

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

MANYETİK SÜSPANSİYONLU ÇELİK HALAT TİTREŞİM İZOLATÖRÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat BAKLACI

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL

Aralık 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MANYETİK SÜSPANSİYONLU ÇELİK HALAT
TİTREŞİM İZOLATÖRÜ**

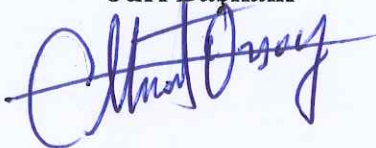
YÜKSEK LİSANS TEZİ

—Murat BAKLACI

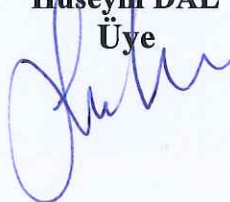
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

Bu tez 16.12.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr.
Murat ÖZSOY
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi
Hüseyin DAL
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Mehmet Akif KOÇ
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.

Murat BAKLACI

16.12.2019

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesiyle aşmamda büyük bir sabır ve ilgi ile yardımcı olan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan babam Erol BAKLACI'ya, annem Münüre BAKLACI'ya ve kardeşlerim Miraç ve Kemal BAKLACI'ya sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

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

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar	5
1.2. Titreşim Parametreleri.....	7
1.2.1. Titreşim yalıtımı	9
1.3. Çelik Halatlar	12
1.4. Çelik Halat Titreşim İzolatörleri	15
1.4.1. Çelik halat titreşim izolatörlerinin çeşitleri	15
1.4.2. Çelik halat titreşim izolatörlerinin uygulama alanları	16
1.4.3. Çelik halat titreşim izolatörlerinin çalışma yönleri	17
1.4.4. Çelik halat titreşim izolatörlerinde histerisizlik davranışı.....	18
1.5. Mıknatıslar ve Manyetik Alan.....	20

BÖLÜM 2.

MSÇHTİ'NİN TASARIMI VE ÜRETİMİ.....	24
2.1. Plakaların 3D Katı Modeli	24
2.2. Plakaların Üretimi	27
2.2.1. Çelik halatların montajı	28

2.2.2. Neodyum mıknatısların ve besleme parçalarının montajı	29
--	----

BÖLÜM 3.

MÇHTİ’NİN YARI STATİK TEST VE ANALİZLERİ.....	31
3.1. Yarı-Statik Deneyler İçin Test Düzeneginin Kurulumu	31
3.2. Yarı-Statik Testler	36

BÖLÜM 4.

DİNAMİK TİTREŞİM YALITIMI TESTLERİ VE ANALİZLERİ.....	55
---	----

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	71

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ÇHTİ	: Çelik Halat Titreşim İzolatörü
DFD	: Dry Friction Damping
FDM	: Fused Deposition Modeling
FFT	: Fast Fourier Transform
M0	: Mıknatıssız Model
M1	: Tek Mıknatıslı Model
M2	: İki Mıknatıslı Model
M3	: Üç Mıknatıslı Model
mm/dk	: milimetre/dakika
MSÇHTİ	: Manyetik Sönümlü Çelik Halat Titreşim İzolatörü
PLA	: Polilaktik Asit
WR	: Wire-Rope

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Periyodik (harmonik) ve random (gelişigüzel) titreşim hareketi	8
Şekil 1.2. Harmonik titreşim ve parametreleri	9
Şekil 1.3. Harmonik kuvvet etkisi altındaki bir mekanik sistem [20].....	10
Şekil 1.4. Kuvvet iletim oranı grafiği [20]	12
Şekil 2.1. Alt tutucu plakaların 3D modelleri	25
Şekil 2.2. Üst baskı plakalarının 3D modelleri	25
Şekil 2.3. Alt plaka tabanlarında şekil bağı kuvvetinden faydalanmak için açılan altı köşe yuvalar	26
Şekil 2.4. MSÇHTİ'lerinin tutucu plakalarının 3D yazıcı ile üretimi	27
Şekil 2.5. Halatların tutucu plakalara montajı.....	28
Şekil 2.6. Çelik halatların tutucu plakalara montajı ve nihai model	29
Şekil 2.7. Mıknatıs yuvalarının yüzey temizleme işlemi	30
Şekil 2.8. Üretilen nihai MÇHTİ model.....	30
Şekil 3.1. Yarı-statik deneyler için izolatörün cihaza bağlantısı.....	32
Şekil 3.2. Yarı-statik deneylerdeki MSÇHTİ'lerinin yükleme durumları	32
Şekil 3.3. Yarı-statik test düzeneği ve teslametre	33
Şekil 3.4. Yarı-statik deneylerdeki manyetik alan ölçümü	33
Şekil 3.5. M3 modelinin yarı-statik deneylerdeki orta noktadaki manyetik alan şiddetinin ölçümü	34
Şekil 3.6. M0 modelinin 40 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	36
Şekil 3.7. M0 modelinin 80 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	36
Şekil 3.8. M0 modelinin 120 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	37

Şekil 3.9. M1 modelinin 40 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	37
Şekil 3.10. M1 modelinin 80 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	38
Şekil 3.11. M1 modelinin 120 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	38
Şekil 3.12. M2 modelinin 40 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	39
Şekil 3.13. M2 modelinin 80 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	39
Şekil 3.14. M2 modelinin 120 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	40
Şekil 3.15. M3 modelinin 40 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	40
Şekil 3.16. M3 modelinin 80 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	41
Şekil 3.17. M3 modelinin 120 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	41
Şekil 3.18. M0 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (5mm ön yükleme)	42
Şekil 3.19. M0 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (10mm ön yükleme)	42
Şekil 3.20. M0 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	43
Şekil 3.21. M1 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (5mm ön yükleme)	43
Şekil 3.22. M1 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (10mm ön yükleme)	44
Şekil 3.23. M1 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	44
Şekil 3.24. M2 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (5mm ön yükleme)	45

Şekil 3.25. M2 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (10mm ön yükleme)	45
Şekil 3.26. M2 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	46
Şekil 3.27. M3 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (5mm ön yükleme)	46
Şekil 3.28. M3 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (10mm ön yükleme)	47
Şekil 3.29. M3 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)	47
Şekil 3.30. M0 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve ön gerilmesiz durumdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	48
Şekil 3.31. M1 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve ön gerilmesiz durumdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	48
Şekil 3.32. M2 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve ön gerilmesiz durumdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	49
Şekil 3.33. M3 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve ön gerilmesiz durumdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	49
Şekil 3.34. Sabit 80 mm/dk hızdaki 4 modele ait histerisizlik eğrileri (ön gerilmesiz).....	50
Şekil 3.35. 40 mm/dk hızdaki tüm modellere ait histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme).....	50
Şekil 3.36. 80 mm/dk hızdaki tüm modellere ait histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme).....	51
Şekil 3.37. 120 mm/dk hızdaki tüm modellere ait histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme).....	51
Şekil 3.38. MO modeli için 3 farklı hızdaki histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme).....	52
Şekil 3.39. M1 modeli için 3 farklı hızdaki histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme).....	52
Şekil 3.40. M2 modeli için 3 farklı hızdaki histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme).....	53

Şekil 3.41. M3 modeli için 3 farklı hızdaki histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme).....	53
Şekil 4.1. Dinamik test kurulumu	56
Şekil 4.2. MSÇHTİ'nin sarsıcı cihazına montajı	56
Şekil 4.3. MSÇHTİ sarsıcı test düzeneği	57
Şekil 4.4. M3 modeline ait rezonans frekansındaki ivme ve frekans cevabı	58
Şekil 4.5. M2 modeline ait rezonans frekansındaki ivme ve frekans cevabı	58
Şekil 4.6. M1 modeline ait rezonans frekansındaki ivme ve frekans cevabı	59
Şekil 4.7. M0 modeline ait rezonans frekansındaki ivme ve frekans cevabı	59
Şekil 4.8. M0 modeline ait rezonans frekansındaki sönüm testi.....	60
Şekil 4.9. M1 modeline ait rezonans frekansındaki sönüm testi.....	60
Şekil 4.10. M2 modeline ait rezonans frekansındaki sönüm testi.....	61
Şekil 4.11. M3 modeline ait rezonans frekansındaki sönüm testi.....	61
Şekil 4.12. M0 modeline ait frekans cevabı.....	63
Şekil 4.13. M1 modeline ait frekans cevabı.....	63
Şekil 4.14. M2 modeline ait frekans cevabı.....	64
Şekil 4.15. M3 modeline ait frekans cevabı.....	64

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Tüm modellere ait yarı-statik testte elde edilen kuvvet ve manyetik alan şiddetleri.....	34
Tablo 3.2. Deneysel olarak elde edilen tüm modellere ait kuvvet değerleri [N]	35
Tablo 3.3. Tüm modellere ait 40, 80 ve 120 mm/dk hızlardaki k [N/mm] yay katsayısı değerleri.....	42
Tablo 3.4. Tüm modellere ait sabit hız (80 mm/dk) ve ön gerilmesiz durumlardaki k [N/mm] yay katsayısı değerleri.....	50
Tablo 4.1. Tüm modellere ait doğal frekanslar	61
Tablo 4.2. Tüm modellere ait sönüm oranları ve sönüm katsayıları.....	62
Tablo 4.3. Sönüm oranlarının yüzde artışı	62

ÖZET

Anahtar kelimeler: Titreşim, Titreşim İzolatörü, Çelik halat titreşim izolatörü, Manyetik alan

Bu tez çalışmasında manyetik sönüm eklenmiş ÇHTİ'nin (Çelik Halat Titreşim İzolatörü) tasarımı ve üretimi yapılarak, ÇHTİ'nin sönüm(dinamik) karakteristikleri elde edilmiş ve manyetik etkinin sönüm üzerine olan etkisi incelenmiştir. ÇHTİ pek çok makine endüstrisinde ve hassas cihazlarda titreşim izolasyonu için geniş bir uygulama alanına sahip ekipmanlardır. Aynı zamanda savunma ve silah endüstrisinde de geniş çaplı olarak kullanılmaktadır. ÇHTİ iki plaka (metal, polimer vb.) arasında sabitlenen sarım sayısı yüksek olan halatlardan oluşmaktadır. Teller arasındaki sürtünmeden dolayı halat malzemesi, sarım sayısı ve sarım çeşidine bağlı olarak iyi bir sönümleme performansı gösterirler. ÇHTİ'nin harmonik tahriği enerji dağıtımı ile sonuçlanan bir histerisiz döngüye yol açar. Bu sebepten dolayı mükemmel bir sönüm kabiliyeti ortaya çıkar. Genel anlamda ÇHTİ kuru sürtünme sönümüne ve histerisizlik sönümüne sahiptir. Bu sönüm karakteristiği yay ve sönüm elemanı olan bir sistemi tek başına karşılamaktadır. Bu çalışmada bu iki sönüm karakteristiğine ek olarak manyetik sönüm karakteristiğinin eklenmesi hedeflenmektedir. Manyetik sönümün ÇHTİ'nin dinamik davranışına hangi yönde ve mertebede etki ettiği incelenmektedir. Bu amaç doğrultusunda sönüm elemanı olarak kullanılan ÇHTİ'ne mıknatıslar (30x5,5x5) eklenerek sarsıcı vasıtası ile çeşitli hız değerlerinde dinamik testler gerçekleştirildi. Test sonuçlarından elde edilen veriler doğrultusunda, ÇHTİ'ne kıyasla manyetik sönüm eklenmiş izolatörün nasıl dinamik davranışlar gösterdiği deneysel olarak elde edildi. Bu çalışmanın amacı, klasik çelik halat titreşim izolatörlerinin sönüm mekanizmalarına ek olarak manyetik sönümün de eklenmesi ile ÇHTİ'nin titreşim ve sönüm karakteristikleri üzerine etkisini incelemektir. Bununla birlikte şok ve darbe dirençlerine karşı daha etkin bir yalıtım sağlamaktır. Aynı zamanda elde edilen veriler doğrultusunda sonraki çalışmalarda sezgisel algoritmalar kullanılarak girdi olarak verilen kuvvet, genlik ve frekansa bağlı olarak kendini karakterize eden bir sönüm elemanı üretmek amaçlanmaktadır.

MODELING, MANUFACTURING AND OBTAINING CHARACTERISTICS OF WIRE-ROPE ISOLATOR WITH MAGNETIC DAMPING

SUMMARY

Keywords: Vibration Isolator, Wire-Rope Isolator, Magnetism.

In this thesis, the design, modeling and damping (dynamic) characteristics of SRVI (Steel Rope Vibration Isolator) which had been added magnetic damping by obtaining, the effect of magnetic impact on damping was investigated. SRVI is a wide range of equipment for vibration isolation in many machine industries and precision devices. Moreover, It is also widely used in the defense and arms industries. SRVI consists of ropes with a high number of turns fixed between two plates (metal, polymer, etc.). Due to the friction between the wires, they show good damping performance depending on the rope material, number of turns and winding type. The harmonic drive of the SRVI leads to a hysteresis loop resulting in energy distribution. This results in an excellent damping ability. In general, SRVI has dry friction damping and hysteresis damping. This damping characteristic meets a system with spring and damping element alone. In this study, it is aimed to add magnetic damping character in addition to these two damping characteristics. The direction and degree to which the magnetic damping affects the dynamic behavior of SRVI is investigated. For this purpose, magnets (30x5,5x5) were added to the SRVI, which is used as a damping element, and dynamic tests were carried out at various speed values by shaking. In the light of the data obtained from the test results, it is experimentally obtained how the magnetic damper added insulator behaves dynamically compared to SRVI. The aim of this study is to investigate the effect of SRVI on vibration and damping characteristics by adding magnetic damping in addition to damping mechanisms of classical wire rope vibration isolators. However, it is aimed to provide a more effective isolation against shock and impact resistances and at the same time, it is aimed to produce a damping element which characterizes itself according to the input force, amplitude and frequency using intuitive algorithms.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

ÇHTİ' leri günümüz endüstrisinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Havacılık, uzay, savunma, silah, otomobil, hassas cihaz teknolojileri gibi birçok alanda geniş çapta kullanılmaktadır. Denizde hareket halinde olan bir gemide şok ve titreşim etkilerinden kaçınılamaz. Bu titreşim etkileri neredeyse tüm durumlarda istenmeyen hatta bazı durumlarda ise kabul edilemez bir durumdur [1].

