

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK HALAT TİTREŞİM İZOLATÖRLERİNİN  
TİTREŞİM KARAKTERİSTİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ayşe Nur ATAKAV DEĞER**

**Enstitü Ana Bilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK HALAT TİTREŞİM İZOLATÖRLERİNİN  
TİTREŞİM KARAKTERİSTİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ayşe Nur ATAKAV DEĞER**

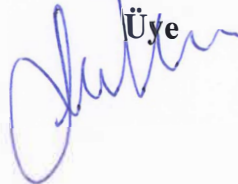
**Enstitü Ana Bilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 27/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

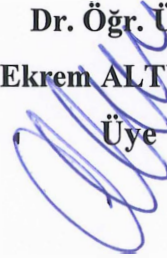
**Doç. Dr.  
Murat ÖZSOY  
Jüri Başkanı**



**Dr. Öğr. Üyesi  
Hüseyin DAL  
Üye**



**Dr. Öğr. Üyesi  
Ekrem ALTUNCU  
Üye**



## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ayşe Nur ATAKAV DEĞER

07.05.2019

## TEŞEKKÜR

“ÇELİK HALAT TİTREŞİM İZOLATÖRLERİNİN TİTREŞİM KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı yüksek lisans çalışmasının hazırlanması ve tamamlanması aşamasında karşılaşılan her güçlükte bilimsel ve manevi desteğini benden esirgemeyen ve büyük emekler harcayan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Dal’a katkılarından dolayı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY .....	x

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Titreşim?.....	1
1.2. Endüstride Titreşimin Önemi .....	2
1.3. ÇHTİ'lerinin Kullanım Alanları.....	5

### BÖLÜM 2.

ÇHTİ TASARIMI VE ÜRETİMİ .....	9
2.1. ÇHTİ Modelleri.....	9
2.2. ÇHTİ CAD Modeli.....	10
2.3. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ Modelleri Üretimi .....	11
2.3.1. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ halat seçimi.....	11
2.3.2. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ fikstür üretimi .....	12
2.3.3. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ montajı.....	14
2.4. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ Modelleri Üretimi.....	17
2.4.1. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ halat seçimi.....	17
2.4.2. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ fikstür üretimi.....	17
2.4.3. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ montajı.....	18

### BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	19
3.1. Yay Katsayılarının Bulunması .....	19
3.2. ÇHTİ Yarı-Statik Testleri .....	20
3.3. ÇHTİ Titreşim Testleri .....	25
3.3.1. Test sistemi .....	25
3.3.2. Titreşim testlerinin yapılışı .....	27

### BÖLÜM 4.

DENEYSEL SONUÇLAR .....	29
4.1. Yarı-Statik Test Sonuçları .....	29
4.1.1. NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ modellerinin yük-deplasman cevapları .....	29
4.1.2. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin yük-deplasman cevapları .....	31
4.1.3. ÇHTİ modellerinin yay katsayıları .....	33
4.2. Titreşim Testi Sonuçları .....	34
4.2.1. ÇHTİ modellerinin ivme ve frekans cevapları .....	34
4.2.2. ÇHTİ modellerinin titreşim yalıtım performansları .....	36
4.2.3. ÇHTİ modellerinin sönüm oranları .....	37

### BÖLÜM 5.

SONUÇLARI .....	40
KAYNAKLAR .....	42
ÖZGEÇMİŞ .....	45

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Genlik
ÇHTİ	: Çelik Halat Titreşim İzolatörü
f	: Frekans
GÇHTİ	: Galvaniz Çelik Halat Titreşim İzolatörü
k	: Yay Katsayısı
kg	: Kilogram
m	: Kütle
mm/dk	: Milimetre/Dakika
m/s	: Metre/Saniye
NÇHTİ	: Nuflex Çelik Halat Titreşim İzolatörü
PÇHTİ	: Paslanmaz Çelik Halat Titreşim İzolatörü
T	: Periyot
t	: Zaman
x	: Yer Değiştirme

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Harmonik hareket ve titreşim parametreleri .....	1
Şekil 1.2. Çelik halat elemanları [12].....	3
Şekil 1.3. Çelik halat için örnek çekirdek formları [12] .....	3
Şekil 1.4. Standart (solda) ve kompakt (sağda) ÇHTİ örnekleri [28]. .....	4
Şekil 1.5. Yüksek Enerji Sönümleyici Çelik Halat İzolatörü [28]. .....	5
Şekil 1.6. Kamera çekim uygulamaları [29]. .....	5
Şekil 1.7. Sürücü koltuğu uygulaması [30]. .....	6
Şekil 1.8. Kabin uygulamaları [30]. .....	6
Şekil 1.9. Hassas makina ve cihaz temeli uygulamaları [30]. .....	6
Şekil 1.10. Araç ekipmanlarının korunması [31]. .....	7
Şekil 1.11. Taşımacılık uygulamaları [32]. .....	7
Şekil 1.12. Askeri uygulamalar [32]. .....	8
Şekil 2.1. ÇHTİ kesit geometrisi modelleri (sırasıyla 7x7, 1x19, 7x19) .....	10
Şekil 2.2. ÇHTİ katı modelinin oluşturulması .....	10
Şekil 2.3. Çelik halatlar (sırasıyla NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ) .....	12
Şekil 2.4. Kestamit parça imalat resimleri .....	12
Şekil 2.5. Fikstür ve Alüminyum parça ham madde .....	13
Şekil 2.6. Fikstür ve alüminyum tasarlanmış parça .....	13
Şekil 2.7. Tellerin kesim aşaması.....	14
Şekil 2.8. Gerekli malzemeler .....	15
Şekil 2.9. İlk montaj aşaması .....	15
Şekil 2.10. Telleri S şeklinde burarak montajlama .....	16
Şekil 2.11. Montajlanmış GÇHTİ, PÇHTİ, NÇHTİ modelleri .....	16
Şekil 2.12. ÇHTİ halatları sırasıyla 7x7-1x19-7x19 .....	17
Şekil 2.13. 3D Yazıcıda üretilmiş klamensler.....	17
Şekil 2.14. ÇHTİ montajlanmış hali sırasıyla 7x7-1x19-7x19 .....	18



Şekil 2.15. ÇHTİ montajlanmış hali sırasıyla 7x7-1x19-7x19 .....	18
Şekil 3.1. Örnek yay katsayısı hesaplama metodu .....	19
Şekil 3.2. Yay üzerine yük uygulaması.....	19
Şekil 3.3. Yük altındaki yayın çökme miktarının ölçülmesi .....	20
Şekil 3.4. İnstron test cihazı .....	21
Şekil 3.5. ÇHTİ modelinin basma, yuvarlanma ve kesme çalışma şekilleri.....	21
Şekil 3.6. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ Basma-Çekme testleri .....	22
Şekil 3.7. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ kesme testleri.....	23
Şekil 3.8. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ yuvarlanma testleri .....	23
Şekil 3.9. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ basma-çekme testleri.....	24
Şekil 3.10. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ kesme testleri .....	24
Şekil 3.11. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ yuvarlanma testleri.....	25
Şekil 3.12. Sarsıcı, ÇHTİ ve ivmeölçer.....	26
Şekil 3.14. Sırasıyla sinyal jeneratörü, titreşim analizörü ve soğutucu fan .....	26
Şekil 3.14. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ dikey yöndeki titreşim testleri.....	27
Şekil 3.15. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ yatay yöndeki titreşim testleri .....	28
Şekil 3.16. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ dikey yöndeki titreşim testleri.....	28
Şekil 3.17. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ yatay yöndeki titreşim testleri.....	28
Şekil 4.1. Sırasıyla NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ Basma-Çekme yük-deplasman cevapları.....	30
Şekil 4.2. Sırasıyla NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ kesme yük-deplasman cevapları .....	30
Şekil 4.3. Sırasıyla NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ yuvarlanma yük-deplasman cevapları.....	31
Şekil 4.4. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ Basma-Çekme yük-deplasman cevapları.....	31
Şekil 4.5. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ Kesme yük-deplasman cevapları .....	32
Şekil 4.6. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ Yuvarlanma yük-deplasman cevapları.....	32
Şekil 4.7. PÇHTİ ivme ve frekans cevabı örneği.....	35
Şekil 4.8. NÇHTİ ivme ve frekans cevabı örneği .....	35
Şekil 4.9. NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ boyutsuz titreşim yalıtım performansları (sol-dikey, sağ-yatay) .....	36
Şekil 4.10. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ boyutsuz titreşim yalıtım performansları (sol-dikey, sağ-yatay) .....	37

Şekil 4.11. PÇHTİ modeli sönüm testi .....	37
Şekil 4.12. GÇHTİ modeli sönüm testi.....	38
Şekil 4.13. 1x19 ÇHTİ modeli sönüm testi.....	38

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Çalışma için seçilen ürünün ENIDINE katalog değerleri.....	9
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan LDS marka sarsıcı özellikleri.....	26
Tablo 4.1. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ modellerinin k (N/mm) yay katsayıları.....	33
Tablo 4.2. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin k (N/mm) yay katsayıları.....	34
Tablo 4.3. ÇHTİ modellerinin doğal frekansları.....	34
Tablo 4.4. NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ modellerinin sönüm parametreleri.....	39
Tablo 4.5. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin sönüm parametreleri.....	39

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Çelik halat titreşim izolatörü, titreşim yalıtımı, titreşim testi

Özellikle hassas ve yüksek teknoloji ürünlerinin korunması amacıyla, ani şok, titreşim, darbe, patlama gibi şiddetli dinamik yükleri absorbe edebilen, çelik halat titreşim izolatörü - ÇHTİ (wire rope vibration isolator) savunma ve uzay sanayinde de olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Titreşim izolatörleri, özel üretilmiş çeşitli çap, sarım ve malzemedan çelik tellerin simetrik, helisel veya daha değişik formlarda burularak montajlanması ile imal edilmektedir.

Bu çalışmada, ÇHTİ' lerinin halat malzemesinin ve halat kesit geometrisinin titreşim karakteristiklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla iki tür ÇHTİ modeli tasarlandı. Birinci tür ÇHTİ modellerinde halat ana malzemesinin, ikinci tür ÇHTİ modellerinde halat kesit geometrisinin titreşim karakteristiklerine etkisi deneysel olarak incelendi. Malzeme etkisi çalışması için nufleks, paslanmaz ve galvaniz halat tercih edildi. Atölye ortamında nufleks çelik halat titreşim izolatörü (NÇHTİ), paslanmaz çelik halat titreşim izolatörü (PÇHTİ) ve galvaniz çelik halat titreşim izolatörü (GÇHTİ) olmak üzere 3 farklı ÇHTİ modeli tasarım ve üretimleri gerçekleştirildi. İkinci tür halat modellerinde halat kesit geometrisi olarak 7x7, 1x19 ve 7x19 olan daha küçük ebatlı 3 farklı ÇHTİ modeli de tasarlanarak laboratuvar ortamında üretildi. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ halat çapları 3mm, 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ halat çapları 2 mm'dir.

Üretilen ÇHTİ modellerinin farklı hız ve ön yükleme koşulları altında çekme-basma, kesme ve yuvarlanma testlerine tabii tutularak yük-deplasman cevapları elde edildi. Rijitlik testlerinden sonra sarsıcı sistemi ve ivmeölçerler kullanılarak dinamik titreşim testleri gerçekleştirildi. Her bir ÇHTİ modelinin doğal frekansları, yalıtım karakteristikleri, frekans ve ivme zaman cevapları ve sönüm oranları elde edildi.

Yapılan çalışmalar sonucunda ÇHTİ halat malzemesi ve halat kesit geometrisinin titreşim karakteristiklerine önemli derecede etki yaptığı görüldü.

# INVESTIGATION FOR VIBRATION CHARACTERISTICS OF WIRE ROPE VIBRATION ISOLATORS

## SUMMARY

Keywords: Wire rope vibration isolator, vibration isolation, vibration test

Wire rope vibration isolator, which is capable of absorbing severe dynamic loads such as sudden shock, vibration, impact, explosion, etc. for the protection of sensitive and high-tech products, is generally used in many sectors including defense and aerospace industry. Vibration isolators are produced by mounting various diameters, winding and material steel wires in various shapes in a symmetrical, helical or different form by twisting.

In this study, the effect of material and section geometry for wire rope vibration isolators on the vibration characteristics is investigated experimentally. For this purpose, two types of wire rope vibration isolator model were designed. The effect of rope raw material for first model and the rope section geometry for second model on the vibration characteristics were examined experimentally. Nuflex, stainless and galvanized rope were preferred for Material effect study. In the workshop environment, 3 different wire rope vibration isolator models were designed and produced with nuflex, stainless steel and galvanized steel materials. In the second type of rope models, 3 smaller wire rope vibration isolator models with 7x7, 1x19 and 7x19 dimensions were designed and manufactured in laboratory. The rope diameters is 3mm for nuflex, stainless and galvanized steel rope vibration isolator and 2 mm for 7x7, 1x19 ve 7x19.

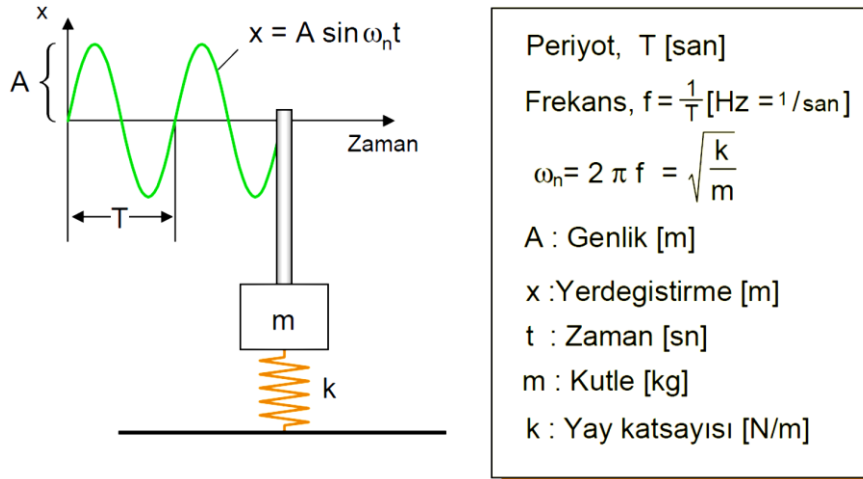
Load-displacement responses were obtained by pulling, cutting and rolling tests under different speed and preload conditions of the produced wire rope vibration isolator models. After rigidity tests. Dynamic vibration tests were performed after rigidity tests using shock system and accelerometers. Natural frequencies, insulation characteristics, frequency and acceleration time responses and damping ratios were obtained for each wire rope vibration isolator model.

As a result of the studies, it was observed that the rope material and rope section geometry had a significant effect on the vibration characteristics.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

### 1.1. Titreşim?

Titreşim bir denge noktası etrafındaki mekanik salınımdır. Bu salınımlar bir sarkacın hareketi gibi periyodik olabileceği gibi çakıllı bir yolda tekerleğin hareketi gibi rastgele de olabilir. Her türlü sistemde titreşim istenmeyen bir harekettir, çünkü boşa enerji harcar ve istenmeyen ses ve gürültü oluşturur. Örneğin, motorların, elektrik motorlarının ya da herhangi mekanik aracın çalışma esnasındaki hareketi istenmeyen titreşimler üretir. Böyle titreşimler motorlardaki dönen parçaların balanssızlığından, düzensiz sürtünmeden, dişli çarkların hareketinden kaynaklanabilir. Dikkatli tasarımlar genellikle istenmeyen titreşimleri minimize ederler [1]. Genel titreşim parametreleri Şekil 1.1.'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Harmonik hareket ve titreşim parametreleri

Belirli ve eşit  $T$  zaman aralıkları içinde, bütün özellikleri ile aynen tekrarlanan titreşime periyodik titreşim denir. En basit periyodik titreşime harmonik titreşim denir. Basit harmonik hareket titreşimlerin temelini oluşturur.

