortaya çıkmıştır. Bunlardan birisi, tezgâhın kütlesine göre yalıtım malzemesinin tespit edilmesidir.

6. KAYNAKLAR

- Apprich, S., Wulle, F., Lechler, A., Pott, A., and Veri, A. (2016). Approach for a General Pose-dependent Model of the Dynamic Behavior of Large Lightweight Machine Tools for Vibration Reduction, *Procedia cirp volume 41*: 812-817
- Ast, A., Braun, S., Eberhard, P., and Heisel, U. (2007). *Adaptronic Vibration Damping for Machine Tools Manufacturing technology volume 56*, Issue **1**: 379-382
- Ghoshal, B. and Bhattacharyya, B. (2016). Electrochemical micromachining of microchannel using optimum scan feed rate, *Journal of Manufacturing Processes volume 46*: 258-268
- Inman, J. D. (2014). *Engineering Vibrations*, fourth edition, Printed in the United States of America
- Khoroshoilo, V., Kovalov, V. and Dasic, P. (2016). Improving of Vibration Resistance of Boring Tools by Big Diameter Holes Tooling on Lathe, *Procedia Technology volume 22*: 153-160
- Mori, K., Kono, D., Yamaji, I. and Matsubara, A. (2016). Vibration Reduction of Machine Tool Using Viscoelastic Damper Support, *Procedia cirp volume 46*: 448-451
- Orak, S., ve Türkeş, E. (2006). Tornalamada Ortogonal Kesme İçin Tırlama Titreşim Ve Karalılığın Lineer Analizi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi 19*: 2
- Salehi, M., Blum, M., Fath, B., Akyol, T., Haas, R., and Ovtcherova, J. (2016). Epicycloidal Versus Trochoidal Milling-Comparison of Cutting Force, Tool Tip Vibration, and Machining Cycle Time, *Procedia cirp volume 46*: 230-238
- Sencer, B., Ishizahi, K., and Shamoto, E. (2015). High speed cornering strategy with confined contour error and vibration suppression for CNC machine tools *Cirp Annals-manufacturing technology, volume 64*, Issue **1**: 369-372

Zhang, X., Liu, K., Kumar, S., A. and Rahman, M. (2014). A study of the diamond tool wear suppression mechanism in vibration-assisted machining of steel, *Journal of materials processing technology*, volume 214, Issue 2: 496-506

İnternet Kaynakları

- 1) <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11351.pdf>, 16.03.2017
- 2) <http://www.motekno.com.tr/bilz.html>, 16.03.2017
- 3) <http://www.emo.org.tr/ekler>, 16.03.2017

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cahit EKEN
Doğum Yeri ve Tarihi : Kars, 15.07.1976
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 505 804 41 22 / cahiteken@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise Adana Borsa Lisesi, (1990-1993)
Lisans Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği
Bölümü, (1994-1998)
Yüksek Lisans Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, (2014-2017)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl Türk Silahlı Kuvvetleri, (1998-Devam Ediyor)