Titreşimler aynı zamanda makinenin performansını da kötü bir şekilde etkilemektedir. Özellikle de radar pozisyonlama durumlarında çok fazla önem arz etmektedir. Bu tür durumlarda titreşimin sistemlere etkisi göz önüne alınmaz ise makineye ciddi zararlar verebilir. Diğer bir istenmeyen durum ise çok yüksek genlik seviyelerine sahip titreşimler deniz aracında bulunan personelin konfor ve ergonomik açıdan rahatsız olmasına neden olabilir. Bu sebepten dolayı bir deniz aracının üzerindeki titreşim seviyeleri ISO 6954 standartlarına göre sınırlandırılmaktadır [2].

Titreşim seviyelerini azaltmak için sayısız çözüm yolları mevcuttur. Örnek olarak sertliği arttırmak, yüksek sönüm karakteristiklerine sahip materyaller kullanmak veya bir kontrol mekanizması uygulamak. Kontrol tipleri aktif, yarı aktif ve pasif kontrol olarak üç gruba ayrılmaktadır. Genel olarak pasif kontrol deniz araçlarında kullanılmaktadır. Bir titreşim izolatörü genel bir pasif kontrol örneğidir. Kontrol elemanları güverte üzerinde bulunan cihazları ve çalışan kişileri titreşimin neden olabileceği zararlı etkilerden korumak için güverte altına yerleştirilmektedir. ÇHTİ diğer sönüm elemanlarına göre birden fazla doğrultuda sönüm karakteristiği gösterdiğinden dolayı geleneksel sönüm elemanlarına göre büyük ölçüde farklılaşırlar ve bu çok yönlü sönüm kabiliyetinden dolayı ise birçok uygulamada öncelikli olarak tercih edilmektedirler. ÇHTİ iki tutucu arasına sabitlenen halattan oluşmaktadır. Halatlar genel yapısı itibari ile yük taşıma ve iletme gibi fonksiyonları yerine getirirler

de çok farklı tasarımlar ile bir titreşim izolatörü görevini de üstlenmektedirler [3]. Bunun en önemli örneği ise çelik halat titreşim izolatörleridir. ÇHTİ'nin dinamik davranışını büyük ölçüde halat sarım sayısı etkilemektedir.

Bu parametreye takiben halat malzemesi ve halat çekirdeği de izolatörün sönüm karakteristiklerini etkilemektedir [4]. Halat sarım sayısına bağlı olarak halatı oluşturan teller arasında aktif çalışma durumunda sürtünme meydana geldiğinden dolayı literatürde DFD (Dry Friction Damping) olarak adlandırılan sürtünme sönümü meydana gelmektedir. Halatın sarım sayısı ne kadar fazla ise teller arasında ki sürtünme o kadar fazla olacaktır ve bu durum doğrudan izolatörün sönüm karakteristiğini etkileyecektir. Çelik halat malzemesi çeşitli alaşım elementlerine sahiptir [5]. Bu sebepten dolayı malzemesine bağlı olarak izolatörde bir histerisiz sönüm elde edilir. Histerisizlik, tahrik kuvvetlerine karşılık malzemenin vermiş olduğu cevap fonksiyonundaki gecikme olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir taraftan malzeme özelliklerine bağlı olarak elastik çalışma durumunda meydana gelen restoring force olarak adlandırılan kuvvetteki gecikme olarak da ele alabiliriz. Tüm bu sönüm mekanizmalarına ek olarak bu çalışmada manyetik bir sönüm mekanizması elde etmek amacı ile bilgisayar ortamında 3 boyutlu olarak modellenen yuvarlak tip izolatöre dış çapı 30 mm, iç delik çapı 5.5 mm ve kalınlığı 5 mm olan neodyum mıknatıslar aynı kutuplu ve eş merkezli olacak şekilde tasarımı gerçekleştirildi [6]. ÇHTİ'nin merkez noktasında manyetik alan oluşturarak ve aradaki mesafeye bağlı olarak bir itme kuvveti sağlanmıştır.

Tasarımı yapılan izolatörün tutucu plakaları Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarında PLA tip flement kullanılarak 0,3mm nozul çapına sahip taban ısıtmalı hassas bir 3D yazıcı kullanılarak üretildi. Tutucu plakaların malzeme seçiminde kullanılacak olan malzemenin manyetik bir özellik sergilememesi göz önünde bulundurulduğundan dolayı manyetik özellik sergilemeyen metal malzemelere kıyasla polimer malzemenin daha avantajlı olması nedeni ile polimer bir malzeme kullanılması uygun olduğu belirlenmiştir. Polimer malzemelerde istenilen mukavemet ve işlenebilirlik açısından kestamit ön plana çıkmıştır ancak model tasarımında ki bazı kriterler ve hassas işlenmesi gerekli olan durumlardan

dolayı 3D yazıcı ile PLA filament kullanılarak üretilmesi uygun olduğu tespit edilmiştir. Halat malzemesi için manyetik özellik sergilemeyen yorulma dayanımı ve elastikiyeti yüksek olan 3 mm çapında paslanmaz çelik tercih edilmiştir. İzolatör kompakt bir model olduğu için halat çapı küçük tutulmuştur bu sebepten dolayı 3 mm çaptaki sarım sayısı en yüksek olan 7x19 tipindeki halat tercih edilmiştir. Aynı zamanda montaj için kullanılacak olan cıvatalar manyetik bir özellik sergilemediğinden dolayı paslanmaz çelik tercih edilmiştir.

Üretilen modelin statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Statik analizleri izolatöre kademeli bir şekilde kuvvet girdisi verilerek göstermiş olduğu yer değiştirme izlenmiş ve 'k' yay katsayısı elde edilmiştir. Dinamik analizler ise yine Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü titreşim laboratuvarında bulunan sarsıcı cihazı ile photon+ yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada belirli sönüm mekanizmalarına sahip olan ÇHTİ'ne bir manyetik sönüm mekanizması da eklenmesi ile ÇHTİ'nin titreşim ve sönüm karakteristikleri incelenmiştir. Aynı zamanda sönüm oranının artması ile birlikte daha küçük boyutlarda izolatörler kullanılarak sistemin şok ve darbe etkilerine karşı daha kararlı bir hale gelmesi sağlanmaktadır. Buda hassas elektronik cihazlarda ve boyut olarak sınırlı alanlarda izolatörlerin etkin bir şekilde kullanılmasına imkan sağlamaktadır.

Özellikle hassas ve yüksek teknoloji ürünlerinin korunması amacıyla, ani şok, titreşim, darbe, patlama, şiddetli dinamik yükleri absorbe edebilen, çelik halat titreşim izolatörü (wire-rope vibration isolator) özellikle savunma ve uzay sanayinde olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu titreşim izolatörleri, özel üretilmiş çeşitli çaplardaki çelik tellerin simetrik, helisel veya daha değişik formlarda sarılarak, burularak çeşitli şekillerde montajlanarak imal edilmektedir.

Klasik çelik ve kauçuk yaylar ani titreşim ve şok enerjilerini sönümlemede yetersiz kalmakta ve geniş bir lineer davranış göstermektedir. Bu amaçla ani şok ve titreşimlere karşı hassas cihazları korumak için çeşitli titreşim izolatörleri kullanılmaktadır. Bunlardan en önemli ve hassas olanlarından biri de ÇHTİ'dir. Uluslararası ve askeri standartlardaki kısıtlamaların karşılanabilmesi için ülkemizde ÇHTİ, özellikle hassas

askeri teknoloji alanlarında kullanılmaktadır. Ülkemizde diğer teknoloji alanlarında yaygın olarak kullanılmadığı ve yeterince tanınmadığı gözlemlenmiştir. Ancak dünyada birçok alanda bilinçli ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Titreşim izolatörlerin önemli bir parçası olan, çelik halatların ülkemizde üretimi yapılmadığı tespit edilmiştir. Birkaç yerli teknolojik firma özel çelik halatları ithal edip montaj yoluyla üretimini gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla bu halatlar ithal olarak karşılanmaktadır. Ülkemizin artan teknoloji ihtiyacından dolayı ÇHTİ'lerine olan ihtiyacın artacağı tahmin edilmektedir.

ÇHTİ'nin en önemli elemanı helisel veya tekli çelik halatlardır. Çelik halatların üretimi yüksek teknoloji ve önemli bir bilgi birikimi gerektirmektedir. Yapılan literatür araştırmalarında, ÇHTİ'lerinin titreşim yalıtımı açısından analitik olarak dinamik davranışının modellenmesi oldukça karmaşıktır. Bunun için daha çok yaklaşık veya deneysel modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Hassas teknoloji alanlarında şok ve titreşim izolatörü olarak kullanılma nedenlerinden birisi de, her yöne izolasyon koruması sağlayabilmesidir. Tüm bu standart ÇHTİ'lerinin geniş çapta kullanılmasından ve çalışmasından ötürü farklı bir sönüm mekanizması olarak manyetik sönüm eklenilerek sisteme entegrasyon çalışmalarının yapılması amaçlanmaktadır. Tüm bu çalışmalar neticesinde ise elde edilen prototip MSÇHTİ'ne (Manyetik Sönüm Çelik Halat Titreşim İzolatörü) eklenen manyetik etkinin titreşim karakteristikleri üzerine ne gibi bir etki gösterdiği incelenecektir.

Yapılan tüm bu analiz ve test çalışmalarının neticesinde manyetik etkinin izolatör üzerinde olumlu bir etki göstermesi durumunda ise çalışma genişletilerek kullanılan mıknatıslar yerine elektromıknatıslar kullanılarak sistemin manyetik alanını akım şiddetinin artırılıp azaltılması ile birlikte bir kontrolör vasıtası ile kontrol edilmek sureti ile kendi kendini gerçek zamanlı bir şekilde dış tahrik kuvvetine ve genliğine bağlı olarak çeşitli yapay zeka algoritmaları kullanılarak karakterize eden bir izolatör elde etmektir. Tüm bu çıktıların yanında standart ÇHTİ'leri hali hazırda ithal kaynaklı olarak ihtiyaç duyulan sistemlerde kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı yapılan çalışmada çıkan sonuçlar ulusal literatür için izolatörün milli olarak üretilmesine imkan sağlayan tüm teknik altyapıyı sunacaktır.

Bu tez kapsamında imal edilecek prototip MSÇHTİ'nin tasarımı, analizleri, imalatı, ürün testleri yapılarak, üretiminin tamamen yerli üretim olması hedeflenmektedir. Ulusal bazda tüm testlerle doğrulanmış yeni ve yerli ürün ortaya çıkacaktır.

1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Yapılan bir çalışmada Demetriades ve meslektaşları binalarda sismik koruma ekipmanı olarak helisel çelik halat titreşim izolatörlerinin kullanımını incelediler [7]. Düzenlenmiş bir Bouc-Wen model [8,9] dikey durumda asimetric histerisiz döngülerini açıklamak için kullanılıyorken, çalışmada yatay yükleme durumunda çelik halat titreşim izolatörünün simetric histerisiz döngülerini açıklamak için de genel Bouc-Wen model kullanıldı. Onların çalışmasında, artan hareket genliği ile çelik halat titreşim izolatörünün histerisiz sönümünün azaldığı gözlemlendi. Fakat bu sonuçlara sadece yatay ve dikey yönde sınırlandırılmış yer değiştirmelere izin verilerek çok az sayıda deney yapılarak ulaşılmıştır. Diğer bir çalışmada ise Ko ve Ni ÇHTİ'nin histerisiz kuvvetini tanımlamak için deneysel bir model geliştirdiler [10]. Onların çalışmasında ise, izolatörün geri getirme kuvveti ve deplasman histerisiz döngüsü genliğe bağlı ancak frekanstan bağımsız olduğu gözlemlendi. Wong ve Ni ise, çok yönlü bir Bouc-Wen model kullanarak ÇHTİ'nin histerisiz davranışını modellediler [11].

Onların modellerinde kullandıkları parametreler ise FFT tekniği kullanarak bir non-lineer tanımlama prosedürü ile tanımlandı. Daha sonra, Leenen ve meslektaşları statik yük çevrimi altında çelik halat titreşim izolatörünün non-lineer histerisizlik karakteristikleri üzerine çalıştılar ve onların sonuçlarında ölçülen geri getirme kuvveti ve deplasman döngüsünü tanımlamak için bir iyileştirilmiş Bouc-Wen modeli ortaya çıkardılar [12]. Bunun yanında Schwanen ve arkadaşları yarı statik çevrim yükü altında titreşim izolatörünün histerisiz davranışını tanımlamak için Leenen ve arkadaşları tarafından ortaya atılan iyileştirilmiş Bouc-Wen modelini incelediler [13].