## 1.2. Endüstride Titreşimin Önemi

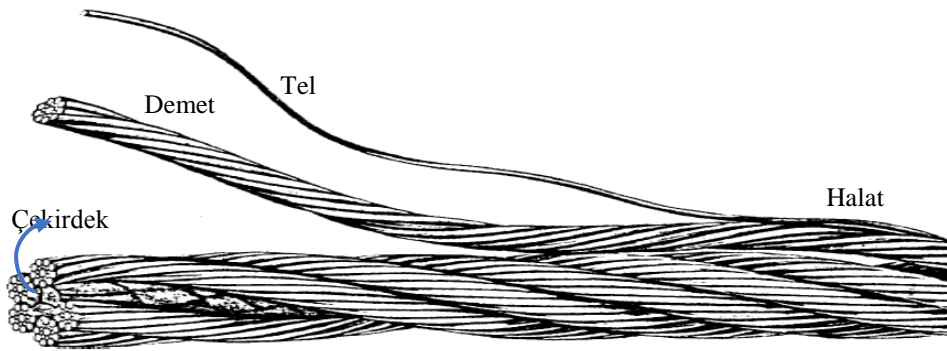
Titreşim bir denge noktası etrafındaki mekanik salınımdır. Bu salınımlar bir sarkacın hareketi gibi periyodik olabileceği gibi çakıllı bir yolda tekerleğin hareketi gibi rastgele de olabilir. Daha sıklıkla, titreşim istenmeyen bir harekettir, çünkü boşa enerji harcar ve istenmeyen ses ve gürültü oluşturur. Örneğin, motorların, elektrik motorlarının ya da herhangi mekanik aracın çalışma esnasındaki hareketi istenmeyen titreşimler üretir. Böyle titreşimler motorlardaki dönen parçaların balanssızlığından, düzensiz sürtünmeden, dişli çarkların hareketinden kaynaklanabilir. Dikkatli tasarımlar genellikle istenmeyen titreşimleri minimize ederler.

Sanayide, makineye dair tüm sektörlerde iş makinelerinde, üretim teçhizatlarında oluşan bu titreşimler eğer izole edilemez ise makinenin aksamalarının zarar görmesine, yapılan işin düzensizliğine ve benzeri gibi sıkıntılara yol açar. Bu tahribatından kaçınmak için titreşimi izole edebilen sönüm elemanları kullanılır. Kullanılan bu sönüm elemanlarının kullanılacağı iş elemanına göre hassasiyetlikleri ve sönüm oranları belirlenir. Bu elemanların çalıştığı ortama göre hassasiyetlikleri ve sönüm oranları değişebilir.

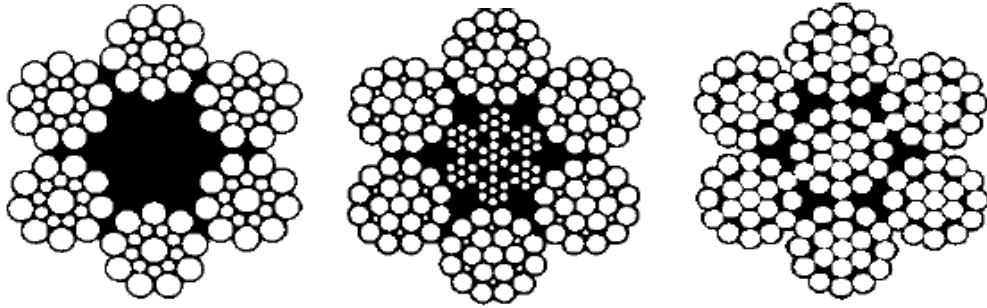
Çeşitli elektronik, makine, tıbbi cihazlar, uzay araçları, kameralar, kontrol panelleri, askeri cihaz ve silahlar vb. gibi araç gereçleri zararlı şok ve titreşimlere karşı korumak için titreşim izolatörleri kullanılmaktadır. Titreşim izolatörleri çok çeşitli tasarımlara, formlara ve özelliklere sahip olabilmektedir. Bu tür titreşim izolatörlerinden birisi de klasik çelik yay ve elastik takozlardan farklı olarak çelik halat titreşim izolatörleridir. ÇHTİ'nin şok ve titreşimlere karşı çok iyi karakteristiklerinin olduğu ancak, uzay uygulamaları gibi bazı uygulamalar için modellenmelerinin oldukça karmaşık olmasından dolayı, dinamik davranışlarının yeterince analiz edilmediği bilinmektedir [2]. Ancak son yıllarda hesaplama teknolojileri ve sayısal tekniklerin gelişmesiyle sadece çelik halatların analizleri ve modellemeleri yapılabilmektedir [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Genel olarak birkaç kullanım alanı: disk sürücüler, tıbbi malzeme, hassas mobil elektronik, elektronik parçalar, küçük pompalar ve motorlar, hassas parçaların sevkiyatı, denizcilik uygulamaları, askeri uygulamaları, arazi taşıtlarıdır.

Çelik halat basitçe, birçok çelik tellerin çeşitli formlarda sarılmasıyla elde edilen üründür Şekil 1.2. Bazen sadece halat olarak ta adlandırılmaktadır. Çelik halatlar farklı iç geometrik kesitlerde üretilmektedirler. Şekil 1.3.'te görüldüğü gibi çelik halatlar kullanım yerine göre, birçok alanda taşıyıcı eleman olarak ta kullanılmaktadır [11].



Şekil 1.2. Çelik halat elemanları [12].



Şekil 1.3. Çelik halat için örnek çekirdek formları [12]

Çelik halatlar zamanla deformasyonlara maruz kalabilmektedirler [13]. Bu deformasyonlarla birlikte dinamik yüklemelerden kaynaklı yorulmalar oluşmaktadır [14]. Bu yorulmaları önceden tahmin çalışmaları yapılmaktadır [15]. Doğru yorulma ömürleri ve analizleri için doğru modellemeye çok önemlidir [16, 17, 18, 19, 20, 21]. Yaklaşık modellerin yanı sıra analitik modelleme çalışmaları da son yıllarda çalışılmakta ve kıyaslanmaktadır [22, 23, 24]. Modellemenin doğru yapılabilmesi



içinde çelik halatların mekaniğinin de iyi bilinmesi gerekir [25]. Tel halatlar sıcaklıkla da etkileşebilmektedirler [26]. Çelik halat izolatörlerin askeri, endüstriyel, uzay, deniz alanlarında kullanımının yanı sıra binaların deprem yüklerine karşı korunması içinde kullanıldığı bilinmektedir [27]. Çelik halatlar için yazılmış bazı kitaplarda bulunmaktadır [28, 12].

ÇHTİ'ler genel olarak, standart ÇHTİ (Şekil 1.4.), kompakt ÇHTİ (Şekil 1.4.) ve HERM olarak isimlendirilen yüksek enerji ÇHTİ (Şekil 1.5.) olmak üzere üç gruba ayrılırlar [29]. Bu alanda birçok model geliştirilmiştir. Bazıları patentler ile koruma altındadır [30].

Etkili şok ve titreşim izolasyonu için kullanılan standart ÇHTİ, alüminyum alaşımli destekleme çubukları vasıtasıyla, kullanım veya tasarım kriterlerine göre, belirli çaplardaki farklı paslanmaz çelik tellerden oluşan kablolarının, simetrik ve helisel şekillerde sarılıp sıkıştırılmasıyla istenilen boyutlarda imal edilmektedir. Korozyona ve aşınmaya dayanıklıdır. Tamamen metal aksamli, çevreye duyarlı ve kararlı, sıcaklık değişimlerinden, kimyasallardan ve yağlardan etkilenmezler. Genellikle büyük ölçekli cihazların, yüksek titreşim ve şok izolasyonunun da tercih edilirler.



Şekil 1.4. Standart (solda) ve kompakt (sağda) ÇHTİ örnekleri [28].



Şekil 1.5. Yüksek Enerji Sönümleyici Çelik Halat İzolatörü [28].

### 1.3. ÇHTİ'lerinin Kullanım Alanları

Günümüzde ÇHTİ arazi taşıtları, askeri uygulamalar, hassas mobil ve teknolojik cihazlar, disk sürücüler, ağır sanayi makinaları.

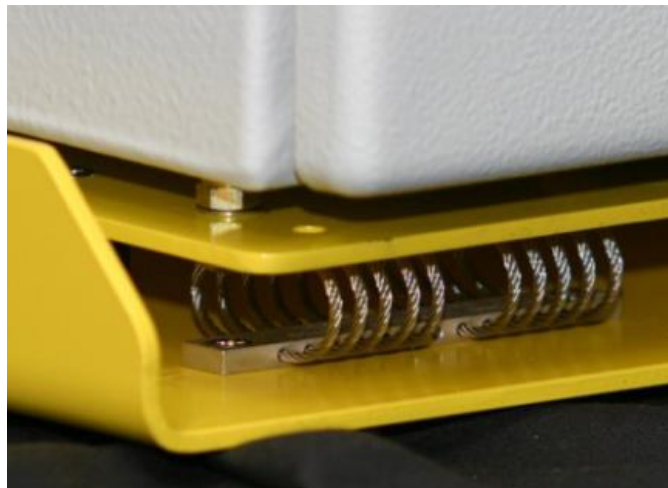
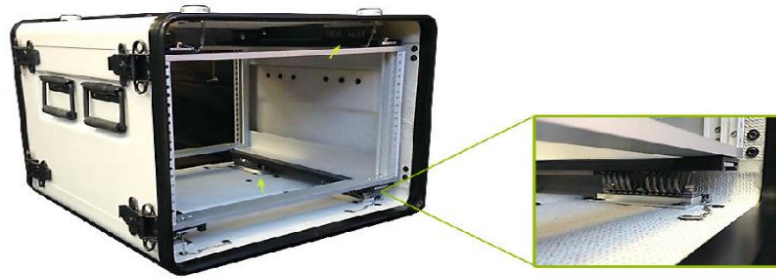
Gerçekleştirilecek bu proje ile birlikte ürünün tasarım, imalat ve test aşamalarının Türkiye'de yapılıp tamamlanması amaçlanmaktadır. Çelik tel halatlar temin edilip incelemeler sonucunda uygun şekil ve kullanım alanına sahip olma koşuluyla prototip imalatı ve seri üretime geçilmesi hedeflenmektedir. Üretim öncesinde gerekli test ve analizleri yapılarak yurt dışındaki pazara nazaran daha kaliteli ve maliyeti az ürünler elde edilmek istenmektedir.



Şekil 1.6. Kamera çekim uygulamaları [29].



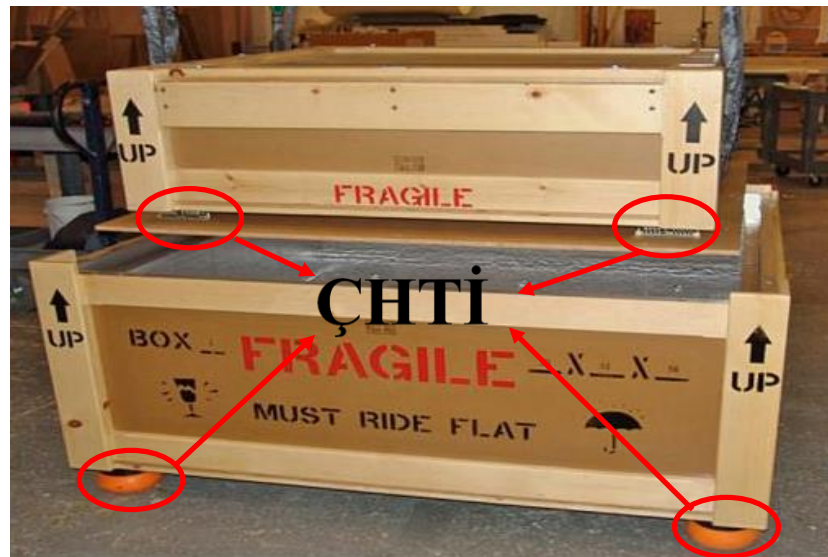
Şekil 1.7. Sürücü koltuğu uygulaması [30].



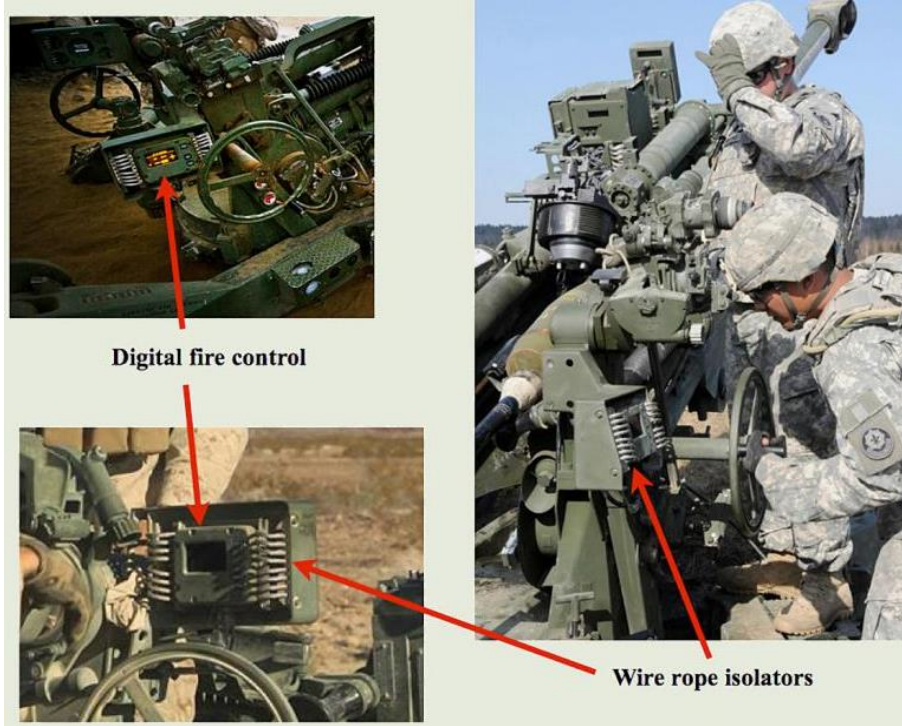
Şekil 1.9. Hassas makina ve cihaz temeli uygulamaları [30].



Şekil 1.10. Araç ekipmanlarının korunması [31].



Şekil 1.11. Taşımacılık uygulamaları [32].



Şekil 1.12. Askeri uygulamalar [32].

## BÖLÜM 2. ÇHTİ TASARIMI VE ÜRETİMİ

### 2.1. ÇHTİ Modelleri

Bu çalışmada iki tür ÇHTİ modeli üzerinde çalışıldı. Birinci tür ÇHTİ modellerinde halat ana malzemesinin titreşim karakteristiklerine etkisi, ikinci tür ÇHTİ modellerinde halat kesit geometrisinin titreşim karakteristiklerine etkisi deneysel olarak incelendi.

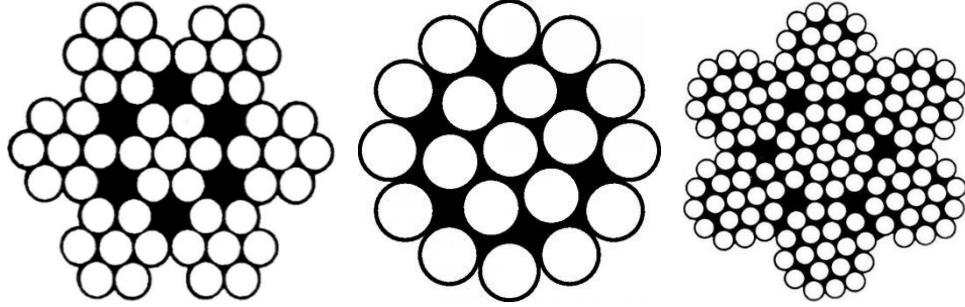
İlk halat modellerinde halat çeşidi olarak piyasada en fazla bulunan galvaniz halat, paslanmaz halat ve nufleks tercih edilerek 3 mm çapında 3 farklı ÇHTİ modeli (NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ) tasarım ve üretimleri gerçekleştirildi. Birinci çeşit modellerde, ÇHTİ geometrik modeli oluşturulurken ENIDINE firmasının katalogundaki değerler referans alarak tasarlandı. Kompakt çelik halat izolatörü için CR serisi referans alındı. CR serisinden ise CR4-300 yapıları model seçildi Tablo 2.1. Tüm halat modellerinin kesit çapları 3 mm dir.