İyileştirilmiş Bouc-Wen model ÇHTİ'nin dinamik davranışlarını yeterli bir şekilde tahmin edemedi. Ancak, teorik frekans tarama simülasyonu büyük yer değiştirme

genlikleri için yaklaşık olarak kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. Paolacci ve Giannini yüksek voltajlı elektrik ekipmanlarının sismik koruması için helisel çelik halat titreşim izolatörlerinin uygulaması üzerine çalıştılar [14]. Deneysel testler hem dikey hem de yatay yönlerde gerçekleştirildi. Daha sonra, sisteme bir Bouc-Wen model oluşturularak izolasyon sisteminin etkinliği 420KV bir akım kesicinin sismik cevabının simülasyonu tarafından doğrulandı. Zhou ve arkadaşları ise, bir helisel ÇHTİ'nin histerisiz geri getirme kuvvetini modellemek için yapay sinir ağı tabanlı bir hibrit modelleme tekniğini incelediler [15].

Dinamik testler iki farklı frekansta ve iki farklı genlikte gerçekleştirildi. Daha sonra, elde edilen deneysel veriler sistem için bir hibrit model geliştirmek için kullanıldı. Veri aralığının dışındaki frekans ve genliklerde izolatörün cevabını tahmin edebilen bir tam model elde etmek için kullanılan metot daha çok deneysel veriye ihtiyaç duymaktadır. Zou ve Nagarajaiah bir helisel ÇHTİ'li izolasyon sisteminin asimetric çözümünü elde etmek için eş yerellik analizlerinin yeni bir düzenlenmiş halini önerdiler [16]. İzolasyon sistemine kapalı form yaklaşımı uygulanmış ve cevap eğrileri belirlenmiştir. Foss tarafından, doğrudan ÇHTİ'nin dinamik davranışını ölçmenin yerine yarı statik yük deplasman eğrilerinden bir helisel ÇHTİ'nin sönümünü ölçmek için yeni bir metot incelendi [17].

Daha sonra onun tekniğinden elde edilen sönüm sonuçları ölçülen frekans cevap fonksiyonundan tahmin edilen sönüm ile kıyaslandı. ÇHTİ üzerine devam eden çalışmalarda ÇHTİ'nin yaygın bir şekilde histerisizlik davranışı yarı statik yük çevrimi altında incelenmiştir. Histerisiz kuvvet ve deplasman döngülerinin genliğe bağımlı ve frekansa bağımsız olduğu farz edildi. Ancak bununla birlikte ÇHTİ'nin çalışma frekansı daha geniş bir ölçekte düşünüldüğü zaman frekansa bağımlılık önem arz etmektedir. Bunun sebebi ise bu gibi ÇHTİ'nin çalışma şartlarında çeşitli tahrik frekansları ile dinamik yüklere maruz kalmasından dolayıdır. Bu sebepten dolayı, ÇHTİ'nin statik ve dinamik davranışı hakkında genel modellemeler ve incelemeler gerçekleştirmek oldukça önemlidir. Son olarak, Tinker ve Cutchins bir non-lineer direngenliğe sahip, n. Dereceden hız sönümlü ve değişken Coulomb sürtünme

sönümüne sahip helisel ÇHTİ'nin dinamik karakteristiklerini modellemek için bir yarı statik deneysel model geliştirdiler [18].

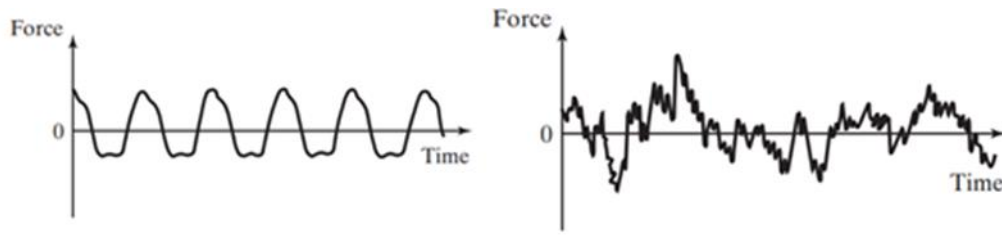
Onlar artan tahrik genliği ile tüm frekans değerleri için sönümden dolayı gerçekleşen enerji kaybının arttığını buldular. Onların modelinden alınan sonuçlar ise deneysel testlerden elde edilen veriler ile doğrulandı ve geçerli bir model ortaya koydular. Kuduzoğlu ise yaptığı tez çalışmasında farklı halat tiplerinin ÇHTİ'nin sönüm kabiliyeti arasındaki ilişkiyi sonlu elemanlar metodu kullanarak analizleri gerçekleştirmiş ve elde ettiği sonuçları deneysel veriler ile kıyaslamıştır [19].

ÇHTİ'lerinin titreşim karakteristikleri yapılan deneysel çalışmalar neticesinde geleneksel diğer izolatörlere göre daha iyi karakteristikler gösterdiği aşıkardır. ÇHTİ'lerinin kullanım alanlarının genişliği ve istenilen tip ve boyutta üretilebilmesi ve çeşitli modifikasyonlar ile birlikte daha da geniş bir alanda kullanılabilen bir kompakt model olması nedeniyle tercih sebebi olmaktadır. Literatürde genel olarak ÇHTİ'lerinin dinamik karakteristiklerinin matematiksel olarak modellenmesi üzerine çalışmalar daha yoğun bir şekilde yapılmıştır ve çalışılmaya halen daha devam edilmektedir. Çeşitli deneysel kurgular ve yaklaşımlar ile birlikte oluşturulan modeller üzerine günümüzde halen daha düzenlemeler yapılmaktadır [20,21,22].

1.2. Titreşim Parametreleri

İnsanlar muhtemelen ilk müzikal enstrümanlardan olan davulun icadından beri titreşim ile ilgilendiler. O zamanlardan beri, insanlar ses üretimi ile ilgili kanun ve kurallar geliştirmek için bir arayış içerisine girdiler. Ortaya koydukları yeni kurallar ve kanunlar ile müzikal enstrümanları geliştirdiler ve bunları gelecek kuşaklara aktardılar. Daha sonra insanlar mekanik sistemlerdeki titreşim hareketlerinin sistem üzerine olumsuz bir etkiye sahip olduklarını fark ettiler. Bu gelişmeler ile birlikte titreşimin bazı durumlarda fayda bazı durumlarda ise sisteme ya da yapıya zarar verdiği anlaşıldı. Titreşimin sistemde istendiği durumlar titreşimli yol silindirleri, darbeli matkaplar ve titreşim elekleri olarak gösterilebilir. İstenmediği durumlar ise motorlar, hassas elektronik cihazlar ve köprü gibi yapılar örnek olarak verilebilir.

Genel anlamda titreşim ise bir denge konumu etrafında salınım hareketi olarak tanımlanmaktadır. Klotter'e göre ise titreşim yönünü bir defadan fazla değiştiren hareket olarak adlandırılmaktadır. Bu yapmış oldukları hareketlere bakılardan titreşim hareketini temelde random (gelişigüzel) ve periyodik yani belirli bir zaman içerisinde aynı hareketi tekrarlayan olmak üzere iki başlıkta ele alabiliriz. En basit periyodik titreşime ise harmonik titreşim adı verilmektedir [23].

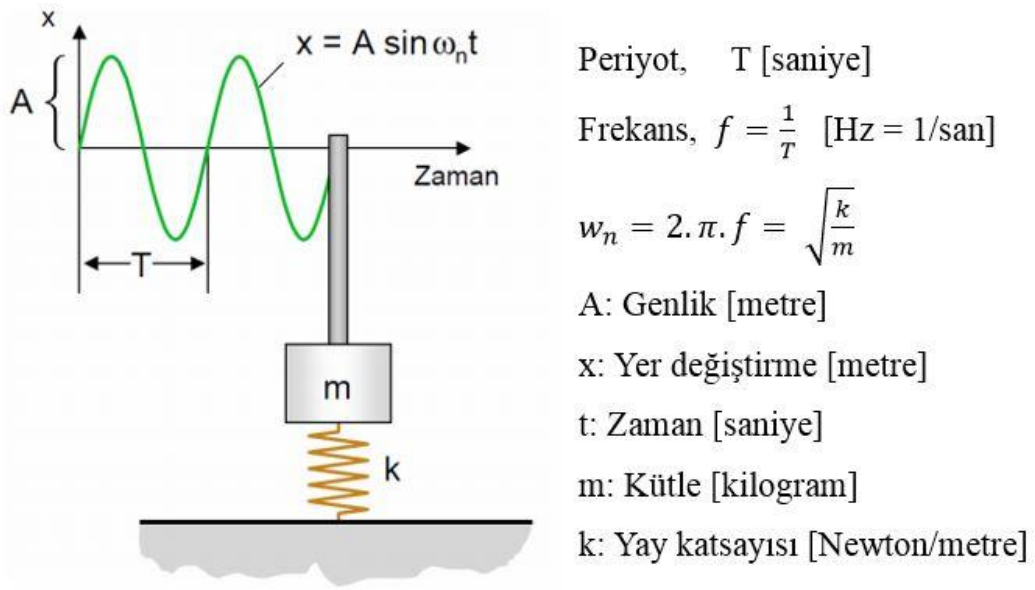


Şekil 1.1. Periyodik (harmonik) ve random (gelişigüzel) titreşim hareketi

Titreşim hareketine neden olan etkenler ise dış kuvvetler ve yapının bu dış kuvvetlere cevap verme istediğinden ortaya çıkmaktadır. Bu dış kuvvetler ise;

- Sistem montajının gerçekleştirildiği zeminden etki eden kuvvetler
- Dönen sistemlerde bulunun kütlelerden dolayı oluşan ataletler
- Motorlarda hareketli parçaların oluşturduğu ataletler
- Darbe, deprem vb. etkiler titreşim hareketlerine neden olmaktadır.

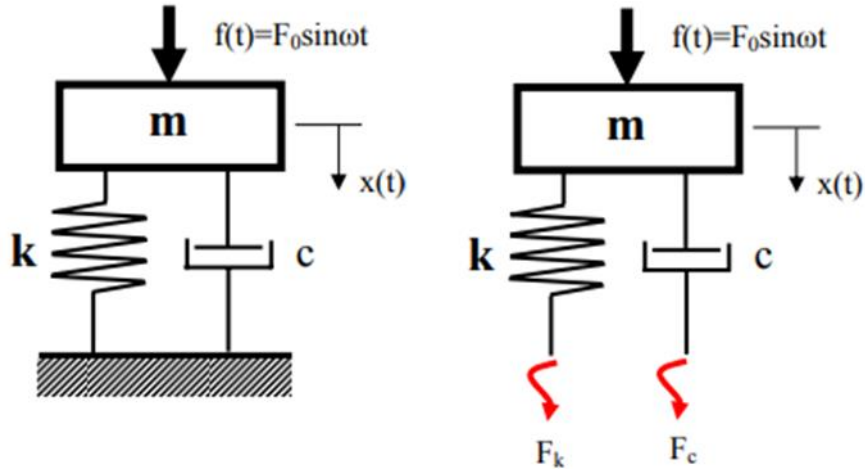
Bu etkilere bağlı olarak gürültü, yüksek tekrarlı gerilmeler, aşınma, malzeme yorulması gibi istenmeyen durumlara neden olmaktadır. Son olarak kinetik veya potansiyel enerjiye sahip bütün sistemlerin titreşim hareketi yapması son derece tabi bir olaydır. Bu durumun sebebi ise titreşim hareketlerinin tamamen enerji dönüşümlerinden meydana gelmesidir. Sistemde hali hazırda var olan kinetik veya potansiyel enerjilerin birbirlerine dönüşümü titreşim hareketini meydana getirmektedir. Bir diğer yandan ise sistemde salınım hareketinin aksi yönünde sistemde var olan enerjiyi azaltacak şekilde bir kuvvet etki ediyor ise bu durum sönümlü titreşim olarak adlandırılmaktadır. Sönümlü titreşim hareketinde tahrik zamana bağlı olarak tekrarlanmıyor ise yani tahrik kuvveti sadece bir kez sisteme etki ediyor ise titreşim hareketinin bir süre sonra duracağı aşıkardır [24].



Şekil 1.2. Harmonik titreşim ve parametreleri

1.2.1. Titreşim yalıtımı

Titreşim yalıtımı, çalışma şartlarında titreşim hareketi yapan sistemlerde makine teçhizatını ya da bağlı olduğu zemini titreşim hareketinden dolayı oluşan sorunları minimize etmek için yapılan bir işlemdir. Sistemde var olan yay ve sönüm elemanlarında meydana gelen reaksiyon kuvvetlerinin toplamı iletilen kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlanan kuvvetler ve iletilen kuvvetin tespit edilmesinden hareket ile sistemde zemine veya makine teçhizatına iletilen kuvvet miktarı belirli sınırlar içerisinde kontrol altında tutulabilmektedir. Böylelikle ele alınan bir sistemde etkin bir yalıtım işlemi gerçekleştirilmektedir. Tahrik kuvveti genliği ve tabana iletilen kuvvet arasındaki ilişki Şekil 1.3.'de gösterilmektedir [25].