Tablo 2.1. Çalışma için seçilen ürünün ENIDINE katalog değerleri

Size	Height "H" in. (mm)	Width (Ref) "W" in. (mm)	Unit Weight oz. (g)	Mounting Options	Thru Hole in. (mm)	Thread in. (mm)	C'sink Imperial (Metric)
CR4-100	1.66 (42)	1.87 (47)	1.4 (40)	A, B, C, D, E, S	Ø.230 (Ø7,00)	#10-32 UNF (M6 X 1,0)	82° (90°)
CR4-200	2.10 (53)	2.12 (54)	1.4 (40)				
CR4-300	2.37 (60)	2.34 (59)	1.5 (43)				
CR4-400	2.96 (75)	2.67 (68)	1.7 (48)				

İkinci tür halat modellerinde kesit geometrisi olarak 7x7, 1x19 ve 7x19 olan daha küçük ebatlı 3 farklı ÇHTİ modeli de tasarlanarak üretimleri gerçekleştirildi. İkinci tür halat modelinin malzemesi yaylanma özelliği iyi olan St-316 paslanmaz yay çeliği kullanıldı. Gerekli piyasa araştırılması yapıldıktan sonra 2 mm çapında halat

kullanılmasına karar verildi. Kullanılan çelik halatların kesit yapıları Şekil 2.1.'de görülmektedir.



Şekil 2.1. ÇHTİ kesit geometrisi modelleri (sırasıyla 7x7, 1x19, 7x19)

## 2.2. ÇHTİ CAD Modeli

ÇHTİ geometrik modeli oluşturulurken piyasadaki standartlarına uygun ENIDINE firmasını katalogundaki değerleri referans alarak tasarlandı. Öncelikle ÇHTİ burulma yolu oluşturuldu. Çelik halatın kesit profili oluşturulduktan sonra burulma yolu izlenerek parça halat modelleri elde edildi. Solid Works ortamında ÇHTİ klamentsleri oluşturuldu. Çelik halat ile klaments üzerindeki montaj yuvası arasındaki eş merkezlilik ilişkisini düzgün bir şekilde verebilmek için delik klamentsin delik eksenlerinden geçen doğru parçaları eklendi. Çelik halatın dairesel profil kesiti ile klaments üzerindeki doğru parçaları arasında eş merkezlilik ilişkisi verildi. Ardından çelik halatın kesiti ile klamentsin yüzü birleştirildi Şekil 2.2.



Şekil 2.2. ÇHTİ katı modelinin oluşturulması

## 2.3. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ Modelleri Üretimi

### 2.3.1. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ halat seçimi

Bu tasarım projesindeki amaç aynı çap boyutuna sahip farklı malzemelerdeki çelik tel halatların aynı kuvvetlere karşı verecekleri sonuçları karşılaştırmaktır. Bundan dolayı 3 mm çapında 1.5 metre boyunda 3 farklı malzemedен yapılan çelik tel halat temin edildi. Bu çalışma için aynı çapta olacak şekilde NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ olmak üzere 3 farklı ÇHTİ modeli hazırlandı. Bu modellerin titreşim testleri farklı hızlarda ve yönlerde yapılarak modellerin titreşim karakteristik eğrileri çıkartıldı.

3 mm kalınlığında ve 1.5 m uzunluğundaki çelik halatlar montaj yapabilmek amacıyla kesildi. Kesim işleminde önce çelik halatlar üzerinde hassas cetvelle ölçüm yapıldı ve 13 cm'lik parçalar işaretlendi. İşaretlenen noktalardan giyotin ile kesim işlemi yapılmaya çalışıldı fakat halatların deformasyona uğraması sebebiyle halatlar mengeneyle sıkıştırıldı ve taşlama makinesi ile kesildi.

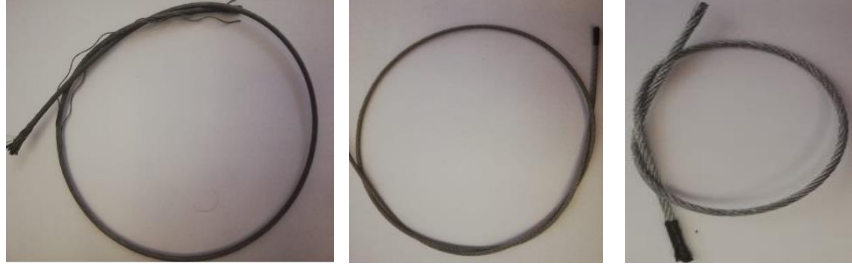
Galvaniz çelik halat teller kalıplardan geçmeden önce kalın bir çinko kaplama tabakası oluşturmak için erimiş çinko içeren tankın içine daldırılmış galvanizli tellerden yapılır. Daha sonra bu galvanizli teller çapı azaltmak ve gerilme mukavemetini arttırmak için çekilir. Aynı zamanda, çelik tellere çinko kaplama yapışması, çelik formunun aşınmasını korumak için daha mükemmel bir tabaka oluşturmak üzere sıkıştırılır [3].

Çok geniş bir çap aralığında üretilen nufleks halatlar inşaat, denizcilik, balıkçılık, petrol, madencilik gibi birçok sektörde ve özellikle asansörlerde, vinçlerde kullanılmaktadır. Yük altında dönme eğilimleri geleneksel halatlara göre daha azdır. Montajı doğru yapılmalıdır aksi halde gam yapar ve bozulur. Montajı düzgün yapılırsa çok uzun ömürlüdür [4].

Paslanmaz çelik halatları zengin kalite ve konstrüksiyon çeşitliliği ile tüm kullanım alanlarına uygun seçenekler sunmaktadır. Paslanmaz çelik halatları otomotiv, havacılık ve denizcilik sektörleri başta olmak üzere, hobi, balıkçılık, kimya endüstrisi



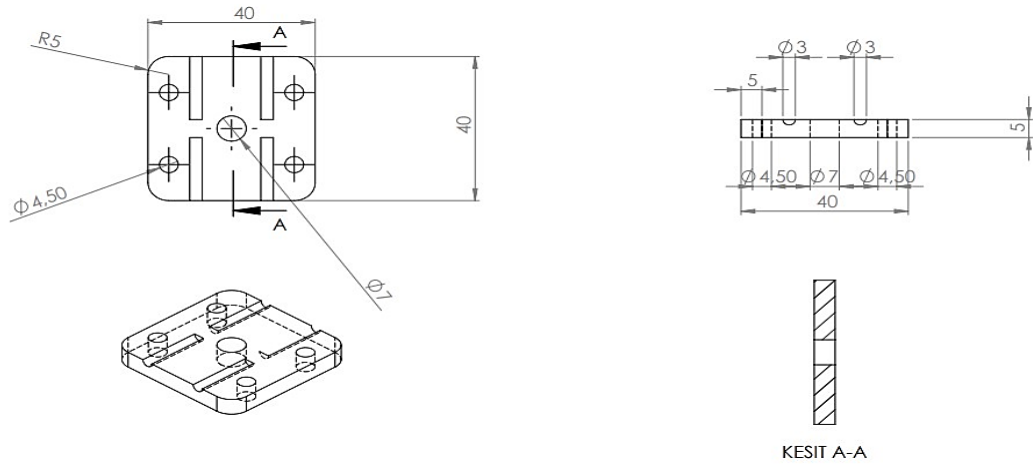
ve makine endüstrisi gibi çok çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Kullanılan malzemelerin doğası gereği esneklik ve çekme, sürme, taşıma, hareket ettirme işlemi için güvenli çözümler sunmaktadır [5]. Kullanılan çelik halat örnekleri Şekil 2.3.'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Çelik halatlar (sırasıyla NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ)

### 2.3.2. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ fikstür üretimi

Öncelikli olarak amaç 3 mm çapındaki çelik halatlara uygun klemensleri elde etmektir. Bu yüzden SolidWorks ortamında ÇHTİ klemensleri oluşturuldu. Klemens malzemesi olarak sert plastik malzeme olan kestamit parçası seçildi. Kestamit parçasının boyutları 40x40x8 olarak belirlendi. Çelik halatların çapı 3 mm olduğundan klemenslere bu çapta montaj için yuva açılacak koordinatlar belirlendi. Ardından kestamit parçanın alüminyum ile montajının sağlanması için köşelerinden M4 çapında delik yerleri belirlendi ve köşelerinden radyus verildi Şekil 2.4.



Şekil 2.4. Kestamit parça imalat resmleri



Şekil 2.5. Fikstür ve Alüminyum parça ham madde

İmalata başlarken ENIDINE kataloğundaki ölçü ve değerlere göre İhtiyaç olan kestamit parçalar 45x45x8 mm olacak şekilde temin edildi Şekil 2.5. Parçaları asıl boyutu olan 40x40x8 mm ölçülerine getirmek için CNC tezgâhlarında işlendi. Teller uygun ölçülerde kesilerek imalatı yapıldı. Fakat deneyler ve ENIDINE standartları doğrultusunda iki kestamit parçanın uygun olmadığı; parçaların yükseklik ve genişlik boyutlarının istenilen standartlara uymadığı tespit edildi. Bu yüzden 2 kestamit parça yerine alttaki bağlayıcı parçanın alüminyum olmasına karar verildi. Böylece ENIDINE standartlarına uygun olacak ölçüler sağlanmış oldu.



Şekil 2.6. Fikstür ve alüminyum tasarlanmış parça

Alüminyum parçasının boyutları kestamit ile montajlanacağı için aynı yapıldı fakat fazla olan et kalınlığından tasarruf etme için burada 2 mm seçildi. Parça boyutları 40x40x2 olarak belirlendi. Burada da köşelerden kestamit ile eş merkezli olmak üzere M4 çapında delikler delindi. İlk başta bağlayıcı ve tutucu parçanın 2 kestamitten oluştuğu fakat gerekli standartları sağlamadığı için parçaların alüminyum parça

olmasına karar verildi. Bu parçalar da kestamit parçaya uygun olacak şekilde 40x40x2 mm olacak boyutlarda kesildi. Bağlayıcı parçadaki boyutlara uygun olacak şekilde alüminyum parçaya matkap yardımıyla 4mm çapta aynı kestamitte olduğu gibi köşelerinden M4, merkezinden M7 olacak şekilde delikler açıldı. Delikler açıldıktan sonra uygun vidalar bu deliklere rahat girmesi için havşalandı Şekil 2.6.

### 2.3.3. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ montajı

Çapları aynı malzemeleri farklı olan tellerin boyları 1.5 metre ve montajının yapılabilmesi için her biri 130 mm boyunda kesilmiş 4 parça tele ihtiyaç vardı. Bu teller istenilen ölçülere getirilmek için Sakarya Üniversitesi Makine Laboratuvarındaki kesme makinesini kullanıldı Şekil 2.7.



Şekil 2.7. Tellerin kesim aşaması

İstenilen boyutlarda kestamit, alüminyum ve çelik tel halatlarının imalatı gerçekleştirildikten sonra sıra montaja geldi. Montaj için gerekli malzemeler temin edildi. Parçanın montajı için 32 adet M4X16 cıvata, 32 adet M4 somun, 1 adet alyan, 1 adet anahtar, 1 adet pense, 16 adet 13mm uzunluğunda kesilmiş tel kullanıldı Şekil 2.8.



Şekil 2.8. Gerekli malzemeler

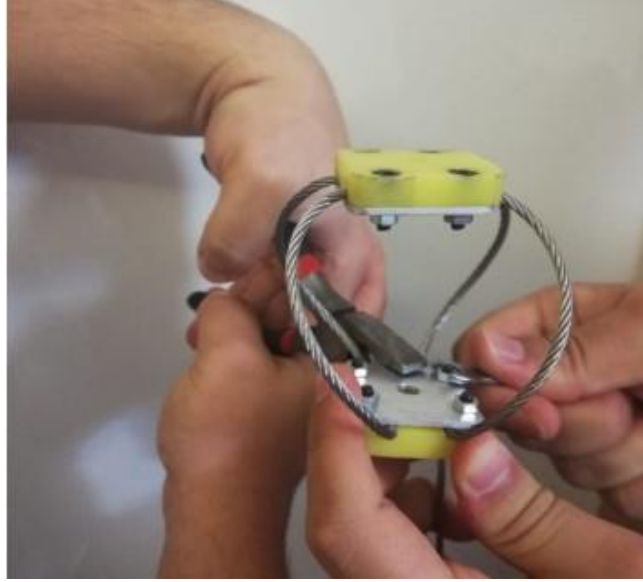
Montaj esnasında ilk olarak kestamit parçadaki yuvalara, kesilen tel parçalar oturturuldu. Ardından 4 çelik tel halat kestamitteki yuvalara yerleştirildikten sonra alüminyum parça üstüne koyuldu ve civatalar kestamit ve alüminyumun kesiştiği 4 köşeden deliklere yerleştirildi. Parça iyice bastırılıp civatalar alyanla, somunlar uygun anahtar ile sıkıldı ve ilk parça montajlandı Şekil 2.9.



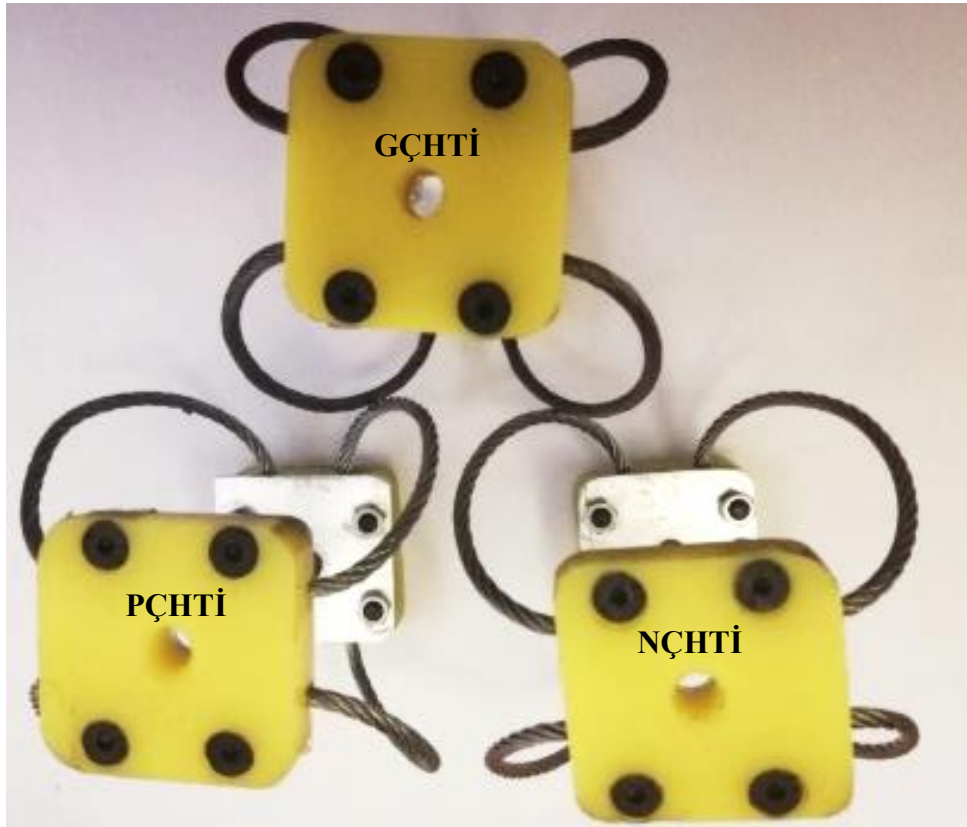
Şekil 2.9. İlk montaj aşaması

İlk parçanın montajının ardından teller S şeklinde burulup diğer kestamit parçadaki yuvalara yerleştirilip, ardından alüminyum tutucu parçayla sıkıştırıldı. Sonrasında köşelerden civatalar deliklere sokulup alyan ile sabitlendi ve somunlar civataya anahtar ile iyice sıkıştırıldı ve böylece montaj tamamlandı Şekil 2.10. Aynı metotla

nuflex, paslanmaz ve galvaniz çelik halatlar kullanılarak PÇHTİ, NÇHTİ ve GÇHTİ üretimleri Şekil 2.11.'daki gibi tamamlandı.



Şekil 2.10. Telleri S şeklinde burarak montajlama



Şekil 2.11. Montajlanmış GÇHTİ, PÇHTİ, NÇHTİ modelleri

## 2.4. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ Modelleri Üretimi

### 2.4.1. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ halat seçimi

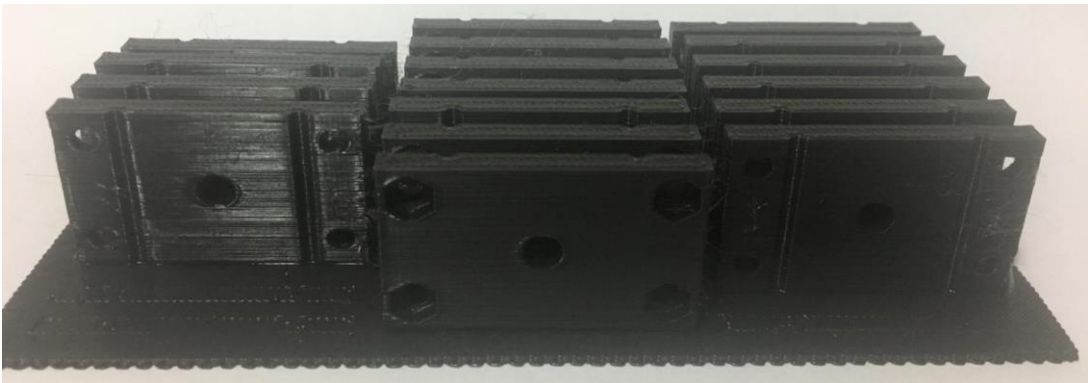
Yay malzemesi olarak yaylanma özelliği iyi olan 316 paslanmaz yay çeliği kullanıldı. Gerekli piyasa araştırılması yapıldıktan sonra 2 mm çapında, 7x7, 1x19 ve 7x19 halat yapılarına sahip halatların kullanılmasına karar verildi Şekil 2.12.



Şekil 2.12. ÇHTİ halatları sırasıyla 7x7-1x19-7x19

### 2.4.2. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ fikstür üretimi

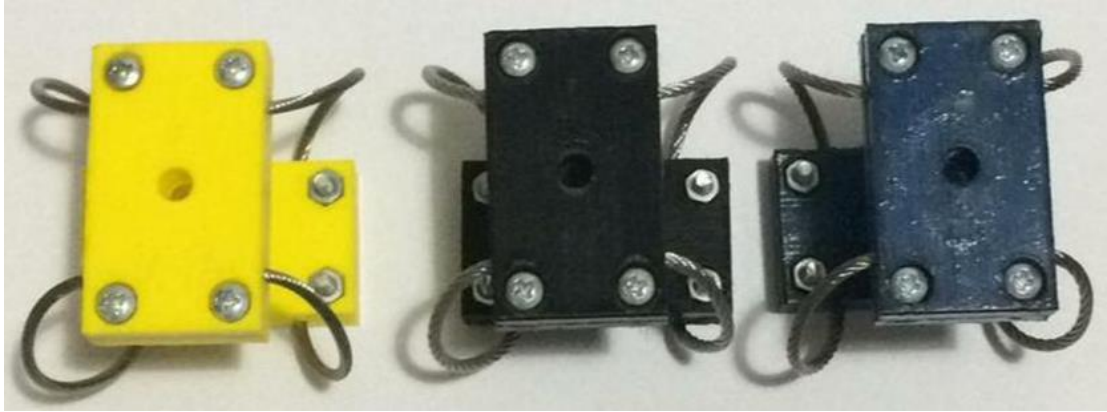
3D yazıcı ile CAD ortamında çizilen klementsler (fikstür tutucular) oluşturuldu. Tellerin montajının yapılacağı yerlere 2.1 mm çapın boydan boya delik açılmış şekilde üretildi. Her bir klements takımı iki parçadan üretildi ve parçaları bir araya getirebilmek için klements kenarlarında halat deliğini etkilemeyecek şekilde M3 delikler açıldı. Daha sonra ÇHTİ'ni deney düzeneklerine bağlayabilmek için üst ve alt klamensin merkezinden M5 delik açıldı Şekil 2.13.



Şekil 2.13. 3D Yazıcıda üretilmiş klamensler

### 2.4.3. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ montajı

Çelik halatlar uygun form verilerek klamentslere yerleştirildi. Daha sonra çelik halatları sabitlemek için takım klamentsler arasına çelik halatlar sıkıştırıldı ve M3 cıvata ile birleştirildi. Böylece rijit bir yapı elde edildi Şekil 2.14. ve Şekil 2.15.



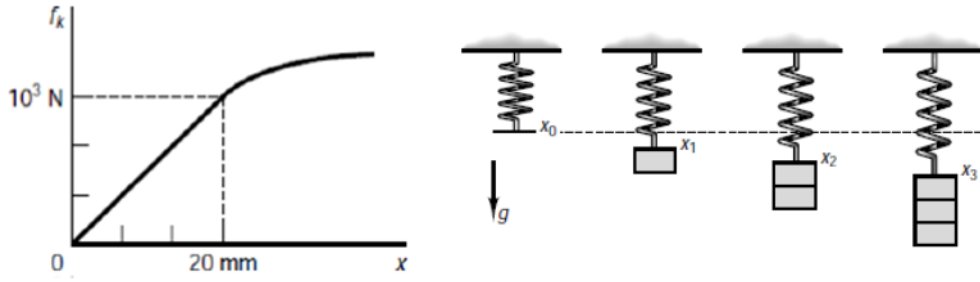
Şekil 2.14. ÇHTİ montajlanmış hali sırasıyla 7x7-1x19-7x19



Şekil 2.15. ÇHTİ montajlanmış hali sırasıyla 7x7-1x19-7x19

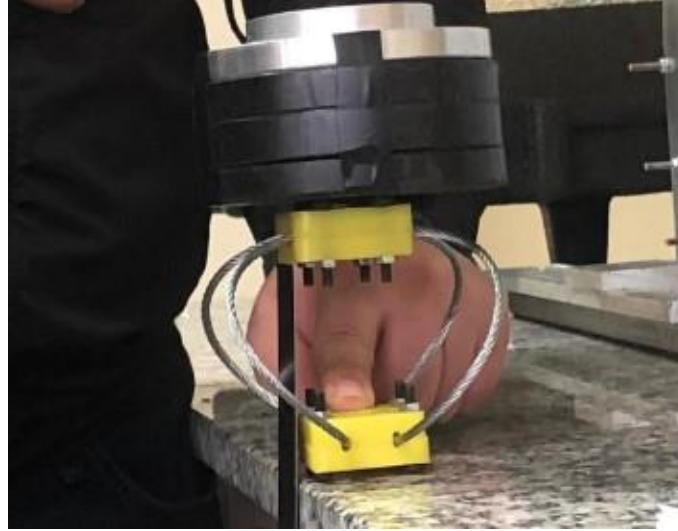
## BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 3.1. Yay Katsayılarının Bulunması



Şekil 3.1. Örnek yay katsayısı hesaplama metodu

$$k = \tan \alpha = \frac{\text{kuvvet}}{\text{yer değiştirme}} = \frac{F}{x} = \frac{mg}{x} \text{ [N/m]}$$

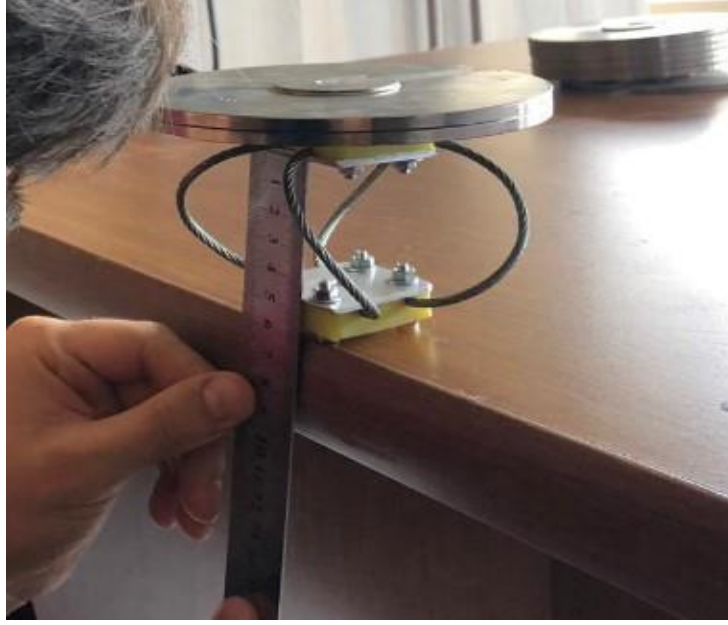


Şekil 3.2. Yay üzerine yük uygulaması

Tasarımı yapılan parçanın ilk başta prototip modeli oluşturuldu. Yay katsayısını ölçmek için modelin sabit denge konumuna göre üzerine belirli ağırlıklar konuldu ve hassas cetvel ile kestamit parçalar arasındaki deplasman (x) ölçüldü. Sonrasında



uzama değerlerine ve ağırlıklara bağlı olarak yay katsayıları hesaplandı. Elde edilen yay katsayıları ile titreşim karakteristik eğrileri ortaya çıktı. Deney sayısının çokluğu sebebiyle hassas ölçüm yapmak zor olacağından deneyler INSTRON deney cihazında yapıldı ENIDINE kataloğundaki test örneklerine göre yapıldı.



Şekil 3.3. Yük altındaki yayın çökme miktarının ölçülmesi

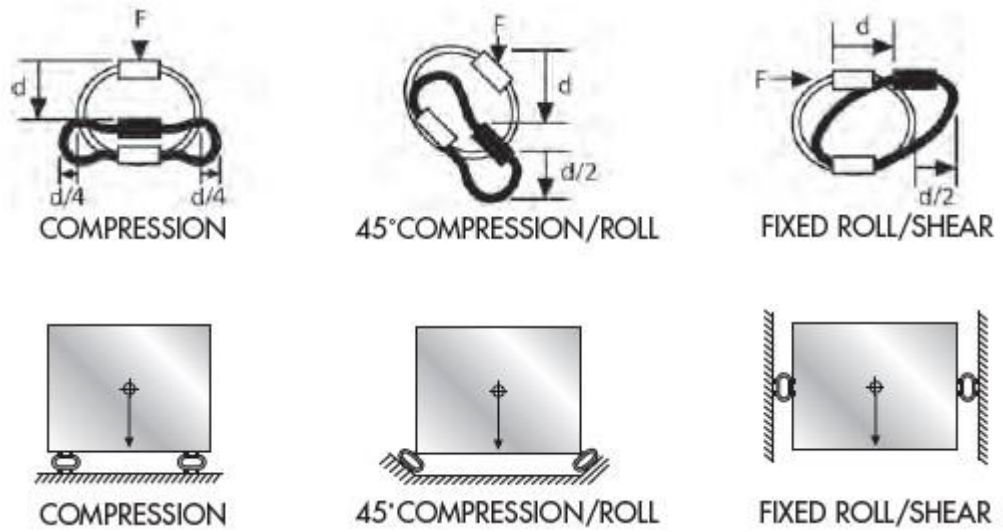
### 3.2. ÇHTİ Yarı-Satik Testleri

Tüm NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ ve 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin yarı-statik testleri Sakarya Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Mekanik Gerilmeler Laboratuvarı'ndaki Instron marka test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir Şekil 3.4.

Endüstriyel alanda ÇHTİ aşığıdaki görülen şekillerdeki gibi makineler üzerine montajlanmaktadır. ÇHTİ bu montaj şekillerine uygun şekilde dinamik davranışlar sergilemektedir. Bundan dolayı üretilen ÇHTİ modelleri, kullanım yerine göre farklı çalışma koşulları göz önüne alınarak basma-çekme, yuvarlanma ve kesme olmak üzere 3 farklı çalışma doğrultusunda titreşim karakteristikleri incelenmiştir Şekil 3.5.



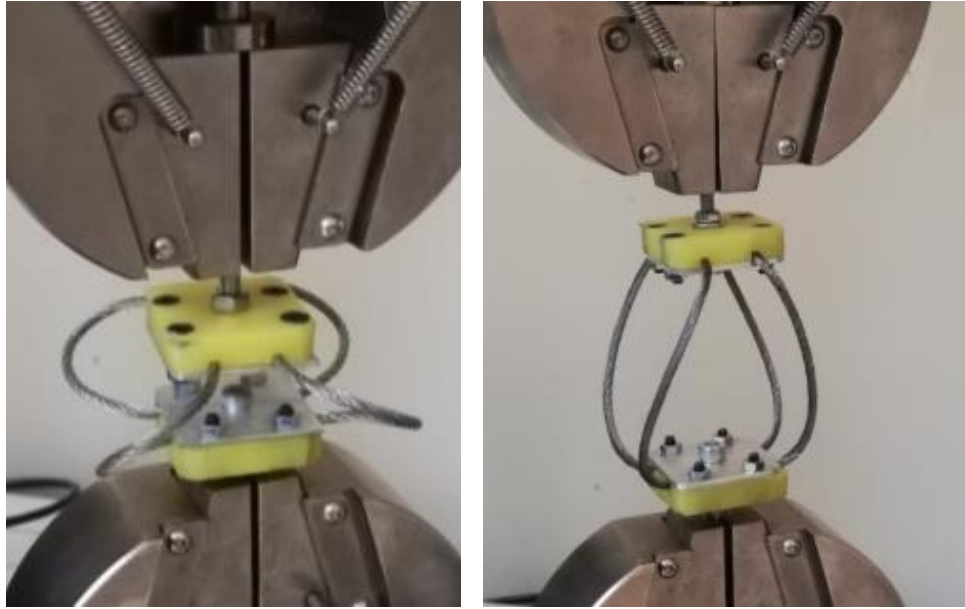
Şekil 3.4. İnstron test cihazı



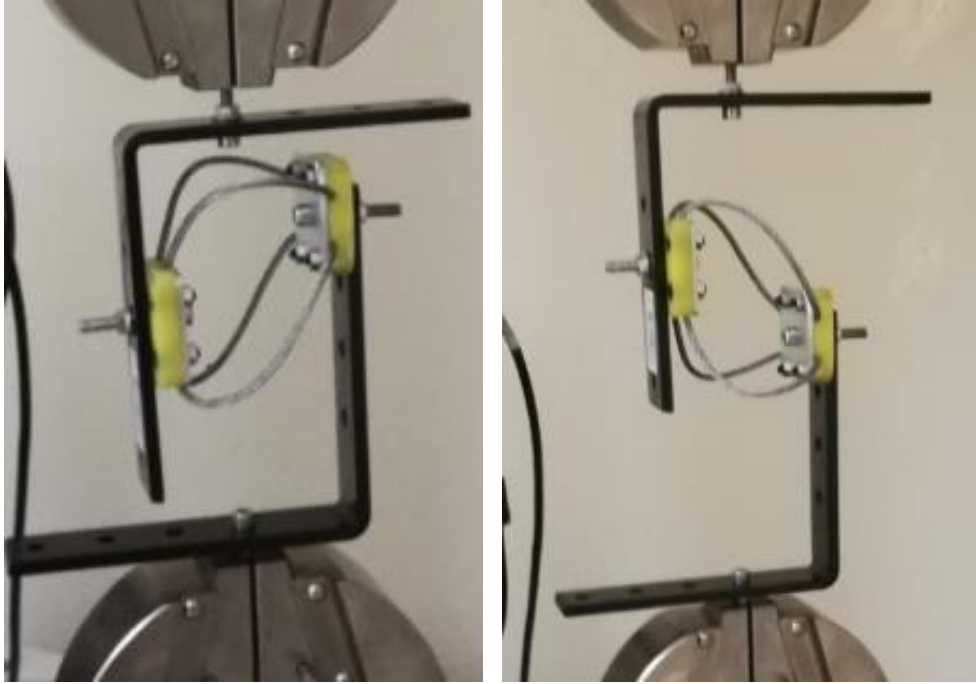
Şekil 3.5. ÇHTI modelinin basma, yuvarlanma ve kesme çalışma şekilleri

Belirtilen testleri gerçekleştirebilmek ve ÇHTİ'lerini çekme cihazına montajlayabilmek için 90 derece ve 45 derece açılı özel bağlama aparatı tasarlanıp üretilmiştir.