Şekil 1.3. Harmonik kuvvet etkisi altındaki bir mekanik sistem [20]

Yay ve sönüm elemanında oluşan reaksiyon kuvvetlerinin toplamı ise zemine iletilen kuvvet olarak tanımlanmaktadır.

$$F_{top} = F_k + F_c \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'deki $F_k = k \cdot x$ ve $F_c = c \cdot \dot{x}$ 'dır.

Harmonik tahrik etki eden sistemde sürekli rejim hali dikkate alındığında harmonik bir şekilde meydana gelen yer değiştirme ve buna bağlı olan hız ifadesi denklem (2.2)'de gösterilmektedir.

$$x(t) = X \sin(\omega t - \phi), \dot{x}(t) = \omega X \cos(\omega t - \phi) \quad (2.2)$$

Denklem (2.2) deki zamana bağlı konum ve hız ifadeleri denklem (2.1)'de yerine yazılır ve zemine iletilen kuvvet denklem (2.3)'de yeniden düzenlenmiştir.

$$F_{top}(t) = k \cdot X \sin(\omega t - \phi) + c \omega X \cos(\omega t - \phi) \quad (2.3)$$

Denklem (2.3)'de elde edilen ifadeyi trigonometrik bağıntıları kullanarak yeniden düzenleriz.

$$A\sin(\omega t) + B\cos(\omega t) = \sqrt{A^2 + B^2}\sin(\omega t + \tan^{-1}(\frac{B}{A})) \quad (2.4)$$

$$F_{top.}(t) = F_{top.}\sin(\omega t + \phi) \quad (2.5)$$

$$F_{top.} = \sqrt{(kx)^2 + (c\omega x)^2} \quad (2.6)$$

$$F_{top.} = \sqrt{(kx)^2[1 + (\frac{c^2\omega^2x^2}{k^2x^2})]} \quad (2.7)$$

$$F_{top.} = kx\sqrt{1 + (\frac{c^2\omega^2x^2}{k^2x^2})} \quad (2.8)$$

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m} \quad (2.9)$$

$$k = \omega_n^2 m, \quad (2.10)$$

$$\zeta = \frac{c}{c_{kr}} = \frac{c}{2\omega_n m} \quad (2.11)$$

Yukarıdaki ifadeler düzenlenip denklem (2.7)'de yerine yazılır ise;

$$F_{top.} = kx\sqrt{1 + \frac{c^2\omega^2}{\omega_n^2\omega_n^2m^2}} \quad (2.12)$$

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} \quad (2.13)$$

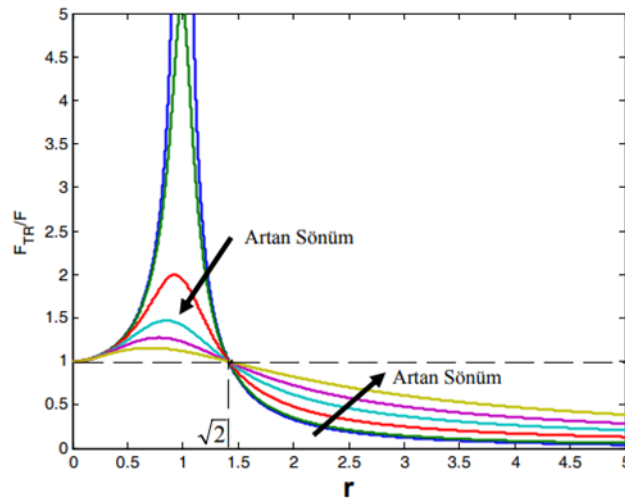
$$F_{top.} = kx\sqrt{1 + (2\zeta\omega_n)^2 \frac{r^2}{\omega_n^2}} \quad (2.14)$$

$$F_{top.} = kx\sqrt{1 + (2\zeta r)^2} \quad (2.15)$$

$$x = \frac{F/k}{\sqrt{(2\zeta r)^2 + (1-r^2)^2}} \quad (2.16)$$

$$\frac{F_{top}}{F} = \frac{\sqrt{1+(2\zeta r)^2}}{\sqrt{(2\zeta r)^2+(1-r^2)^2}} = T \quad (2.17)$$

Denklem (2.12)'de yay ve sönüm elemanı ile süspansiyonu sağlamış bir sisteme etki eden tahrik kuvvetinin ne kadarının zemineiletildiği ifade edilmektedir. Bu denklemde F_{top} / F yani 'T' kuvvet iletim oranı veya geçirgenlik olarak adlandırılmaktadır. Denklem (2.12)'ye ait grafik Şekil 1.4.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Kuvvet iletim oranı grafiği [20]

1.3. Çelik Halatlar

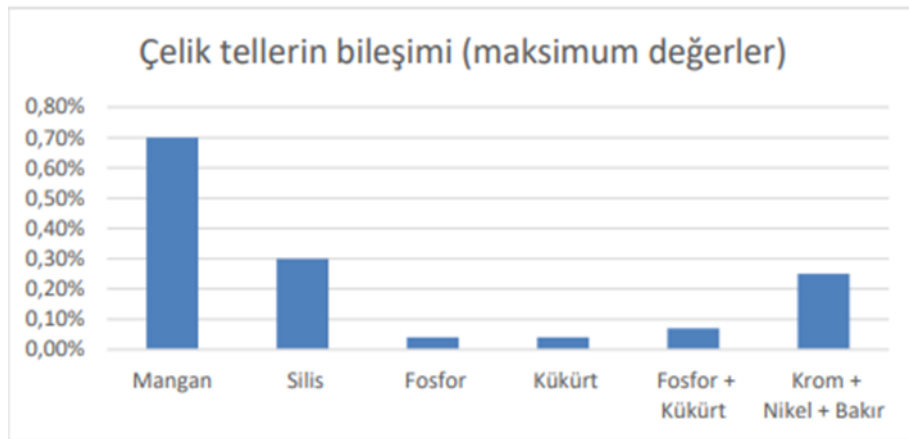
Çelik halatlar, bir çekirdek etrafında çeşitli tiplerde helisel olarak sarılmış olan demetlerin yine bir ana çekirdek etrafında sarılması ile elde edilmektedir. Aynı zamanda birden fazla sarım sayısına sahip çelik halatların ilk kullanımı 1834'de Almanya'da kömür madenlerinde yük taşıma maksadı ile kullanılması için A. Albert tarafından üretilmiştir [3]. Halatlarda birden fazla sarım türü uygulanmaktadır. Aynı zamanda çekirdek malzeme de isteğe göre değişkenlik göstermektedir. Çelik halatların yorulma dayanımları ve elastikiyetleri oldukça yüksektir. Yüksek elastikiyete sahip olmalarından dolayı oldukça iyi titreşim sönümleme kabiliyeti gösterirler. Aynı zamanda yüksek hızlarda dahi sessiz bir şekilde çalışmaları ise en önemli avantajları arasındadır. Halat cinsine bağlı olarak değişkenlik göstermesi göz önüne alınarak 220 derecede bile işlevlerini yerine getirebilmektedirler [4]. Bu durum

ÇHTİ'nin diğer sönüm elemanlarına göre tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Çelik halatların çapına, çekirdek türüne, çekirdek etrafındaki damar sayısına, her bir damarda bulunan tel sayısına ve son olarak sarım tipine bağlı olarak pek çok çeşidi bulunmaktadır. Halatlardaki sarım tipleri için ise sağ yönlü halatlar ve sol yönlü halatlar olmak üzere iki farklı kodlama kullanılmaktadır. Sağ yönlü halatlar için 'Z' harfi, sol yönlü halatlar için ise 'S' harfi kullanılmaktadır.



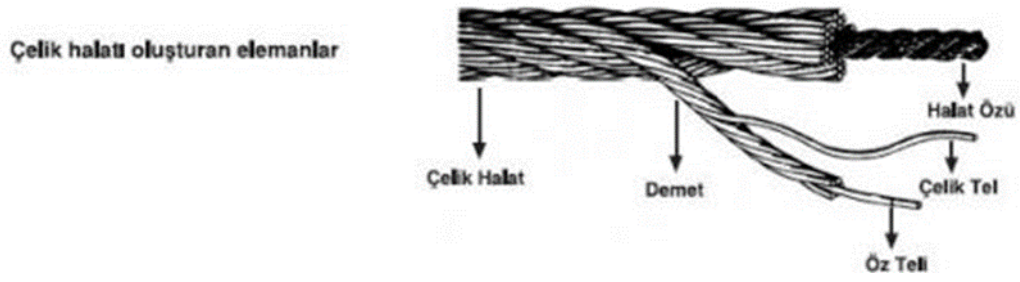
Şekil 1.5. Çelik halatların sarım tipleri ve gösterimleri

Genel anlamda bir çelik halatı oluşturan bileşik bilgisi aşağıdaki Şekil 1.6.'de gösterilmektedir [5].

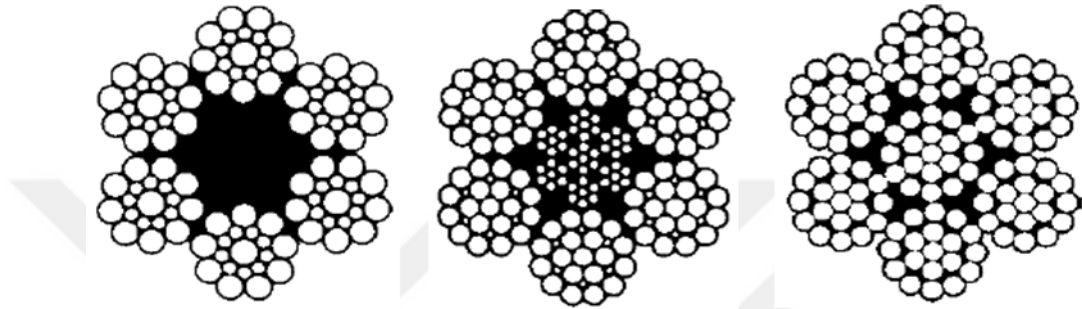


Şekil 1.6. Çelik halatı oluşturan tellerin genel alaşım elementleri ve yaklaşık yüzdesel oranları

Aşağıdaki Şekil 1.7. ve Şekil 1.8.'de ise halatı oluşturan bölümler ve çekirdek yapıları gösterilmektedir.



Şekil 1.7. Çelik halatı oluşturan kısımlar



Şekil 1.8. Çelik halatların çekirdek yapıları [26]

Bu tez çalışmasında ise manyetik sönümün daha iyi gözlemlenebilmesi amacı ile sürtünme sönümünün düşük olması açısından 3mm çapında ve 7 damara sahip ve her bir damarda 19 tel sarımı bulunan bir paslanmaz çelik halat tercih edilmiştir ve izolatörde kullanılmak üzere her bir halat 120 mm boyunda olacak şekilde kesilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan paslanmaz çelik 7x19S tipindeki halat Şekil 1.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 1.9. MSÇHTİ’de kullanılan 7x19S paslanmaz çelik halatlar

1.4. Çelik Halat Titreşim İzolatörleri

Deneyisel analizlerden önce birkaç konu göz önüne alınmalıdır. Kısım 1.4.1’de ÇHTİ’nin birkaç tipi ve bu izolatörlerin çalışma prensipleri ele alınmaktadır. Kısım 1.4.2’de ise bu ÇHTİ’nin uygulama alanları irdelenmektedir. ÇHTİ’de histerisizlik olayı gözlemlendiğinden dolayı kısım 1.4.4’de kısa bir şekilde ÇHTİ’de histerisizlik durumu ele alınmaktadır.

1.4.1. Çelik halat titreşim izolatörlerinin çeşitleri

ÇHTİ genel olarak iki metal tutucu arasında farklı çap ve sarım sayılarında olan halatların sıkıştırılması ile oluşturulan izolatör elemanlarıdır. Bu izolatörler ayrıca da metal kablo yayları veya çelik kablo yayları olarak da adlandırılmaktadırlar. ÇHTİ kaba bir şekilde helisel tip, polycal tip ve ring tip olmak üzere üç farklı türe ayrılabilirler. Sırasıyla bu izolatör tipleri Şekil 1.10.’da gösterilmektedir [27].



Şekil 1.10. (a) Helisel tip WR izolatörü, (b) Polycal tip WR izolatörü, (c) Ring tip WR izolatörü

Tüm WR izolatörlerinin tasarımlarında metal kullanılmasına rağmen, çalışma şartlarında halat telleri arasındaki ovalama ve kayma sürtünmelerinden dolayı iyi bir sönüm performansı göstermektedirler. WR izolatörlerinde kullanılan halatlar bir elastik ekipman olarak işlev gösterirler ve izolatör bu teller arasındaki doğal sürtünmeyi bir sönüm mekanizması olarak kullanır. WR izolatörleri hem ağır şok etkilerini zayıflatma hem de geniş bant titreşimlerini sönümleme özelliklerine sahiptirler. Ancak, bu izolatörler akustik izolasyon için uygun değildirler.

1.4.2. Çelik halat titreşim izolatörlerinin uygulama alanları

WR izolatörlerinin ana uygulama alanları genellikle deniz ortamında çalışan sistemlerdedir. Bir özel uygulama alanı ise çok amaçlı yüzen ya da kayan zemin uygulamasıdır Şekil 1.11. Çok amaçlı kayan zemin hem yatay hem de dikey yönde hareket eden WR izolatörleri tarafından desteklenen bir kayan zeminli sistemden meydana gelir. Bu vasıta ile su altı şok darbelerine karşı işletme odası ve içerisinde bulunan ekip korunmaktadır. Tüm bu tasarım gereklilikleri ISO 6954 standartlarına dayandırılmaktadır [2]. WR izolatörleri ayrıca da binalarda sismik koruma ekipmanları olarak da kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekillerde WR izolatörlerinin uygulama alanları gösterilmektedir.