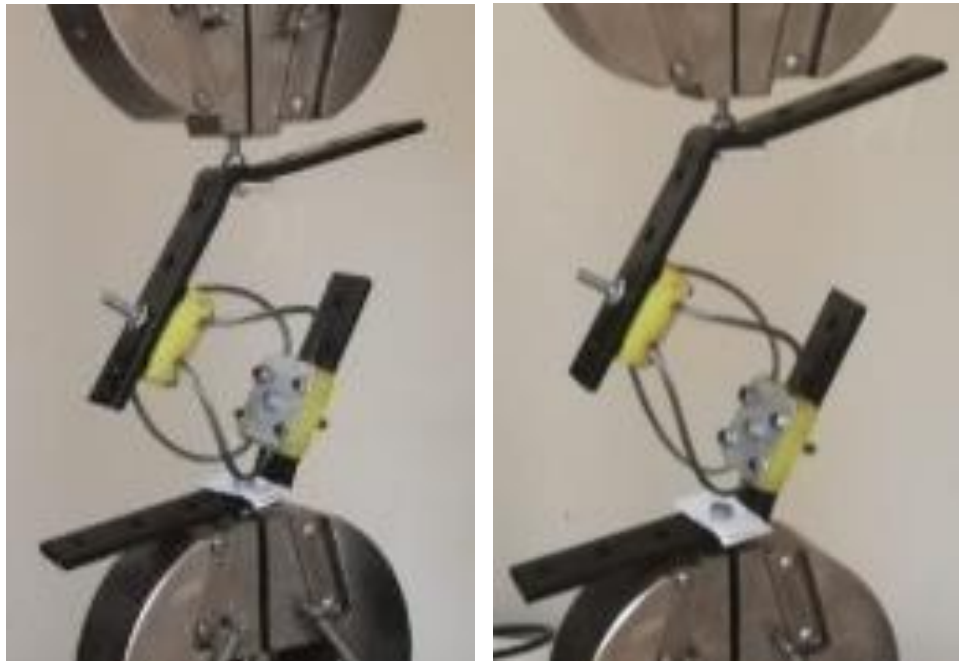
Her bir model basma-çekme, yuvarlanma ve kesme olmak üzere 3 farklı çalışma doğrultusunda, 10,50,100 mm/dk olmak üzere 3 farklı hız koşullarında ve 3 farklı ön gerilme değerlerinde olmak üzere hızlarında 27 şer adet yük-deplasman testine tabii tutulmuştur. Tüm modeller için toplamda 162 adet yük-deplasman testi yapılarak histerisizlik eğrileri elde edilmiştir. ÇHTİ modellerinin yük deplasman testlerine ait görüntüler Şekil 3.6.'dan Şekil 3.11.'ye kadar verilmiştir.



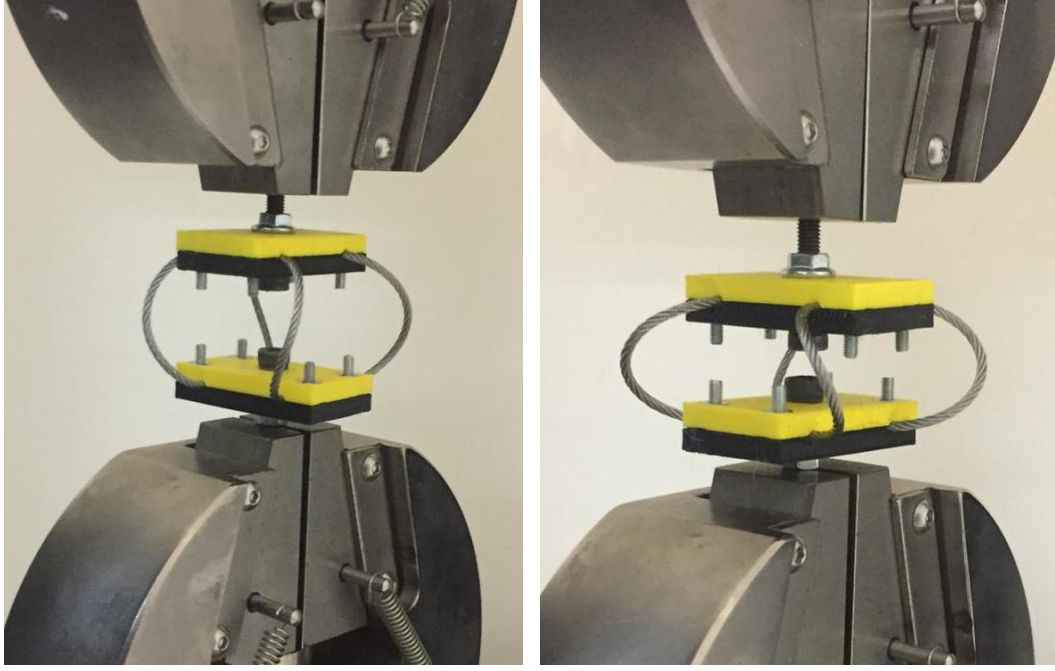
Şekil 3.6. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ Basma-Çekme testleri



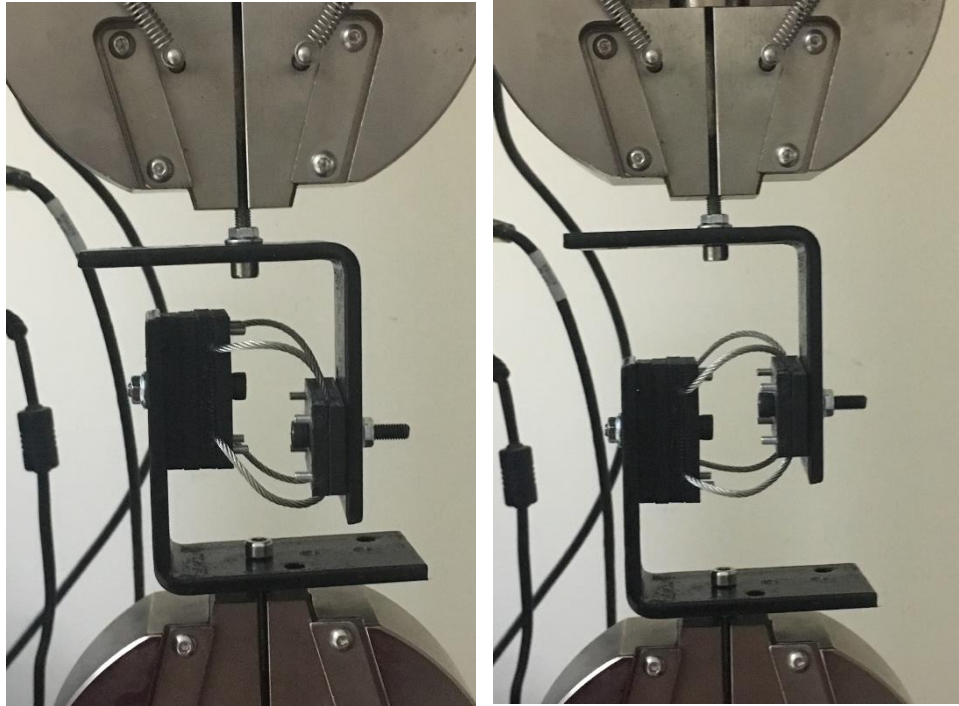
Şekil 3.7. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ kesme testleri



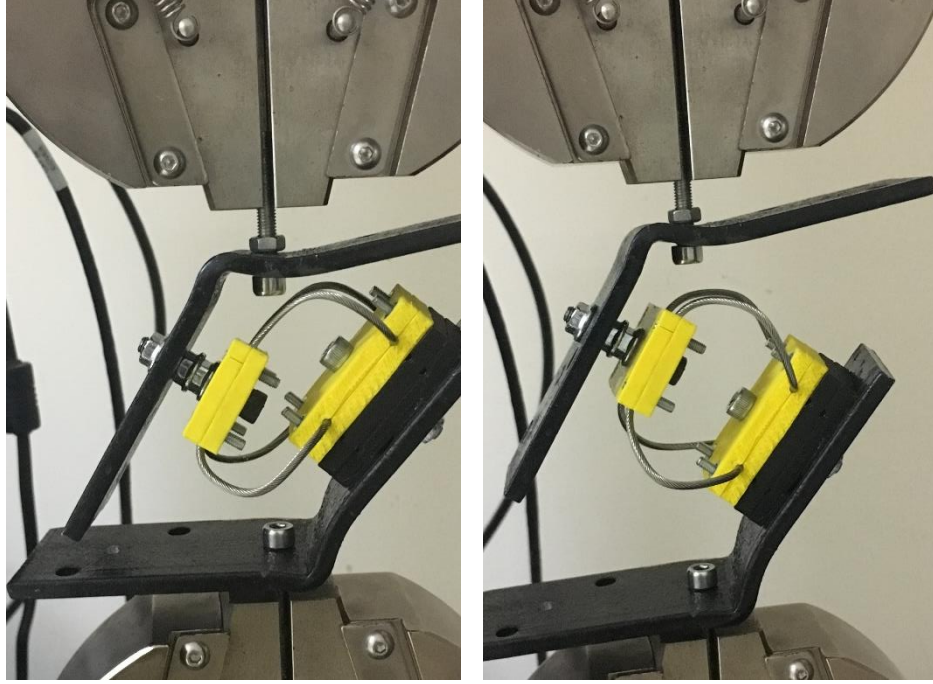
Şekil 3.8. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ yuvarlanma testleri



Şekil 3.9. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ basma-çekme testleri



Şekil 3.10. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ kesme testleri



Şekil 3.11. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ yuvarlanma testleri

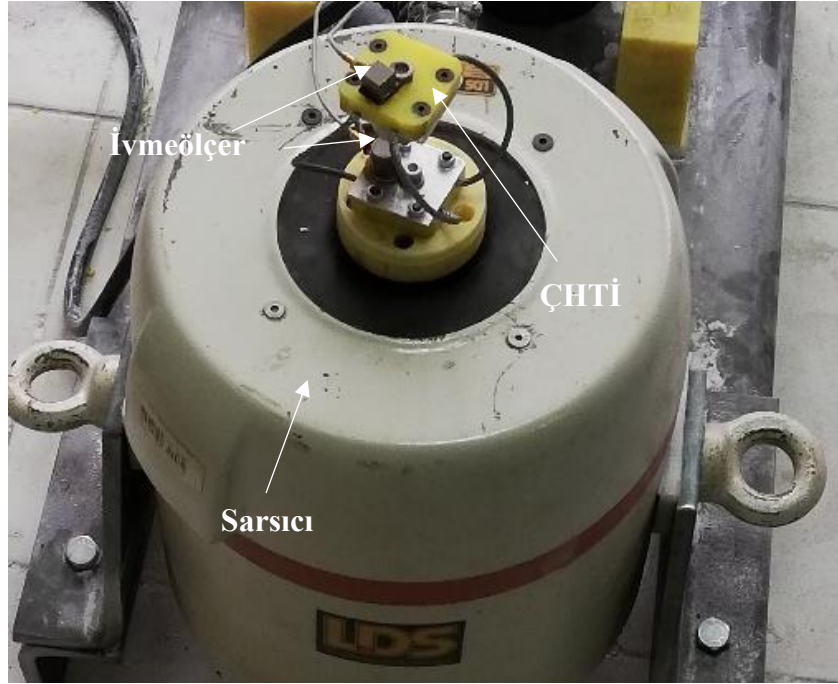
### 3.3. ÇHTİ Titreşim Testleri

#### 3.3.1. Test sistemi

Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Titreşim Laboratuvarı'nda sarsıcı sistemi kullanılarak her bir ÇHTİ modeli için swept sine, random, harmonik, impulse ve beyaz gürültü metoduyla titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. ÇHTİ'ler çok düşük frekanslardan 100 Hz frekansına kadar farklı genliklerde titreşime maruz bırakılmıştır. Bu yöntemler her bir ÇHTİ modelinin doğal frekansları tespit edilmiştir. Swept sine, random ve beyaz gürültü (white noise) testleri ile her bir model rezonansa çalıştırılarak her bir modelin doğal frekansları doğrulanmıştır. Tüm titreşim testleri dikey ve yatay yönlerde gerçekleştirilmiştir.

Test sistemi LDS marka 300 N'luk elektrodinamik sarsıcı Şekil 3.12., yükseltici, sarsıcı kontrol ünitesi, 4 kanallı Bruel&Kjaer marka titreşim analizörü, sarsıcı soğutucu fanı, Bruel&Kjaer marka 2 adet 100 mV/g hassasiyetinde ivmeölçer Şekil 3.13. ve RT Pro Photon titreşim analiz yazılımından oluşmaktadır. Sarsıcı özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir. Ön yükleme sağlamak için ÇHTİ modellerinin üzerinde

yaklaşık 0,1 kg kütle bağlanmıştır. İvmeölçerlerin biri sarsıcı titreşimini ölçmek için sarsıcı kafasına, diğeri ise ÇHTİ titreşimini ölçmek ÇHTİ üzerine balmumu kullanılarak bağlanmıştır.



Şekil 3.12. Sarsıcı, ÇHTİ ve ivmeölçer



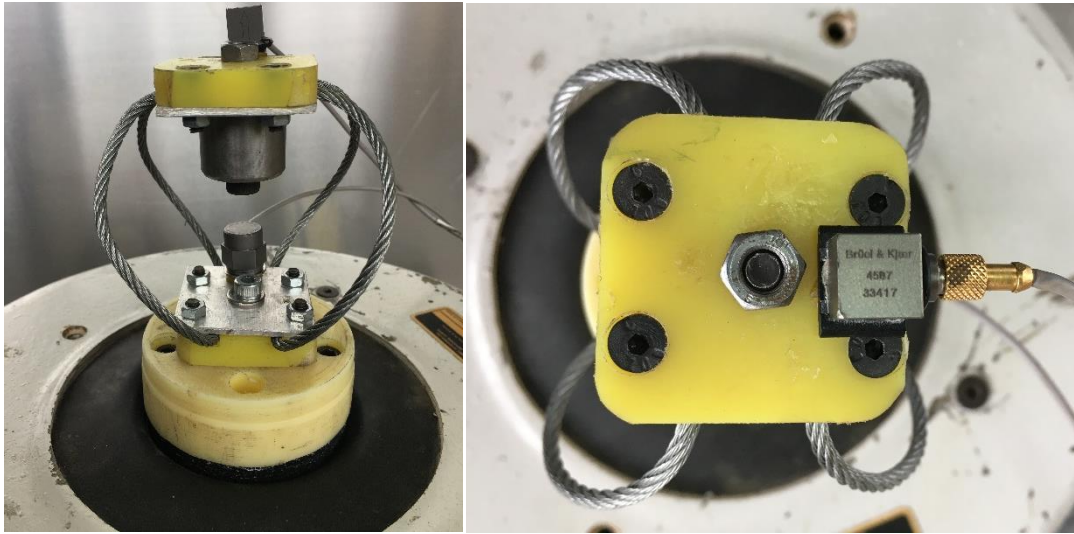
Şekil 3.13. Sırasıyla sinyal jeneratörü, titreşim analizörü ve soğutucu fan

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan LDS marka sarsıcı özellikleri

Sinüs kuvveti tepe	311 N
Maks. rastgele kuvvet RMS	214 N
Hız sinüs pik	1,78 m / s
Deplasman sürekli pk-pk	19 mm
Hareketli eleman kütlesi	0,426 kg
Kullanılabilir frekans aralığı	5 Hz - 7.5 kHz

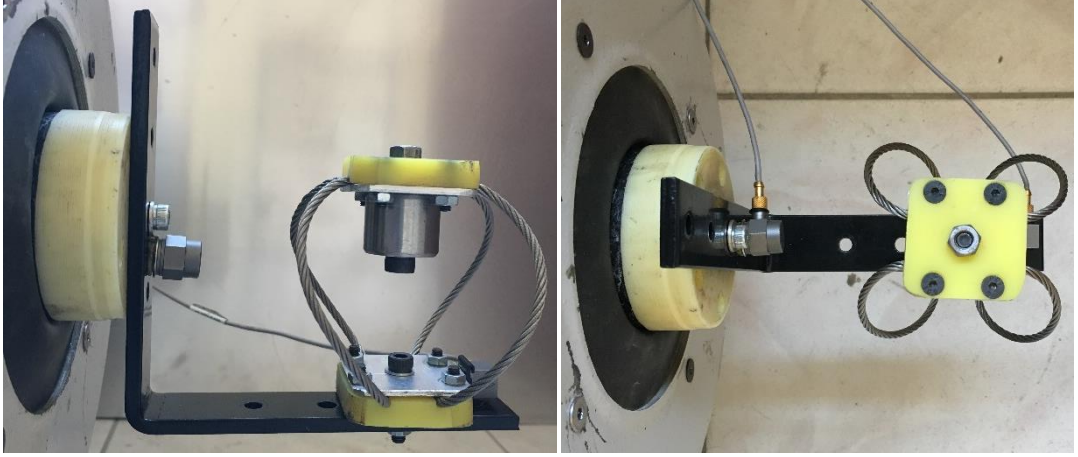
### 3.3.2. Titreşim testlerinin yapılışı

Sarsıcı ÇHTİ modellerinin rezonans bölgesini kapsayacak şekilde, 1Hz frekansından 100 Hz frekansına kadar çalıştırılmıştır. Her bir ÇHTİ model, hem dikey hem yatay yönlerde titreşime maruz bırakılarak titreşim davranışları incelenmiştir. Yatay titreşim testleri için 90 derece açılı L lama parçası kullanılmıştır. Ön gerilme sağlamak amacıyla üzerine 0,1 kg kütle bağlanmıştır. Titreşim testleriyle her bir modelin dinamik davranışları gözlemlenerek ve frekans cevabı elde edilerek yatay ve dikey yönlerdeki kritik frekanslar belirlenmiştir. Kritik frekansları belirlenen modellerin titreşim yalıtımı performansları Swept Sine metodu ve harmonik tahrik metoduyla test edilerek hesaplanmıştır. İmpulse testleriyle de ÇHTİ tahrik halindeyken aniden yük kesilerek geçici titreşim cevapları elde edilmiştir. Geçici titreşim cevapları kullanılarak, logaritmik dekreman metoduyla her bir ÇHTİ modelinin sönüm karakteristikleri belirlenmiştir. ÇHTİ modellerinin titreşim testlerine ait şekiller Şekil 3.14.'dan Şekil 3.17.'a kadar verilmiştir.

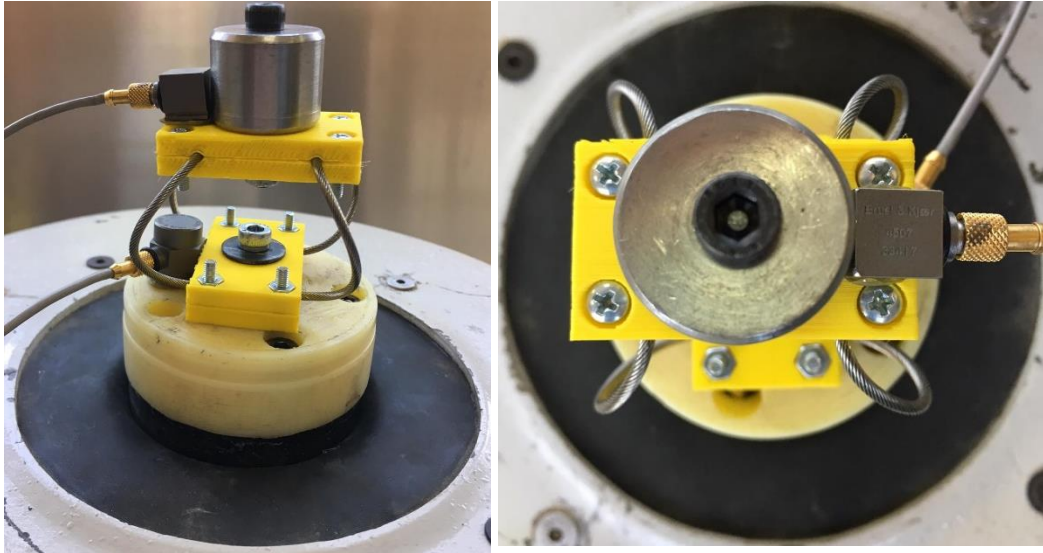


Şekil 3.14. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ dikey yöndeki titreşim testleri





Şekil 3.15. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ yatay yöndeki titreşim testleri



Şekil 3.16. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ dikey yöndeki titreşim testleri



Şekil 3.17. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ yatay yöndeki titreşim testleri

## **BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR**

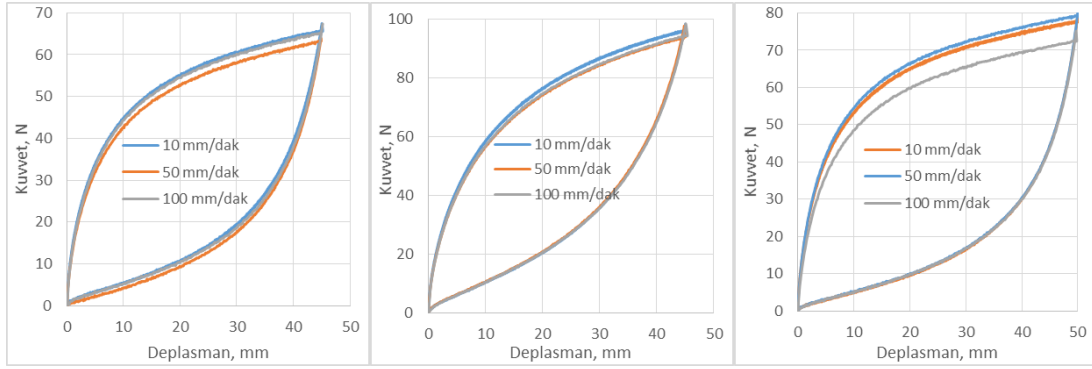
### **4.1. Yarı-Statik Test Sonuçları**

Üç adet NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ modellerinin rijitlik testleri Sakarya Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Mekanik Gerilmeler Laboratuvarı'ndaki İnstron marka test cihazı kullanılarak gerçekleştirildi. Cihaz vasıtasıyla her bir ÇHTİ modeline belirli ön gerilmeler verilerek yük altındaki deplasman verileri alındı. Tüm testler uzama-kısalma yönlerini de kapsayacak şekilde tam döngü oluşturularak yapıldı. Başka bir ifadeyle yaya uygulanan baskı yükü ve deplasmanlar hem basma hem çekme yönlerinde uygulanarak ÇHTİ'nün farklı hız ve deplasmanlar altındaki dinamik davranışını gösteren histerisizlik (rijitlik) eğrileri elde edildi. Histerisizlik eğrileri vasıtasıyla da NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ modellerinin yay rijitliği değerleri elde edildi.

Farklı çalışma koşulları altında (çekme-basma, kesme, yuvarlanma), literatür doğrultusunda 3 farklı hız (10mm/dak, 50mm/dak, 100mm/dak) ve ön gerilmeler altında elde edilen kuvvet-deplasman cevapları aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Kuvvet birimleri Newton (N) cinsindedir. Deplasman birimleri milimetre (mm) cinsindedir.

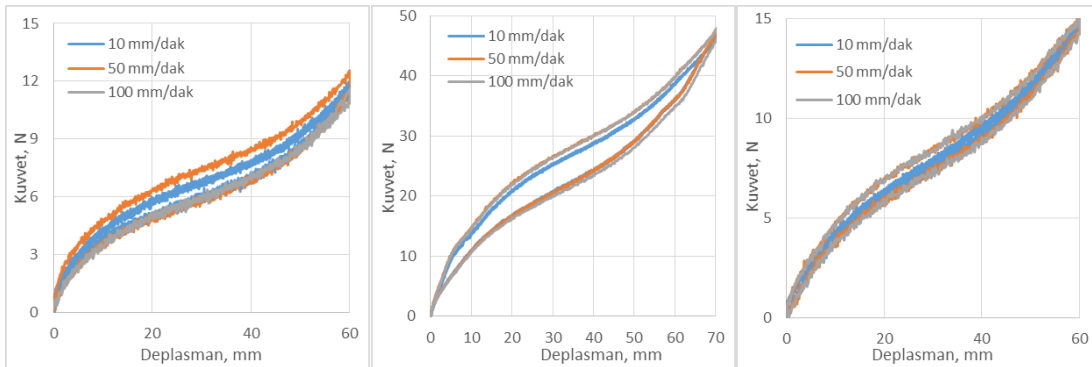
#### **4.1.1. NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ modellerinin yük-deplasman cevapları**

Üretilen NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ'nin çekme-basma testleri sonucunda çeşitli hız ve yükleme koşullarında elde edilen kuvvet-uzama histerisizlik eğrileri Şekil 4.1.'te verilmiştir. ÇHTİ modellerinin çekme-basma davranışlarına ait yay karakteristikleri 3 model için birbirine benzemektedir. PÇHTİ diğer NÇHTİ ve GÇHTİ'ne göre daha fazla potansiyel enerjiye sahiptir. Düşük hız sayılabilecek hız değişimlerinin yay karakteristiğine önemli bir etkisi yoktur.



Şekil 4.1. Sırasıyla NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ Basma-Çekme yük-deplasman cevapları

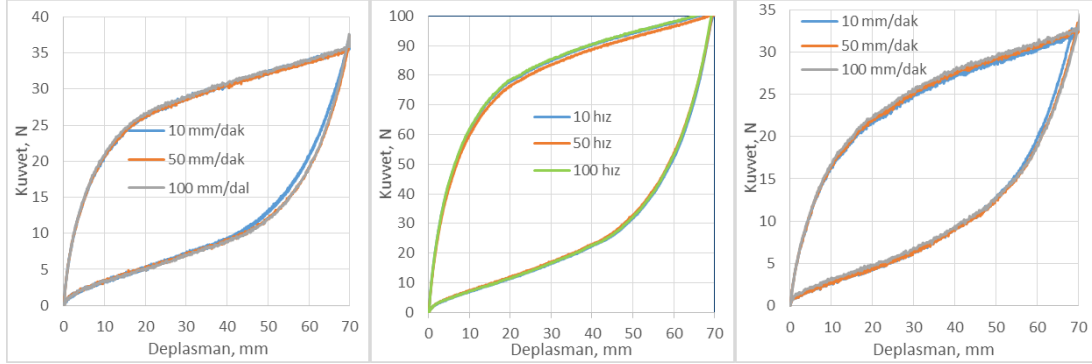
Üretilen NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ'nin kesme yani yatay yöndeki testleri ile çeşitli hız ve yükleme koşullarında elde edilen kuvvet-uzama histerisizlik eğrileri Şekil 4.2.'de verilmiştir. ÇHTİ modellerinin izolatörün kesme yüküne maruz kalması durumunda, çekme-basma ya göre oldukça farklı davranış sergilemektedir. Modeller kesme yönünde basma yönüne göre daha az enerji depolamaktadır. Çekme-basma yönünde olduğu gibi yine PÇHTİ diğer NÇHTİ ve GÇHTİ'ne göre daha fazla enerji depolayabilmektedir. Yükleme hızının yay karakteristiğine önemli bir etkisi görülmemektedir.



Şekil 4.2. Sırasıyla NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ kesme yük-deplasman cevapları

NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ'nin yuvarlanma yani dönme yönünde burulma yayı gibi çalışmasını temsilen yapılan testler ile elde edilen kuvvet-uzama histerisizlik eğrileri Şekil 4.3.'te verilmiştir. ÇHTİ modelleri basma testlerine olduğu gibi yuvarlanma testlerinde de oldukça fazla potansiyel enerji üretmektedir. Yine PÇHTİ diğer NÇHTİ

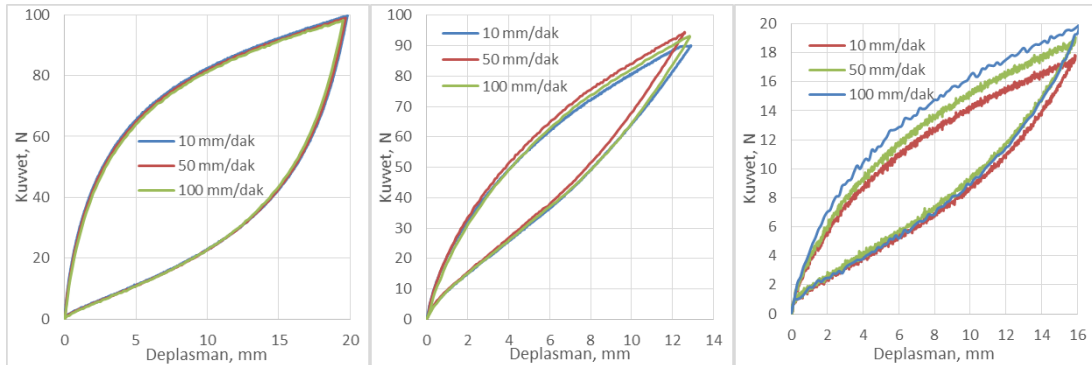
ve GÇHTİ'ne göre daha oldukça fazla enerji alanına sahiptir. Burada da yükleme hızının yay karakteristiğine etkisi hemen hemen hiç yoktur.



Şekil 4.3. Sırasıyla NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ yuvarlanma yük-deplasman cevapları

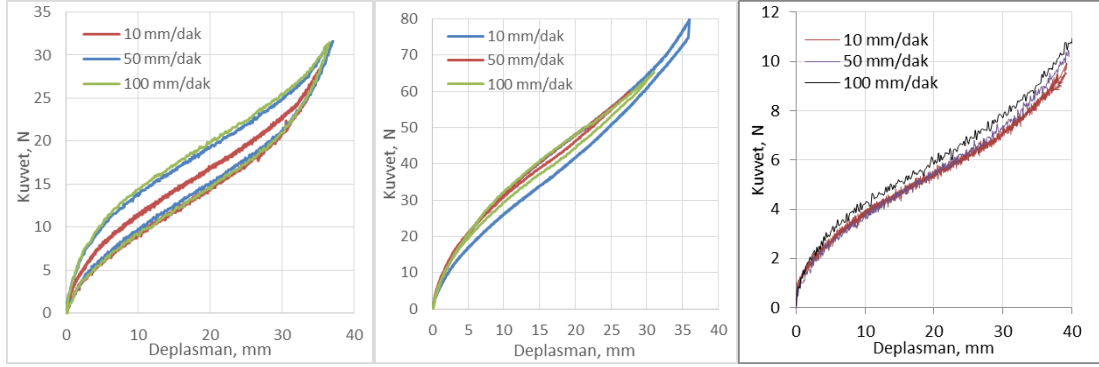
#### 4.1.2. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin yük-deplasman cevapları

Halat kesit geometrisinin titreşim karakteristiklerine etkisini incelemek amacıyla üretilen 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin kuvvet-uzama döngüleri incelenmiştir. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin çekme-basma testleri sonucunda elde edilen kuvvet-uzama histerisizlik eğrileri Şekil 4.4.'te verilmiştir. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin çekme-basma davranışlarının oldukça farklı karakteristiklere sahip olduğu görülmektedir. 7x7 ÇHTİ modelinin potansiyel enerjisi diğer iki modele göre oldukça fazladır. 7x19 ÇHTİ modelinin rijitliği diğer modele göre daha düşüktür. 7x7, 1x19 ÇHTİ modellerinin dinamik davranışı hıza göre değişmezken, 7x19 ÇHTİ modelinin davranışını hız az miktarda etkilemektedir.



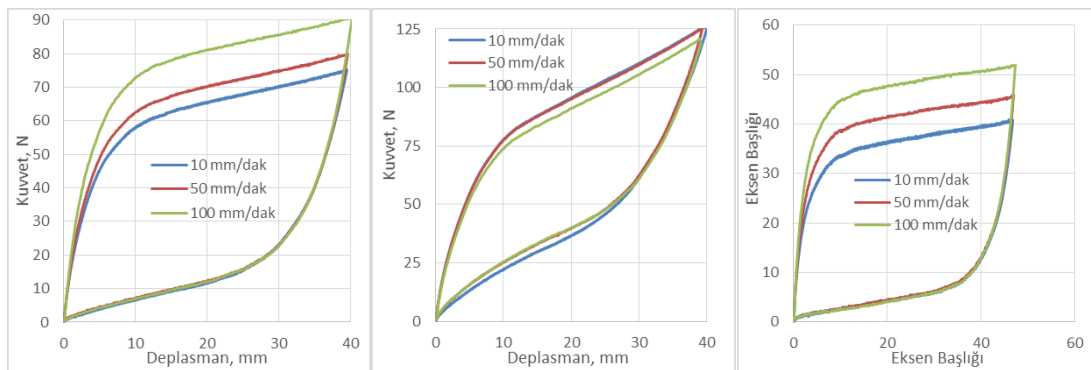
Şekil 4.4. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ Basma-Çekme yük-deplasman cevapları

7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin keme yüküne karşı davranışı her döngü için hemen hemen aynıdır Şekil 4.5. Yani depolanan enerji miktarı çok azdır. Ancak 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin yay rijitlikleri farklıdır. 1x19 ÇHTİ modeli diğer iki modele göre daha rijit bir davranış sergilemektedir.