Şekil 1.11. WR izolatörü kayan zemin uygulamaları

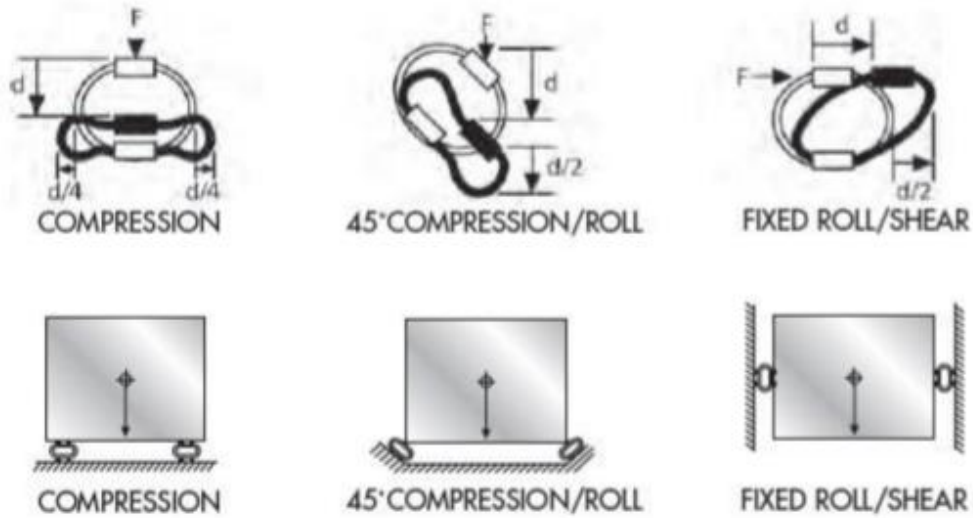


Şekil 1.12. Askeri amaçlı kullanım alanları

1.4.3. Çelik halat titreşim izolatörlerinin çalışma yönleri

WR izolatörleri farklı yükleme yönlerinde (ayrıca da mod olarak adlandırılan) kullanılabilir. Bu yükleme yönleri çekme-basma, yuvarlanma ve kesme olarak üç ana başlık altında incelenebilir. Şekil 1.13.'de WR izolatörünün yükleme yönleri gösterilmektedir. Yapılan çalışmalardan elde edilen verilere dayanarak WR izolatörlerinin farklı yükleme yönlerinde farklı karakteristiklere sahip olduğu gözlemlenmiştir [28]. Genel anlamda ÇHTİ çekme ve basma yönlerinde daha iyi bir titreşim yalıtımı sergilemektedirler. Ancak bununla birlikte çekme ve basma

durumlarında dahi çekme yönünde daha iyi sönüm karakteristiğine sahiptirler. Bu durum çekme sırasında izolatörde kullanılan çelik halatlarda oluşan sürtünme mekanizmasının daha fazla gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. Basma durumunda ise halatı oluşturan teller arasında bir ayrılma meydana gelmekte ve temas yüzeyleri azalmaktadır. Bu sebepten dolayı çekme yönünde farklı basma yönünde farklı karakteristiklere sahip olabilirler. Aynı zamanda ÇHTİ'nin burulma titreşimleri için de etkin bir şekilde kullanılabileceği açıktır. Ancak çekme ve basma durumunda meydana gelen halatı oluşturan teller arasında ki ayrılma daha fazla oluşacaktır. Halat sarım yönüne bağlı olarak bu yöne paralel yönde meydana gelen burulma titreşimlerini sönümlemede etkin bir şekilde kullanılmasına rağmen sarım yönüne ters olarak etki eden burulma titreşimlerinde ise halatın çözülmesi durumu meydana gelecektir. Bu durum ÇHTİ'ye halatların montajı esnasında yapılacak geometrik simetrikler ile ya da çeşitli ön gerilmeler vasıtası ile minimize edilebilir. Aynı zamanda burulma titreşimlerinde manyetik etkinin elektro mıknatıslar ile manyetik alan yönünü değiştirerek gerçek zamanlı bir şekilde kontrolü sağlanılabilir.

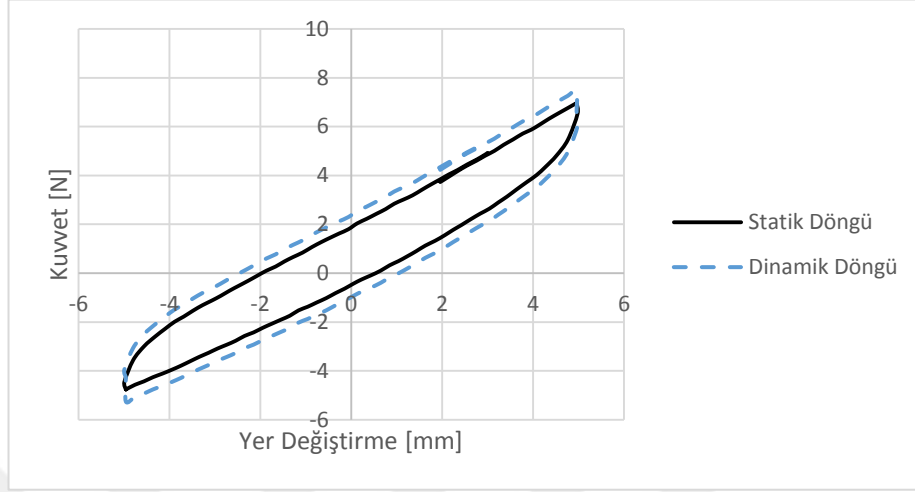


Şekil 1.13. WR izolatörleri yükleme yönleri

1.4.4. Çelik halat titreşim izolatörlerinde histerisizlik davranışı

Genel anlamda histerisizlik durumları birkaç sistemde meydana gelmektedir. Örnek olarak histerisizlik durumu WR izolatörleri gibi sürtünmeli sistemlerde, şekil hafızalı

alaşımlarda ve ferro manyetik sistemlerde meydana gelmektedir. Genel anlamda histerisizlikler sistemde enerji kaybına yol açarlar [29,30].



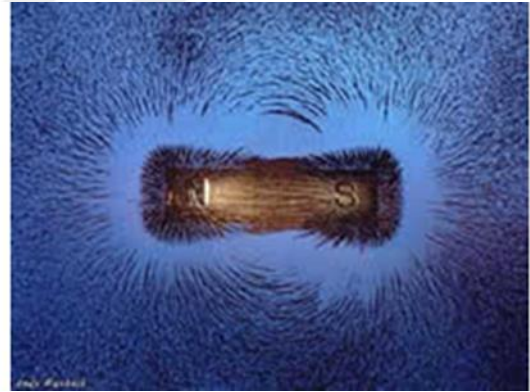
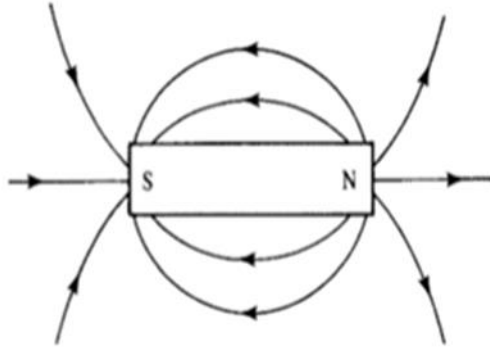
Şekil 1.14. WR izolatörünün statik ve dinamik şartlardaki histerisizlik döngüleri

Ancak bununla birlikte histerisizlikleri modellemekten önce sistemin özelliklerini tanımlamak önem arz etmektedir. Bu histerisizlik sistemlerin giriş $u(t)$ 'ye karşı çıkış $w(t)$ grafiğini çıkartarak mümkün olur. Bu histerisizlik sistem WR izolatörü olması durumunda $w(t)$ yay kuvvetini, $u(t)$ ise yer değiştirmeyi temsil eder. Bu girdi parametreleri tanımlandıktan sonra bir histerisizlik döngü oluşturulmaktadır. Bu histerisizlik döngüleri incelendiği zaman sisteme ait bazı özellikler elde edilebilir. WR izolatörünün dinamik davranışını modellemek için, teller arasındaki sürtünmeyi inceleyerek bir model geliştirmek mümkün olabilir. Bu yüzden fiziksel modeller için Wiek tarafından önerilen çelik halatlar hakkındaki teoremin geçerli bir zemin oluşturduğu önerilmektedir. Onun çalışmasında ise çelik halatların geometrisi üzerinde durulmuştur [31]. Halatlardaki tellerin eğriliğindeki değişimleri hesaplamak için bir model geliştirilmektedir. Halatın burkulması sonucu oluşan bu değişimler halatın bükülme kuvvetinden dolayı oluşan halat karakteristiğini açıkladığı için önem arz etmektedir. Bouc-Wen model bir histerisizlik sistemin periyodik hareketini inceleyen Bouc tarafından önerildi [32]. Daha sonra Wen hali hazırda olan modeli genelleştirdi ve modeli histerisizlik davranışı tanımlamak için daha kullanışlı bir model haline getirdi [33]. Wen analitik işlemlere izin veren kalıtsal geri getirici kuvvet modeli ortaya çıkardı. Bu anitilik model ise çok yönlü bir modeldir. Modelde uygun

seçimler vasıtasıyla sertleşme ve yumuşama kombinasyonlarında histerisizlik sistemlerin geniş bir çeşidi temsil edilebilir [34].

1.5. Mıknatıslar ve Manyetik Alan

Demir, nikel ve kobalt gibi elementleri çekme özelliği gösteren cisimlere mıknatıs denir. Mıknatıslarda aynı kutuplar birbirlerini itme özelliği gösterirken zıt kutuplar ise çekme özelliği göstermektedir. Mıknatıslar genel anlamda kuzey (N) ve güney (S) olmak üzere iki kutba sahiptirler. Mıknatıslarda itme ve çekme kuvvetlerinin en fazla olduğu yerler kutuplardır. Manyetik alan çizgileri ne kadar yoğun ise o mıknatısın manyetik alanı o kadar fazladır diyebiliriz. Manyetik alan çizgileri kuzey (N) kutbundan güney (S) kutbuna doğru hareket ederler.



Şekil 1.15. Manyetik alan kutupları ve manyetik alan çizgilerinin yönü

Manyetik alan çizgilerinin gözlemlenmesi, bir mıknatıs üzerine demir tozlarının koyulması ve demir tozlarının manyetik alan çizgileri doğrultusunda yönelmesi ile manyetik alan çizgilerinin oluşumu açıklanmaktadır. Manyetizmanın hikayesi insanoğlu tarafından bilinen ilk manyetik materyal olan magnetitc olarak adlandırılan (Fe_3O_4) bir mineral ile başlar. Ancak bu elementin demiri çekme gücü yaklaşık olarak 2500 yıl önce keşfedildi. Manyetizma üzerine bilinen ilk bilisel çalışmayı bir İngiliz olan William Gilbert (1540-1603) yaptı. Daha sonra manyetizma üzerine 1600 yılında bir kitap yayınladı [6]. William kitabında mıknatıs taşı ve demir mıknatıslar ile yaptığı deney ile dünyanın manyetik alanın var olduğuna dair kanıtlar ortaya koydu. İki mıknatıs arasındaki etkileşim kuvveti kutup şiddetleri ile doğru, aralarındaki uzaklığın

karesi ile ters orantılıdır. Bu durum Coulomb kanunu ile açıklanmaktadır. Daha sonra elektrik akımının manyetizma üzerine etkisi ele alındı ve elektro mıknatıslar keşfedildi. Tüm bu yapılan çalışmalar doğrultusunda günümüzde manyetizma birçok teknolojik cihazda etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Şekil 1.16.).



Şekil 1.16. Manyetizmanın kullanım alanları

Bu tez çalışmasında kullanılmak üzere piyasadan çapı 30mm iç delik çapı 5,5 mm ve kalınlığı 5 mm olan neodyum mıknatıslar alınmıştır. Daha sonra bu mıknatısların aynı kutuplarının birbirlerini itme karakteristiği göstermesinden yararlanılarak ÇHTİ'ne aynı kutuplu olacak şekilde montajı gerçekleştirilmiştir ve MÇHTİ elde edilmiştir. Bu kuvvet karşılıklı tutucular arasındaki yer değiştirme miktarının azalması ile birlikte azalma miktarının karesi ile orantılı bir şekilde artarak bir kuvvet gradyeni (değişimi) meydana gelmektedir. Bu durum denklem 1.1'de ifade edilmektedir. Bu sayede mıknatısların MÇHTİ'nin titreşim ve sönüm karakteristikleri üzerine nasıl bir etki gösterdiğini incelemek amaçlanmıştır.