Şekil 4.5. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ Kesme yük-deplasman cevapları

7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin yuvarlanma (burulma) yayı şeklinde çalışması durumunda kuvvet-uzama histerisizlik eğrileri Şekil 4.6.'da verilmiştir. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin burulma davranışlarının oldukça farklı olduğu görülmektedir. 1x19 ÇHTİ modeli yine rijit bir davranış sergilemektedir. 7x7 ÇHTİ modeli en fazla potansiyel enerjiye sahip modeldir. Yükleme hızları dinamik davranışı az miktarda değiştirmiştir.



Şekil 4.6. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ Yuvarlanma yük-deplasman cevapları

### 4.1.3. ÇHTİ modellerinin yay katsayıları

NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ modellerinin basma-çekme, kesme ve yuvarlanma kuvvet-uzama cevapları kullanılarak yay rijitlikleri elde edilmiştir. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ modellerinin çeşitli hızlar için bulunan yay katsayıları Tablo 4.1.'de verilmiştir. Yük hızının rijitlik değerlerine etkisinin çok az olduğu görülmektedir. ÇHTİ'lerin çalışma yönüne göre ve halat malzemesine göre rijitlikleri önemli derecede değişmektedir. Tüm çalışma doğrultularında PÇHTİ modelinin rijitliği en yüksek, NÇHTİ modelinin rijitliği en düşüktür.

Tablo 4.1. NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ modellerinin k (N/mm) yay katsayıları

Çalışma yönü	Yükleme hızı	NÇHTİ	PÇHTİ	GÇHTİ
Basma-Çekme	10	1.0557	1.7382	0.7695
	50	0.9995	1.6899	0.7942
	100	0.9769	1.7526	0.7477
45 derece	10	0.17825	0.56268	0.2091
	50	0.16066	0.5688	0.1833
	100	0.19392	0.5617	0.2427
90 derece	10	0.12286	0.38434	0.1564
	50	0.07536	0.3146	0.17112
	100	0.01756	0.3262	0.1517

7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin farklı hızlar için basma-çekme, kesme ve yuvarlanma kuvvet-uzama cevapları kullanılarak elde edilen yay rijitlikleri Tablo 4.2.'de verilmiştir. Yine yükleme hızının rijitlik değerlerine etkisinin önemsiz olduğu görülmektedir. ÇHTİ'lerin çalışma yönüne göre ve halat malzemesine göre rijitlikleri önemli derecede değişmektedir. Tüm çalışma doğrultularında 1x19 ÇHTİ modelinin rijitliği en yüksek, 7x19 ÇHTİ modelinin rijitliği en düşüktür.

Tablo 4.2. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin k (N/mm) yay katsayıları

Çalışma yönü	Yükleme hızı	1x19	7x7	7x19
Basma Çekme	10	5.202272	2.494697	0.695424
	50	5.425203	2.428936	1.142358
	100	5.301319	2.459534	0.702433
45 derece	10	1.440085	0.451793	0.211372
	50	1.40106	0.523	0.138526
	100	1.431602	0.488213	0.172359
90 derece	10	1.506591	0.527646	0.190056
	50	1.51199	0.493018	0.214697
	100	1.375105	0.529787	0.157144

## 4.2. Titreşim Testi Sonuçları

### 4.2.1. ÇHTİ modellerinin ivme ve frekans cevapları

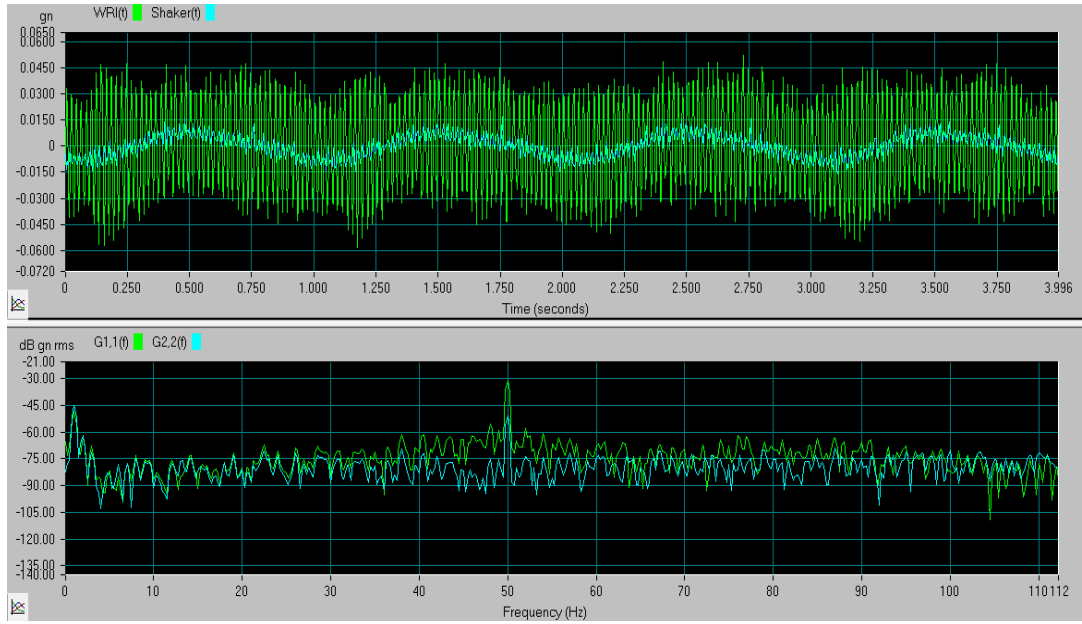
Titreşim laboratuvarında bulunan sarsıcı çeşitli sinyallerle (harmonik sinyal, beyaz gürültü, swept sine) sürülerek, üzerine montajlanan ÇHTİ 0-100 Hz aralığında tüm frekanslarda 1 cm genlikte titreşime maruz bırakılmıştır. İvmeölçerler ve veri toplama sistemi ile ÇHTİ'nün ivme-zaman cevapları, frekans cevapları ve titreşim yalıtımı performansı verileri kaydedilerek analiz edilmiştir. Titreşim analizleri ile bütün ÇHTİ modellerinin doğal frekansları belirlenmiştir (bkz. Tablo 4.3.) ve titreşim yalıtım performansları belirlenmiştir. GÇHTİ modelinin ve 7x7 ÇHTİ modelinin doğal frekansı diğer modellere göre daha yüksek bulunmuştur. Tablo 4.3.'e göre halat malzemesi, kesit geometrisi ve yükleme koşullarının sistemin doğal frekansını oldukça değiştirdiği görülmektedir.

Tablo 4.3. ÇHTİ modellerinin doğal frekansları

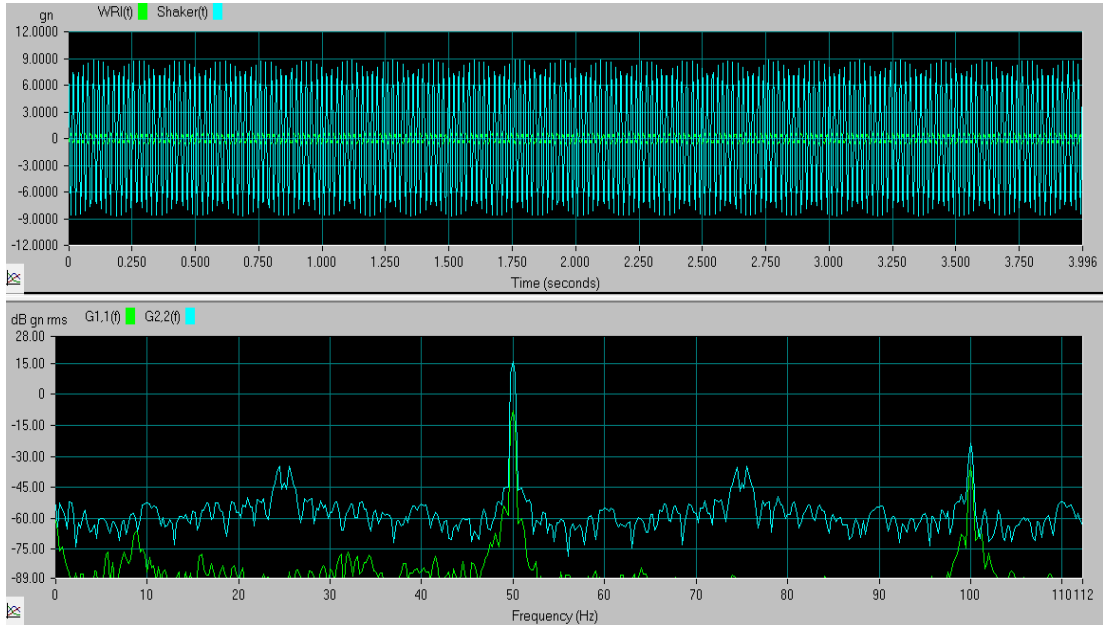
	Dikey	Yatay		Dikey	Yatay
<b>NÇHTİ</b>	15.00	7.00	<b>7x7</b>	22.90	10.21
<b>PÇHTİ</b>	17.00	11.00	<b>1x19</b>	13.18	4.61
<b>GÇHTİ</b>	22.00	10.00	<b>7x19</b>	12.42	1.76

50 Hz frekansında alınan ivme ve frekans cevabı görüntüsü PÇHTİ modeli için Şekil 4.7.'de, NÇHTİ modeli için Şekil 4.8.'de verilmektedir. Şekiller alt kısım ve üst kısım

olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Üstteki şekil ivme-zaman cevabını, alttaki şekil ise frekans cevabını ifade etmektedir. Her iki modelinde 50 Hz frekansında çok iyi bir titreşim yalıtımı sağladığı anlaşılmaktadır. Çünkü sarsıcı ivmesinin çok çok az bir kısmı ÇHTİ'nü etkilemektedir.



Şekil 4.7. PÇHTİ ivme ve frekans cevabı örneği

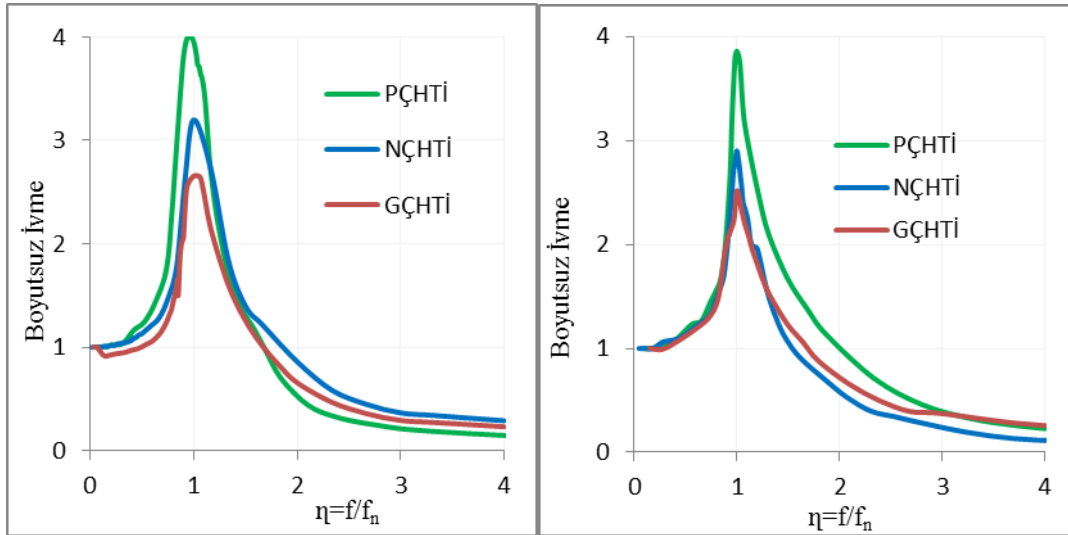


Şekil 4.8. NÇHTİ ivme ve frekans cevabı örneği

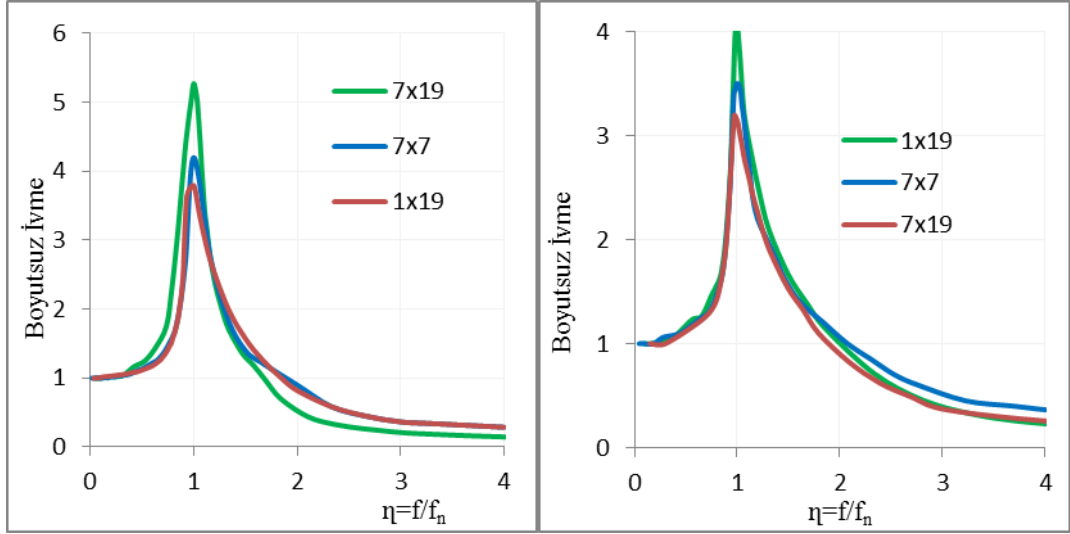


#### 4.2.2. ÇHTİ modellerinin titreşim yalıtım performansları

Tüm ÇHTİ'leri sarsıcı vasıtasıyla 100 Hz'e kadar tüm frekanslarda tahrik edilerek titreşim yalıtım performansları incelenmiştir. Her bir modelin yatay ve dikey yönlerdeki frekans bazında titreşim yalıtım eğrileri Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.'da verilmiştir. Halat malzemesi açısından değerlendirildiğinde, hem dikey hem yatay çalışma durumlarında titreşim yalıtımı en iyi olan model GÇHTİ modelidir. Halat kesit geometrisi açısından değerlendirildiğinde, titreşim yalıtımı en iyi olan model dikey yönde 1x19 ÇHTİ modeli yatay yönde ise 7x19 ÇHTİ modelidir. PÇHTİ modelinin kötü bir titreşim yalıtım performansı göstermektedir. Dikey yönde 7x19 ÇHTİ yatay yönde ise 1x19 ÇHTİ modelinin titreşim yalıtımı daha kötüdür.