Coulomb kanunu;

$$m_1, m_2, M_1, M_2$$

Kutup şiddetleri (Amper x metre)

$$r$$

Kutuplar arası uzaklık (metre)

$$k = 10^{-7}$$

Coulomb sabiti $\left(\frac{\text{Newton} \times \text{metre}^2}{(\text{amper} \times \text{metre})^2}\right)$

$$F$$

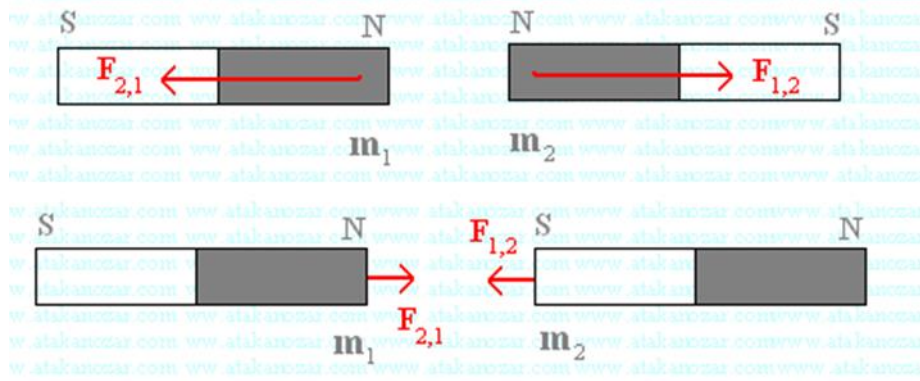
Mıknatıslar arası etkileşme kuvveti (Newton)

$$H$$

Manyetik alan (Tesla)

μ_0

Ortaman manyetik geçirgenliđi (Sabit)

Bořluk için, $\mu_0 = 4. \pi. 10^{-7}$ 

şekil 1.17. İki mıknatısın birbirine uyguladığı manyetik kuvvet

$$F = k. \frac{m_1.m_2}{r^2} [N] \quad (1.1)$$

$$H = \frac{M}{4\pi\mu_0 r^2} \left[\frac{T}{m^2} \right] \quad (1.2)$$

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik laboratuvarlarında piyasadan alınmış olan neodyum mıknatıslarının manyetik alan şiddeti teslametre vasıtası ile ölçülmüştür. Ölçülen manyetik alan şiddeti denklem 1.2’de yerine koyulup buradan mıknatısların kutup şiddetleri elde edilmiştir. Elde edilen kutup şiddeti ise denklem 1.1’de yerine konularak mıknatısların birbirlerine uyguladıkları itme kuvvetinin aralarındaki mesafe değişimine göre oluşan kuvvet gradyeni elde edilmiştir. Mıknatıslar karşılıklı olarak montajı gerçekleştirildiğın dolayı formülde elde edilen kuvvet 2 ile çarpılmıştır. Piyasadan alınan mıknatıslar şekil 1.18.’da gösterilmektedir.



Şekil 1.18. Piyasadan alınan neodyum mıknatıslar

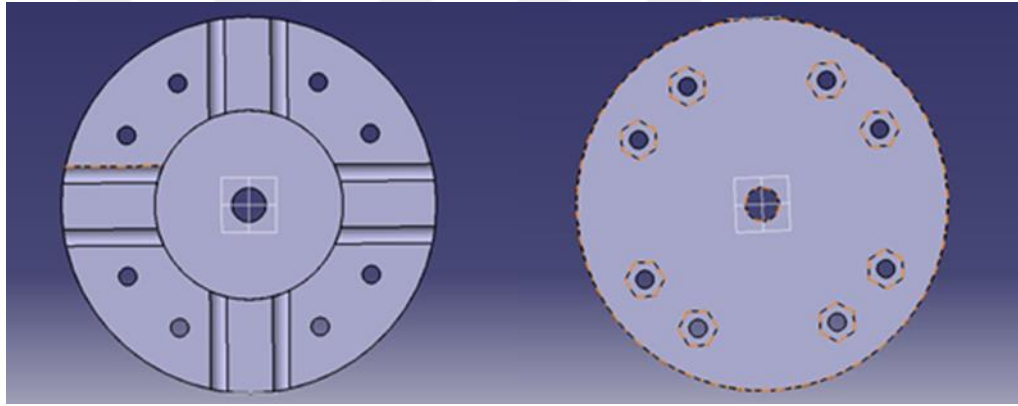
BÖLÜM 2. MSÇHTİ’NİN TASARIMI VE ÜRETİMİ

Bu tez çalışmasında ring tipi MSÇHTİ tercih edilmiştir ve tasarım da yapılan literatür taramasından ve çeşitli deneylerden elde edilen veriler doğrultusunda izolatörün 3D katı modelleri Catia katı modelleme programı kullanılarak oluşturulmuştur. Çeşitli model tasarımları yapılarak ve akabinde montaj işlemleri gerçekleştirilerek çeşitli ön incelemeler ve testler gerçekleştirilmiş olup en uygun nihai model belirlenmiştir. Daha sonra katı model olarak tasarımı yapılan tutucu plakalar Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan zaxe marka 3D yazıcı yardımı ile PLA malzemesi kullanılarak üretimleri gerçekleştirilmiştir. Tutucu plaka üretimleri tamamlandıktan sonra mıknatıs montajları için kontrolleri yapılarak iç piyasadan tedarik edilen 7x19 sarım sayısına sahip ve sağ sarım olan 3 mm çapında paslanmaz çelik olan halatların montajı yapılarak mıknatıssız, tek mıknatıslı, iki mıknatıslı ve üç mıknatıslı modeller olmak üzere toplam dört model oluşturulmuştur. Tüm bunlara ek olarak montaj aşamasında manyetik etkinin izolatör üzerine olan etkisinin etkili bir şekilde incelenmesi için tüm mıknatıslar eş merkezli olacak şekilde montajı gerçekleştirilmiştir. Mıknatıssız modelde alt plaka tam dolu, tek mıknatıslı modelde alt plakaya 2,5 mm mıknatıs çapında boşaltma, iki mıknatıslı modelde 5 mm ve üç mıknatıslı modelde 7,5 mm olmak üzere 30.2 mm boşaltma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra mıknatıssız, tek mıknatıslı ve iki mıknatıslı modellerde 2,5 ve 5 mm kalınlığa sahip 30 mm çapında besleme parçaları kullanılmıştır.

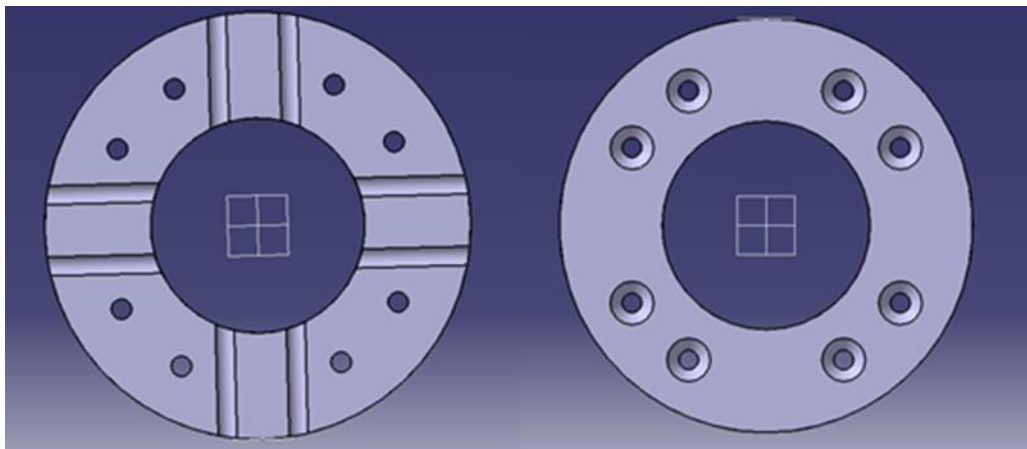
2.1. Plakaların 3D Katı Modeli

ÇHTİ’ ler için çeşitli tutucu plaka ve disk tasarımları yapılmaktadır. Tutucu plaka ve disk tasarımlarını etkileyen başlıca iki önemli etken bulunmaktadır. Birincisi, halat veya halatların montajının aksel ve birbirlerine göre simetrik olma durumudur. Eğer birinci şart sağlanmaz ise bir tahrik kuvveti altında simetrik bozukluk olan yön

doğrultusuna doğru bir kayma olacak ve diğer kollarda bulunan halatlardaki sürtünme sönümü mekanizması devre dışı kalarak izolatör kararsız bir sönüm davranışı gösterecektir. Bir diğer etken ise, tutucu plakalara halatların montajı yapıldığı zaman aktif çalışma şartlarında halatlarda bir çözülme meydana gelmemesi için gerekli olan ön gerilmenin sağlanabilmesi gerekmektedir. Seçilen ring tipi izolatör için katı modelleme yazılımı olan Catia yazılımı kullanılmıştır. Yapılan literatür taramasında ring tip izolatörlerin tüm çalışma yönlerinde hemen hemen aynı karakteristiği gösterdiğinden dolayı manyetik etkinin net bir şekilde incelenmesi adına ring tip izolatör tercih edilmiştir. Daha sonra çeşitli tasarımlar gerçekleştirilerek modelin uygunluğu test edilmiştir ve sonunda tez projesinde kullanılacak olan nihai model belirlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında kullanılacak olan modelin çeşitli görünüşleri aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.

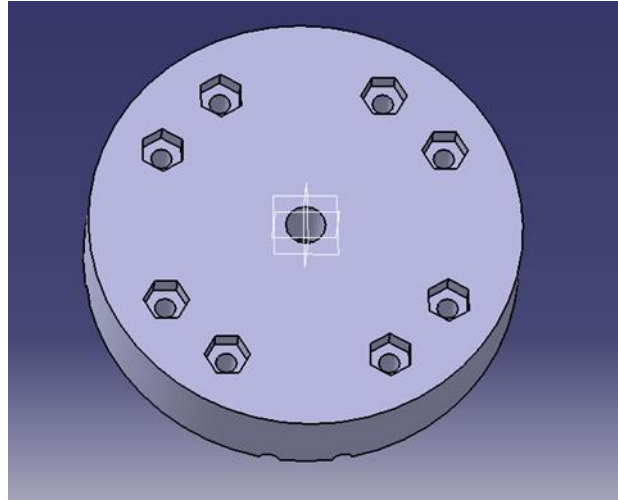


Şekil 2.1. Alt tutucu plakaların 3D modelleri



Şekil 2.2. Üst baskı plakalarının 3D modelleri

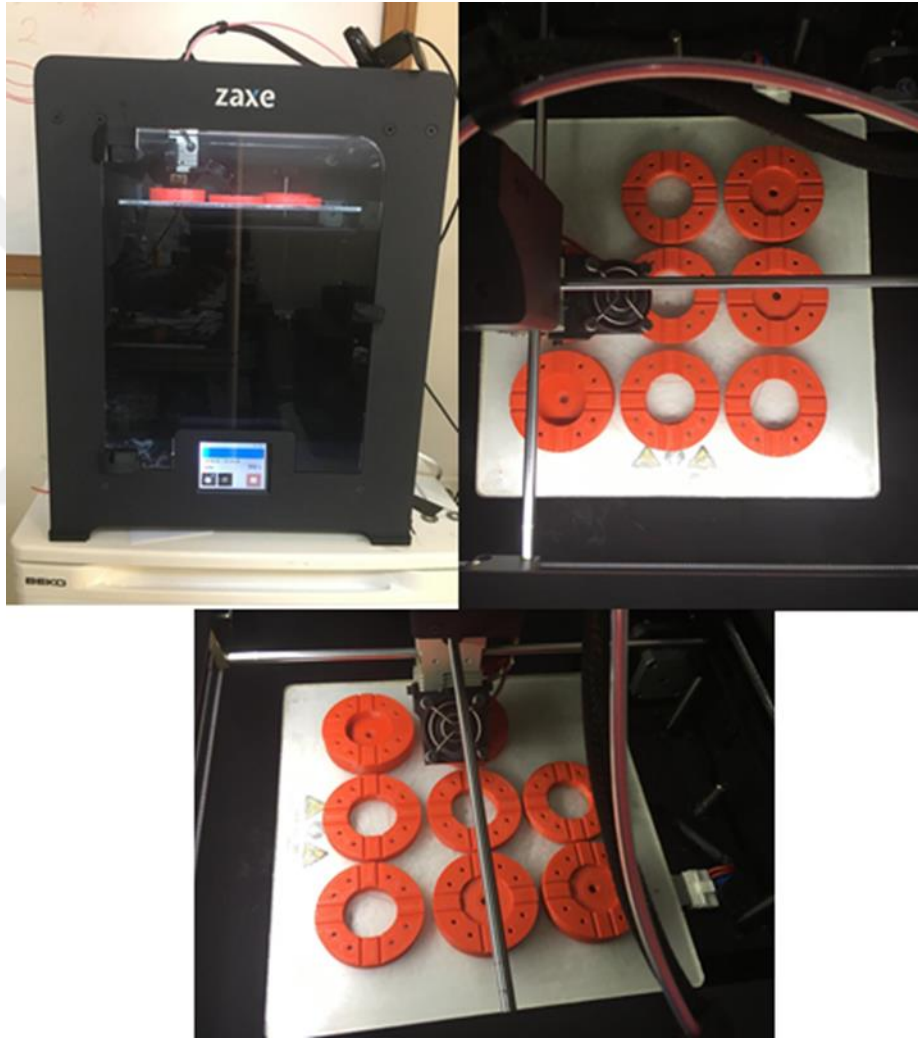
Modelde belirlenen dış çap 60mm, iç delik çapı 5mm, mıknatıs yuvaları 30.20mm, delikler ise M3 olarak tayin edildi. Son olarak, kanal çapları üretilen modellerden yararlanılarak halatlar üzerindeki minimum işletme basıncını karşılayacak şekilde optimum ölçü 2.75mm olarak belirlenmiştir. Tüm bu iyileştirmelerin yanı sıra izolatörde basıya çalışması sırasında meydana gelen alt tutucu plakanın üst tutucu plakaya göre belli bir açıda dönmesi halatların kanal içerisinde burulmaya zorlanması ve kanal çeperlerini aşındırması bununla birlikte izolatörün orta eksenine denk gelen halat kesitinde gerilme yığılmalarının meydana geldiği tespit edilmiştir. Tüm bu gözlemlenen problemlerin önüne geçmek ve izolatöre daha lineer bir karakteristik kazandırmak amacı ile alt tutucu plaka üst tutucu plakaya göre 45° döndürülmüştür. Böylelikle izolatöre bir helisel yapı kazandırılmış ve oluşan burulma hareketi ve meydana gelen halat dış yüzeyinde çekme iç yüzeyinde ise basma şeklinde olan gerilme yığılmaları minimuma indirilmiştir. Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi tutucu plakaların dış yüzeylerine altı köşe başlı M3 somun montajı yapılacak şekilde boşaltma işlemi yapılmıştır. Böylelikle yuvada somunun sabit kalarak plakalar arasında civatalar yardımı ile oluşturulmak istenen ön gerilme kolaylıkla sağlanabilmektedir.