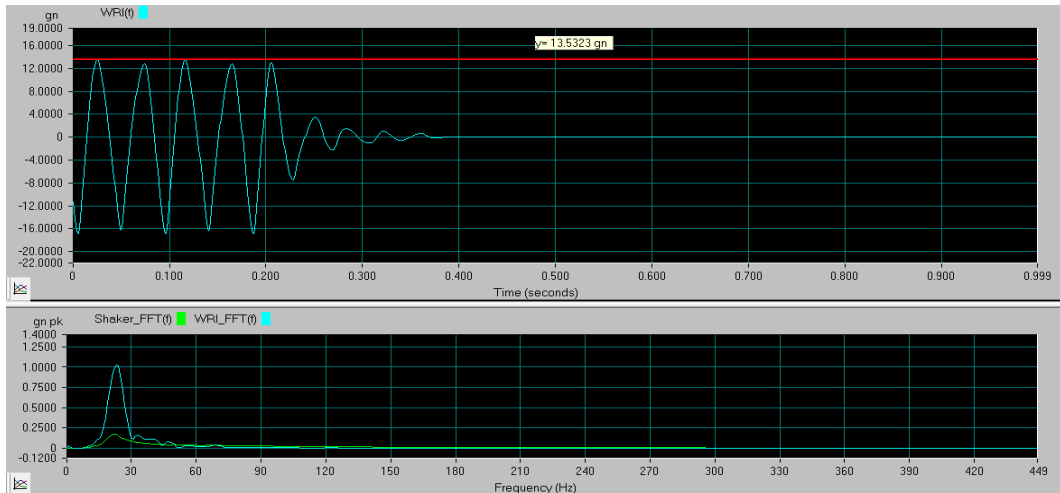
Şekil 4.9. NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ boyutsuz titreşim yalıtım performansları (sol-dikey, sağ-yatay)



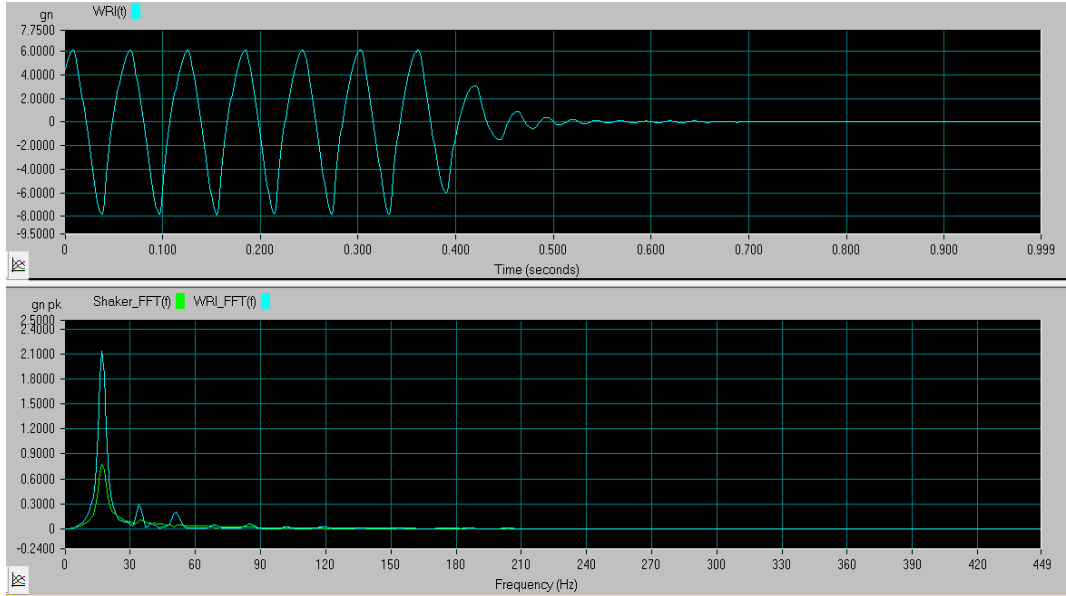
Şekil 4.10. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ boyutsuz titreşim yalıtım performansları (sol-dikey, sağ-yatay)

#### 4.2.3. ÇHTİ modellerinin sönüm oranları

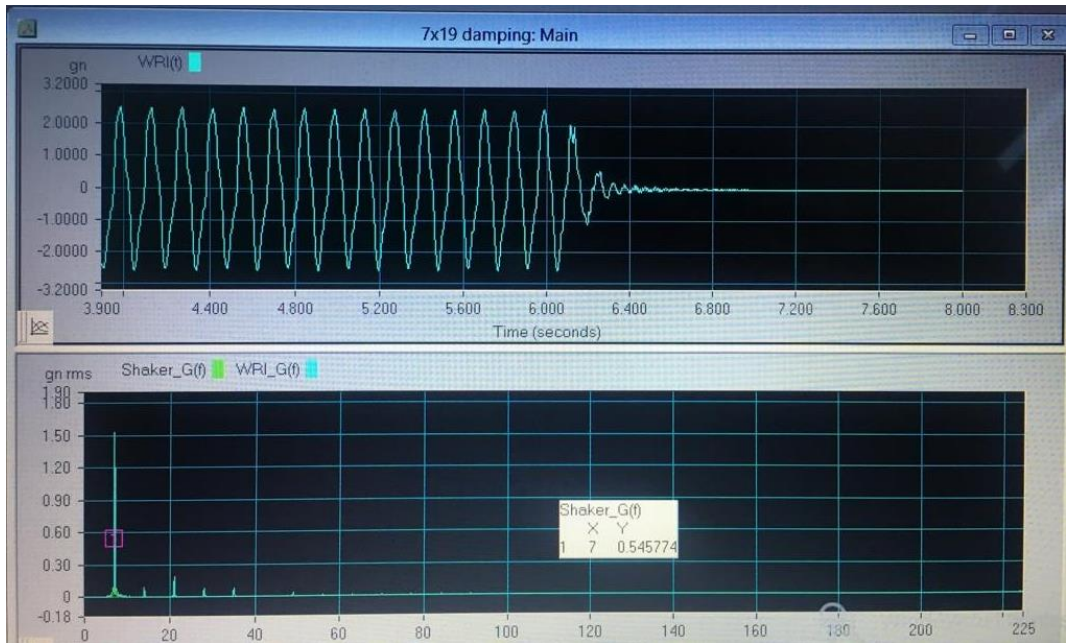
Sarsıcı sistemiyle tahrik edilen ÇHTİ modelleri rezonans frekansında sürekli rejim durumunda halinde çalışırken aniden tahrik kesilerek, ivmeölçerler yardımıyla serbest titreşim (geçici titreşim-transient response) cevapları elde edildi. Serbest titreşim cevapları kullanılarak logaritmik dekremantasyon metodu kullanılarak her bir ÇHTİ modelinin rezonans frekansındaki sönüm oranları hesaplandı. PÇHTİ ve GÇHTİ modellerine ait alınmış örnek geçici titreşim cevapları Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de görülmektedir.



Şekil 4.11. PÇHTİ modeli sönüm testi



Şekil 4.12. GÇHTİ modeli sönüm testi



Şekil 4.13. 1x19 ÇHTİ modeli sönüm testi

Serbest titreşim cevabında ardışık iki ivme genliğinin oranının logaritması alınarak  $\delta$  logaritmik azalma bulunur.

$$\delta = \log \frac{a_n}{a_{n+1}}$$

Burada  $a_n$  serbest titreşim cevabında azalan herhangi bir ivme genliği,  $a_{n+1}$  ise ardışık veya  $(n + 1)$ . ivme genliğidir. Logaritmik azalma miktarı kullanılarak ta aşağıdaki gibi  $D$  sönüm oranı hesaplanabilir.

$$D = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{\delta}\right)^2}}$$

NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ modelleri için bulunan sönüm parametreleri ve sönüm oranları Tablo 4.4.'te verilmiştir. Sonuçlara göre hem yatay hem dikey yönde GÇHTİ modelinin sönüm oranı en fazla, PÇHTİ modelinin sönüm oranı en düşüktür. Sönüm oranı sonuçları titreşim yalıtımı performanslarını da doğrulamaktadır.

Tablo 4.4. NÇHTİ, PÇHTİ, GÇHTİ modellerinin sönüm parametreleri

	Dikey			Yatay		
	NÇHTİ	PÇHTİ	GÇHTİ	NÇHTİ	PÇHTİ	GÇHTİ
$a_1$	5.85	2.99	7.84	3.19	1.76	7.91
$a_2$	1.48	0.96	1.45	1.25	0.85	2.66
$\delta$	1.37	1.13	1.69	0.94	0.73	1.09
$D$	0.21	0.18	0.26	0.15	0.12	0.17

7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modelleri için elde edilen sönüm parametreleri ve sönüm oranları Tablo 4.5.'te verilmiştir. Sonuçlara göre dikey yönde 1x19 modelinin sönümü, yatay yönde ise 7x19 modelinin sönümü en fazla çıkmıştır. Dikey yönde 7x19 modeli sönümü, yatayda ise 1x19 modeli sönümü en düşüktür. Bu modeller içinde, sönüm sonuçları titreşim yalıtımı performanslarını da doğrulamaktadır.

Tablo 4.5. 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modellerinin sönüm parametreleri

	Dikey			Yatay		
	7x7	1x19	7x19	7x7	1x19	7x19
$a_1$	5.84	6.85	2.99	7.69	3.19	1.97
$a_2$	1.45	1.48	0.96	2.66	1.25	0.56
$\delta$	1.39	1.53	1.13	1.06	0.94	1.26
$D$	0.22	0.24	0.18	0.17	0.15	0.20

## BÖLÜM 5. SONUÇLARI

ÇHTİ'leri özellikleri ileri teknoloji ürünlerin şok ve titreşime karşı korunması amacıyla izolatör kullanılan basit yapılu teknolojik bir üründür. Gelişmiş ülkelerde son yıllarda kullanımı artmaktadır. Basit yapıda olmasına rağmen ülkemizde yerli üretimi yapılmamaktadır. Özellikle savunma sanayii, havacılık, denizcilik te yüksek adetlerde kullanılmaktadır. Ülkemizde kullanılan bütün ürünler ithal yoluyla temin edilmekte ve büyük bir sermaye çıkısına sebep olmaktadır. Bu dezavantajları azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında iki farklı tür ÇHTİ tasarlanarak üretilmiş, yarı-statik kuvvet-uzama davranışı testleri ve titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. İlk tür modellerde halat malzemesi ana bileşenin, diğer tür modellerde ise halat kesit geometrisinin ÇHTİ titreşim karakteristiklerine etkisi titreşim analizleri yardımıyla da deneysel olarak incelenmiştir. Halat malzemesinin titreşime etkisinin incelenebilmesi için NÇHTİ, PÇHTİ ve GÇHTİ modelleri, kesit geometrisinin etkisinin incelenmesi içinde, 7x7, 1x19 ve 7x19 ÇHTİ modelleri üretilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda ÇHTİ halat malzemesi ve halat kesit geometrisinin titreşim karakteristiklerine önemli derecede etki yaptığı görüldü. Düşük çalışma hızlarının ÇHTİ'nün histerisizlik eğrisine yani yay katsayılarının değişimine önemli bir etkisi yoktur. ÇHTİ farklı yükleme koşullarında kullanıldığında rijitlik değerleri önemli derecede değişmektedir. Halat malzemesinin paslanmaz çelik olması rijitliği artırmakta, nufleks esaslı olması ise düşürmektedir. Halat kesit geometrisinde 1x19 sarım modelinin kullanılması rijitliği yükseltmekte, 7x19 sarım modeli ise düşürmektedir. Halat malzemesinde galvaniz bileşeni ve 7x7 kesit yapısı doğal frekansı artırmakta dolayısıyla rezonans frekansını ötelemektedir. Yine galvaniz esaslı ÇHTİ'lerinin ve dikeyde 1x19 ile yatayda 7x19 ÇHTİ'lerinin titreşim yalıtımı

açısından tercih edilebileceği anlaşılmaktadır. Rezonans bölgesindeki titreşim yalıtımı iyi olduğundan dolayı, beklendiği gibi galvaniz halatlı ÇHTİ'lerinin sönüm oranları yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla rezonans riskinin olduğu yerlerde galvaniz esaslı ÇHTİ kullanmak daha faydalı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] «

- [14] Ali Semih ANIL, Eksenel Yüklü Tel Halat Demetlerinin Bilgisayar Ortamında Yorulma Ömürlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2011.
- [15] Christian Wokem, Fatigue prediction for strands and wire ropes in tension and bent over sheave wheel, Doctor of Philosophy, University of Alberta, 2015.
- [16] Anne Nawrocki, Michel Labrosse, A finite element model for simple straight wire rope strands, *Computers and Structures* 77 (2000) 345±359.
- [17] Cengiz Erdönmez, Modeling And Numerical Analysis Of The Wire Strand, *Journal of Naval Science and Engineering*, 2009, Vol. 5 , No.1, pp. 30-38.
- [18] L. Xiang et al, Modeling of multi-strand wire ropes subjected to axial tension and torsion loads, *International Journal of Solids and Structures* 58 (2015) 233–246.
- [19] Cengiz Erdönmez, Cevat Erdem İmrak, Modeling Techniques of Nested Helical Structure Based Geometry for Numerical Analysis, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 57(2011)4, 283-292.
- [20] Gordana M. Kastratović, Nenad D. Vidanović, Some Aspects of 3D Finite Element Modeling of Independent Wire Rope Core, *FME Transactions* (2011) 39, 37-40.
- [21] Juan Wu, The finite element modeling of spiral ropes, *Int J Coal Sci Technol* (2014) 1(3):346–355.
- [22] Nerea Otaño et al, Finite Element Simulation Of The Mechanical Behaviour Of Wire Ropes, Comparison With Analytical Models And Experimental Tests, 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Spain, 2014.
- [23] Bart C. de Jong, Master\_thesis\_Analytical and experimental analysis of the capacity of steel wire ropes subjected to forced bending, Master Thesis, Delft University of Technology, 2015.
- [24] Ghoreishi S.R. et al, Validity and limitations of linear analytical models for steel wire strands under axial loading, using a 3D FE model, *International Journal of Mechanical Sciences* 49 (2007) 1251–1261.
- [25] George A. Costello, *Mechanics of Wire Rope*, Wire Association International, 2003.
- [26] V.Fontanari et al, Structural behaviour of steel ropes subjected to heavy thermal transients simulating fire scenarios.
- [27] Demetriades, G.F. et al, Study of wire rope systems for seismic protection of equipment in buildings, *Eng. Struc.* 1993, Volume 15, Number 5.
- [28] *Wire Rope User Guide*, Union A WireCo WorldGroup Brand, 2008.



- [29] Wire Rope Isolator Technologies, ENIDINE.
- [30] Kosar et al, Wire rope isolator with pinned bar and method for making same, Patent US 6.406.011 B1, 2002.
- [31] «<http://www.enidine.com/Products/CWRMain/>,» Erişim Tarihi:
- [32] <https://www.kaptancelik.com/celik-halat/galvanizli-celi-halatlar-guclu-ve-korozyona-dayanikli/>. Erişim Tarihi:
- [33] <http://www.izmitcelikhalat.com/18x7-nuflex-donmez-celik-ozlu-celik-halat/>. Erişim Tarihi:
- [34] <http://www.kromtel.com.tr/urunler/tel/paslanmaz-celik-halat>. Erişim Tarihi:
- [35] «ENIDINE Wire Rope Isolator Technologies».
- [36] Erdem İmrak et al, Çelik tel halat demetinin modellenmesi ve sonlu elemanlar analizi.
- [37] <http://www.hoanincs.com/new-product-wire-rope-isolator>. Erişim Tarihi:
- [38] <http://www.paccin.org/content.php?286-WIRE-ROPE-ISOLATORShttp://www.paccin-org-attachment-php-attachmentid-1515-stc-1>. Erişim Tarihi:
- [39] <http://www.novibration.com/cablemounts.htm>. Erişim Tarihi:
- [40] <http://www.novibration.com/cablemounts.htm>. Erişim Tarihi:

## ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Siirt'te doğdu. İlk ve orta öğreniminin bir kısmını Batman'da tamamladıktan sonra İstanbul'a yerleşti ve İstanbul Çapa Ortaokulunu bitirdi. Lise eğitimini Özel Bilfen Lisesinde tamamladı. 1995 yılında Üniversite eğitimine Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde başladı ve 1999 yılında mezun oldu. 1999 – 2004 yılları arasında çelik konstrüksiyonlu ve prefabrik bina inşaatlarında proje sorumlusu olarak Türkiye'nin birçok ilinde toplam 50.000 m<sup>2</sup>'yi aşan yapılara imza attı. Son olarak Afganistan şantiyesini tamamladıktan sonra Sakarya'ya yerleşti. 2004 – 2014 yılları arasında makine imalat sektöründe satın alma ve üretim planlama departmanlarında çalıştı. Bu süreçte almış olduğu A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı belgesiyle 2016 yılında Sakarya 1. Ana Bakım Merkezi Komutanlığı'nın iş güvenliği uzmanlığını yaptı. 2017 yılının başında Sakarya Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi Adaptto' da Üniversite Sanayi İşbirliği Biriminde (Modül-3) başlamış olduğu görevine halen devam etmektedir.