Şekil 2.3. Alt plaka tabanlarında şekil bağı kuvvetinden faydalanmak için açılan altı köşe yuvalar

2.2. Tutucu Plakaların Üretimi

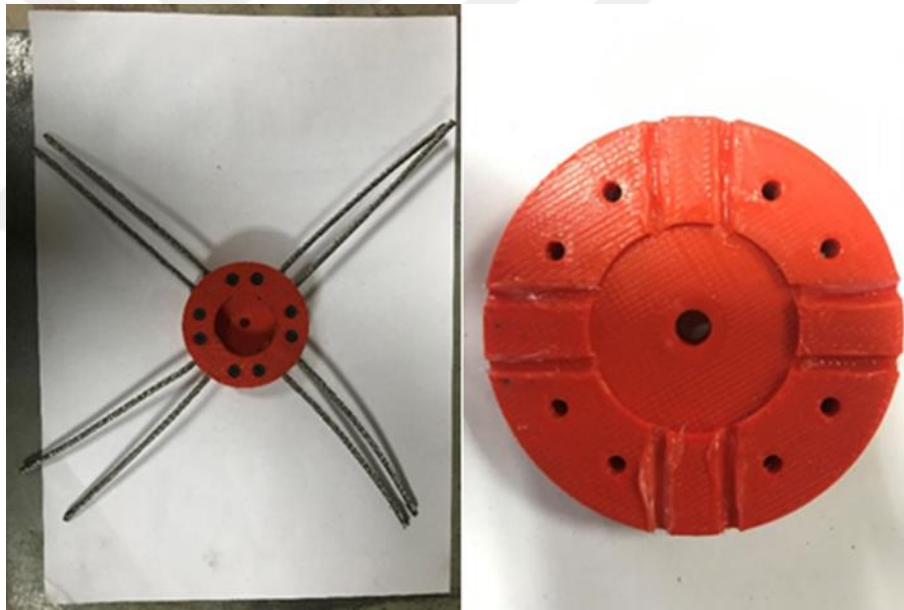
Bilgisayar ortamında katı model olarak tasarımı yapılan modeller Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan 0.3 mm nozul çapına ve 50x50 cm üretim tablasına sahip hassas 3D yazıcı ile PLA flement kullanılarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi yapılan modeller aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



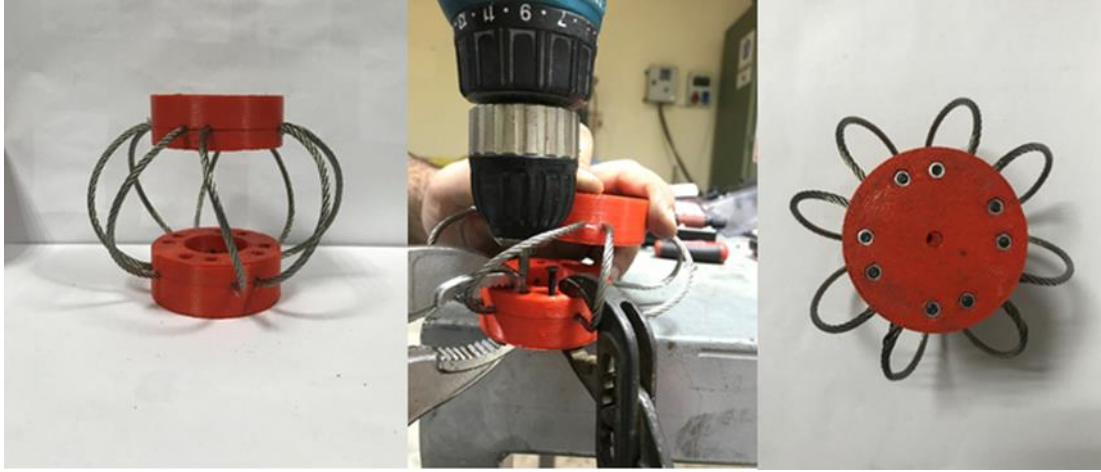
Şekil 2.4. MSÇHTİ'lerinin tutucu plakalarının 3D yazıcı ile üretimi

2.2.1. Çelik Halatların Montajı

3D yazıcı ile üretilen tutucu plakalara halatların montajı iki adet sıkıştırma aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda halatların montajı yapılırken halatın kanal çeperlerine tam tutunmasını sağlamak ve tutucu alt ve üst plaka arasındaki boşluklu yapıyı gidererek kanallarda tahrikten dolayı meydana gelecek tahrik kuvveti yığılmalarını gidermek için kanallara sıcak silikon takviyesi yapılmıştır. Sonuç olarak M3x20 havşa başlı imbus cıvata ile sağlanan plakalar arasındaki ön gerilmeye ek olarak silikon ile takviye yapılmış ve daha mukavim bir yapı elde edilmiştir. Sıcak silikonun elastik yapısından dolayı kanallarda meydana gelen titreşim kuvvetleri halat ve kanal çeperlerine hasar oluşturmaktan engellenmektedir. Halat montajları yapılmış modeller aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Halatların tutucu plakalara montajı



Şekil 2.6. Çelik halatların tutucu plakalara montajı ve nihai model

2.2.2. Neodyum Mıknatısların ve Besleme Parçalarının Montajı

Halatların montaj işlemi tamamlandıktan sonra izolatörlerin orta kısımlarındaki mıknatıs yuvalarında sıkıştırma basıncından dolayı kanallarda bulunan silikon malzemesi mıknatıs yuvalarına taşmıştır. Aynı zamanda halatlar arasındaki mesafe ve çap profil göz önüne alındığında halat uçlarının düzlemsel kesitten kaçıklığı fark edilmektedir. Bu durum mıknatısların yuvalarına sıkı geçme şartını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebepten dolayı mıknatıs yuvalarında küçük motorlu el zımparası kullanılarak çok ince bir şekilde yuvalardaki silikon kalıntıları ve halat kaçıklıklarını gidermek amacı ile aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi tesviye işlemi yapılmıştır. Daha sonra besleme parçalarının montajı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.7. Mıknatıs yuvalarının yüzey temizleme işlemi

Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra yarı- statik ve dinamik analizleri yapılacak olan nihai MÇHTİ modelleri elde edilmiştir. Elde edilen MÇHTİ nihai modeli aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



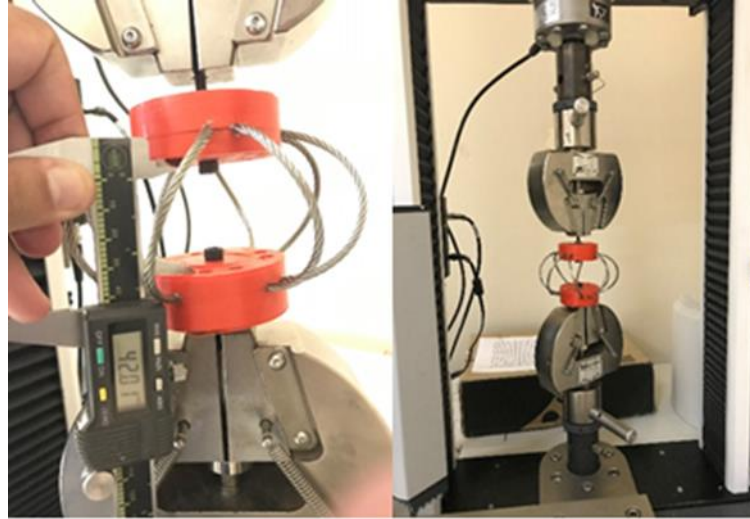
Şekil 2.8. Üretilen nihai MÇHTİ model

BÖLÜM 3. MSÇHTİ’NİN YARI STATİK TESTLERİ VE ANALİZLERİ

MSÇHTİ’nin yük altındaki karakteristiğini daha iyi gözlemlemek için yarı-statik deneylere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu deneyler yarı-statik yük çevrimleri uygulanarak gerçekleştirilmektedir. MSÇHTİ’nin nasıl bir karakteristik gösterdiği hakkında bilgi edinmek amacı ile bu testler boyunca farklı genlik değerlerinde testler yapılmaktadır [35,36]. Bu sebepten dolayı hem büyük hem de küçük genlikler uygulanarak testler gerçekleştirilmektedir. Testler toplamda mıknatıssız, tek mıknatıslı, iki mıknatıslı ve üç mıknatıslı model olmak üzere dört model kullanılarak yapılmaktadır. Yarı-statik testler yapılırken eş zamanlı olarak bir teslametre yardımı ile mıknatısların uyguladığı manyetik alan şiddetleri ölçülmüştür. Böylece testler sırasında alınan verilerin açık ve daha anlaşılabilir olması maksadı ile sırasıyla M0, M1, M2 ve M3 şeklinde modeller etiketlenmiştir.

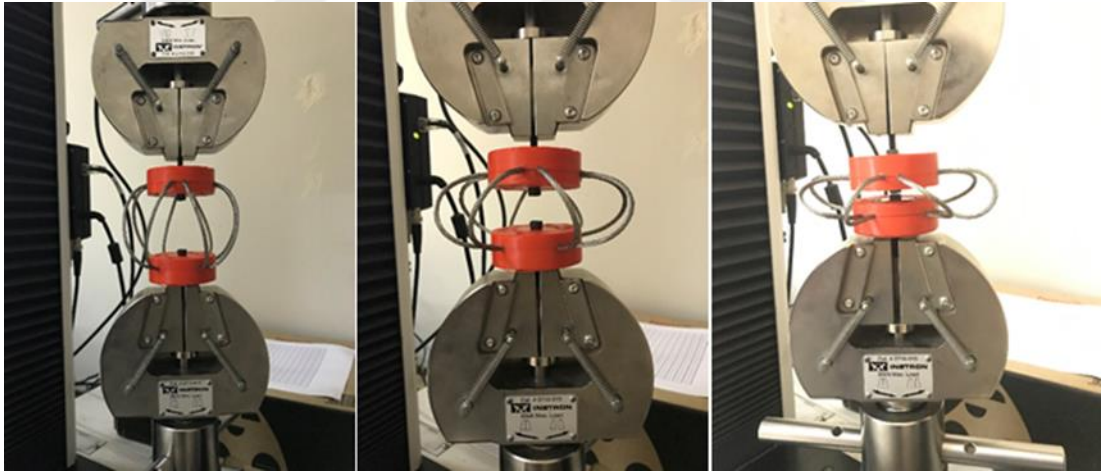
3.1. Yarı-Statik Deneyler İçin Test Düzenliğini

Yarı-statik deneyler Sakarya Üniversitesi envanterinde bulunan instron marka 30 kN’luk kapasitesi olan çekme-basma cihazında gerçekleştirilmiştir. MSÇHTİ’lerinin montajı cihaza M5 civatalar yardımı tutucu plakaların merkez noktasından cihazın çenelerine sabitlenmiştir. Modellerin test cihazına montajı Şekil 3.1.’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Yarı-statik deneyler için izolatörün cihaza bağlantısı

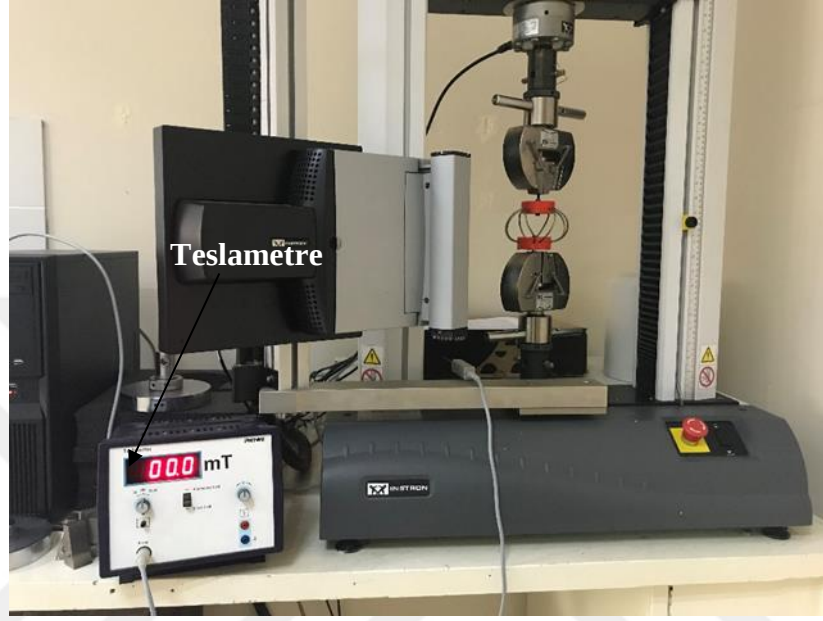
Daha sonra M0, M1, M2 ve M3 modeller için ayrı ayrı sabit ön gerilmede ve farklı hızlarda aynı zamanda değişken ön gerilme ve sabit hızlarda ve son olarak ön gerilmesiz ve sabit hızda yarı-statik deneyler gerçekleştirilmiştir.



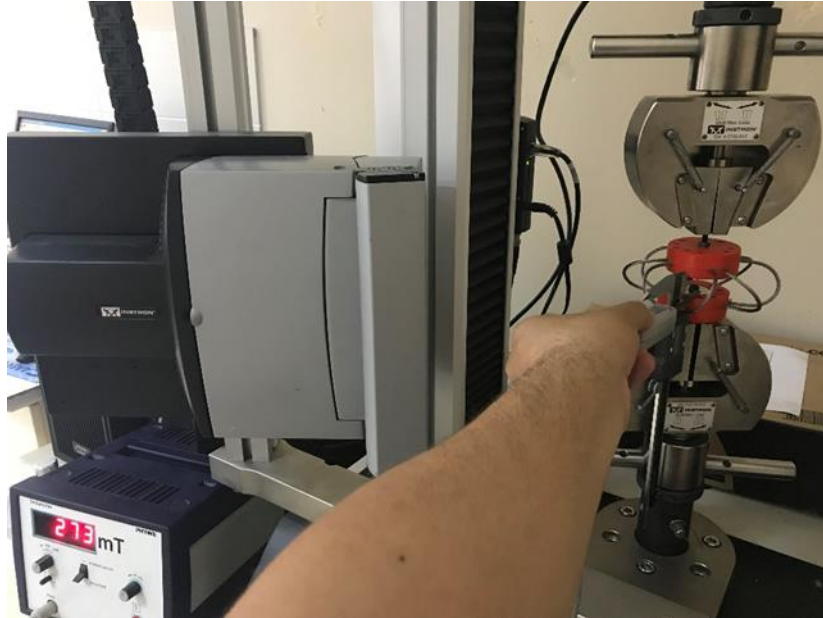
Şekil 3.2. Yarı-statik deneylerdeki MSÇHTİ'lerinin yükleme durumları

Aynı zamanda tüm modeller için statik denge konumu durumundaki çalışma aralığı 42 mm'dir. Sabit ön gerilme olarak 15 mm'lik bir deplasman uygulanmış ve 40, 80 ve 120 mm/dk hızlarda deneyler yapılmıştır. Daha sonra 5, 10 ve 15 mm ön deplasmanlarda 80 mm/dk sabit hızda deneyler yapılmış ve son olarak ön gerilmesiz olarak 5 ve 10 mm deplasman aralığında çekme basma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak tüm bu planlanan test adımları modeller üzerinde uygulanırken bir

teslametre yardımı ile mıknatıslı modellerde olmak üzere uyguladıkları manyetik alan şiddetleri ölçülmüştür. Modellerde kabul edilen çalışma hacmi aralığı olan 42 mm nin yarısı olan 21 mm referans alınarak ve bu 21 mm'lik aralık da ise her bir adım olarak belirlenen 3 mm de bir manyetik alan şiddeti ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.3. Yarı-statik test düzeneği ve teslametre



Şekil 3.4. Yarı-statik deneylerdeki manyetik alan ölçümü



Şekil 3.5. M3 modelinin yarı-statik deneylerdeki orta noktadaki manyetik alan şiddetinin ölçümü

Testler sırasında alınan kuvvet (F) ve manyetik alan (B) şiddetleri Tablo 3.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Tüm modellere ait yarı-statik testte elde edilen kuvvet ve manyetik alan şiddetleri

Modeller	21 mm	18 mm	15 mm	12 mm	9 mm	6 mm	3 mm	0 mm
M0	F=0 B=0	F=6.015 B=0	F=10.95 B=0	F=15 B=0	F=17.6 B=0	F=21.44 B=0	F=22.93 B=0	F=25.87 B=0
M1	F=0 B=6.8	F=4.73 B=7.7	F=8.5 B=9.5	F=11.5 B=13	F=14.55 B=19.4	F=17.2 B=36.4	F=19 B=85	F=22.4 B=96
M2	F=0 B=14.8	F=4.8 B=25.4	F=8.76 B=35.8	F=12.35 B=49.3	F=15.25 B=72.3	F=18.25 B=112	F=21.67 B=140	F=24.7 B=163
M3	F=0 B=25	F=5.7 B=30	F=11.06 B=36	F=15.44 B=59	F=19.2 B=80	F=23.4 B=150	F=27.2 B=210	F=35.7 B=273

Ölçümlerden alınan manyetik alan şiddeti mT (Militesla) ve kuvvet ise N (Newton) cinsinden elde edilmiştir. Elde edilen veriler manyetik alan şiddetti birimi olan amper/metre'ye dönüştürülmüştür. Elde edilen manyetik alan şiddeti denklem 3.1'de yerine konularak mıknatısların kutup şiddetleri elde edilmiştir.

$$H = \frac{p}{4\pi\mu_0 d^2} \text{ A/m} \quad (3.1)$$

$$0.001\text{T} = 795.7 \text{ A/m}$$

$$p = H4\pi\mu_0 d^2 \quad (3.2)$$

Daha sonra elde edilen kutup şiddetleri denklem 3.3'de yerine konularak uyguladıkları kuvvet elde edilmiştir. Bu işlemler tüm mıknatıslı modeller için tekrarlanmış ve kuvvet denkleminde aradaki mesafenin azalması ile teoride karesel bir şekilde artan manyetik kuvvet gradyeni elde edilmiştir. Ancak mıknatısların birbirlerine uyguladıkları kuvvetler deneysel olarak elde edilmiştir. Deneyde, hassas terazi üzerine sabitlenen mıknatısa aynı kutuplu olarak diğer mıknatısın aradaki mesafeye bağlı olarak uyguladığı kuvvet ölçülmüştür. Deneysel olarak elde edilen kuvvet değerleri Tablo 3.2.'de sunulmaktadır. İzolatör statik denge konumunda iken ara açıklık mesafesi 42 mm'dir. Bu sebepten dolayı bu mesafenin yarısı (21 mm) alınarak ve her bir 3 mm'lik adım için mıknatısların birbirlerine uygulamış olduğu kuvvet değerleri ölçülmüştür. Deneyde 21 mm'deki konumu statik denge konumudur ve bu konumdan her bir adımda 3 mm'lik bir yer değiştirme uygulanmıştır. Ancak, aktif çalışma koşullarında izolatör maksimum 20 mm'lik bir yer değiştirmeye maruz kalmaktadır.

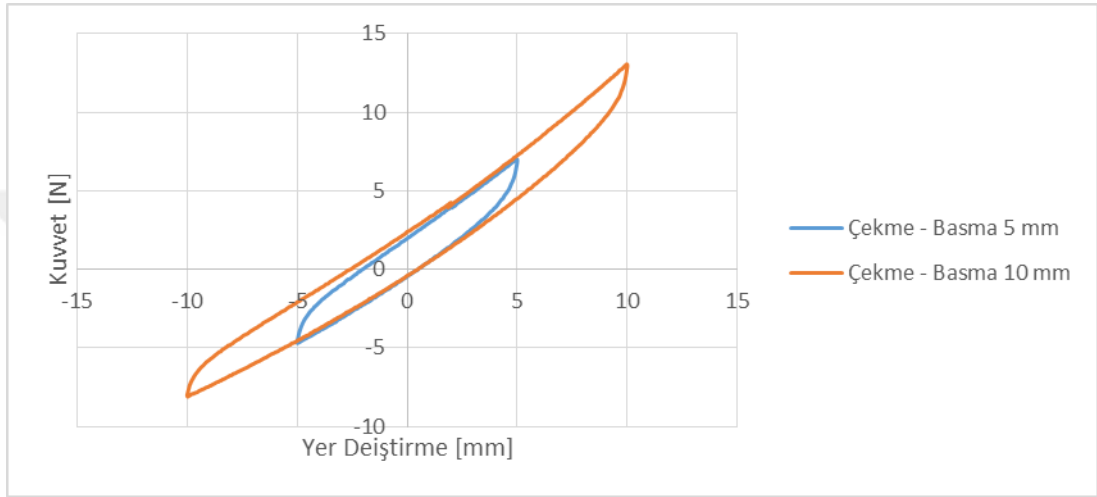
$$F = \frac{1}{4\pi\mu_0} \chi \frac{p_1 p_2}{d^2} \quad (3.3)$$

Tablo 3.2. Deneysel olarak elde edilen tüm modellere ait kuvvet değerleri [N]

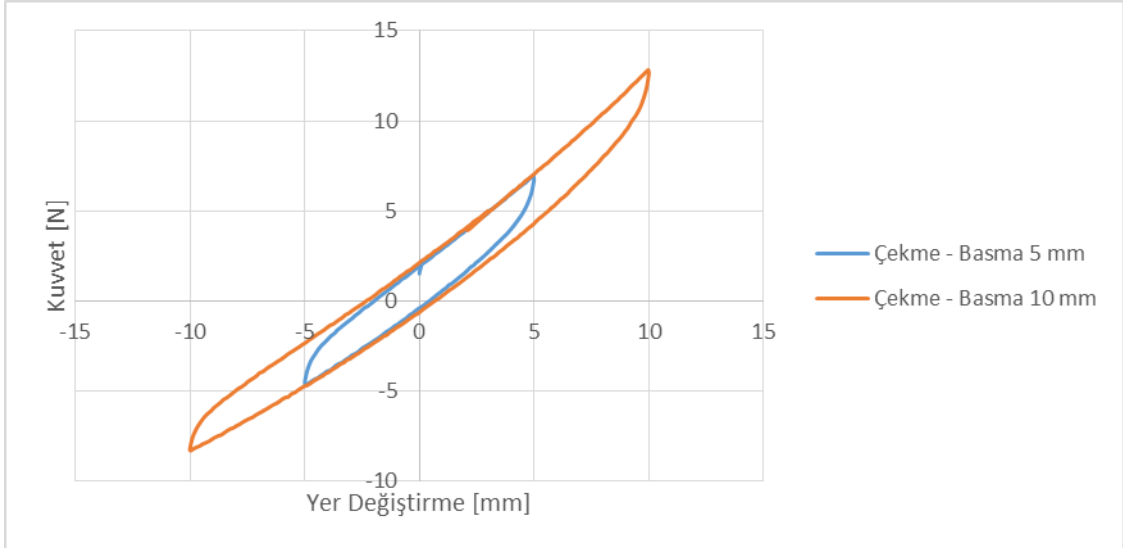
Modeller	21 mm	18 mm	15 mm	12 mm	9 mm	6 mm	3 mm
M0	F=0	F=0	F=0	F=0	F=0	F=0	F=0
M1	F=3,605	F=4,775	F=6,945	F=7,545	F=9,545	F=16,545	F=29,545
M2	F=15,28	F=23,28	F=29,28	F=32,96	F=41,38	F=70,85	F=125,58
M3	F=66,37	F=100,05	F=125,31	F=140,81	F=176,26	F=300,32	F=530,738

3.2. Yarı-Statik Testler

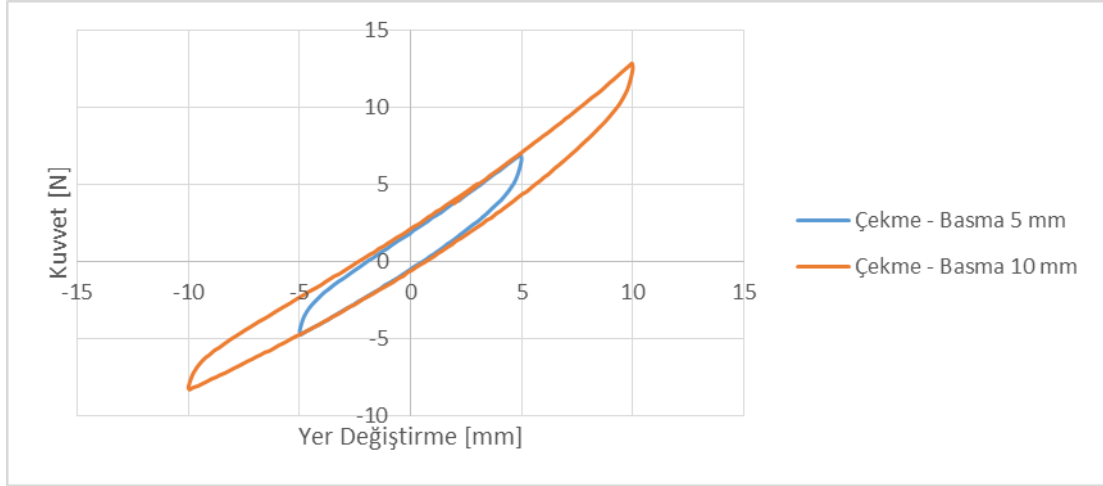
Bir önceki başlık altında izah edildiği gibi yarı-statik testler yerine getirilmiştir. Tüm modellere ait histerisizlik döngüleri elde edilmiştir. M0 modeline ait 40, 80 ve 120mm/dk hızlarda ve sabit 15mm ön yüklemdeki grafikler sırasıyla aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 3.6. M0 modelinin 40 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

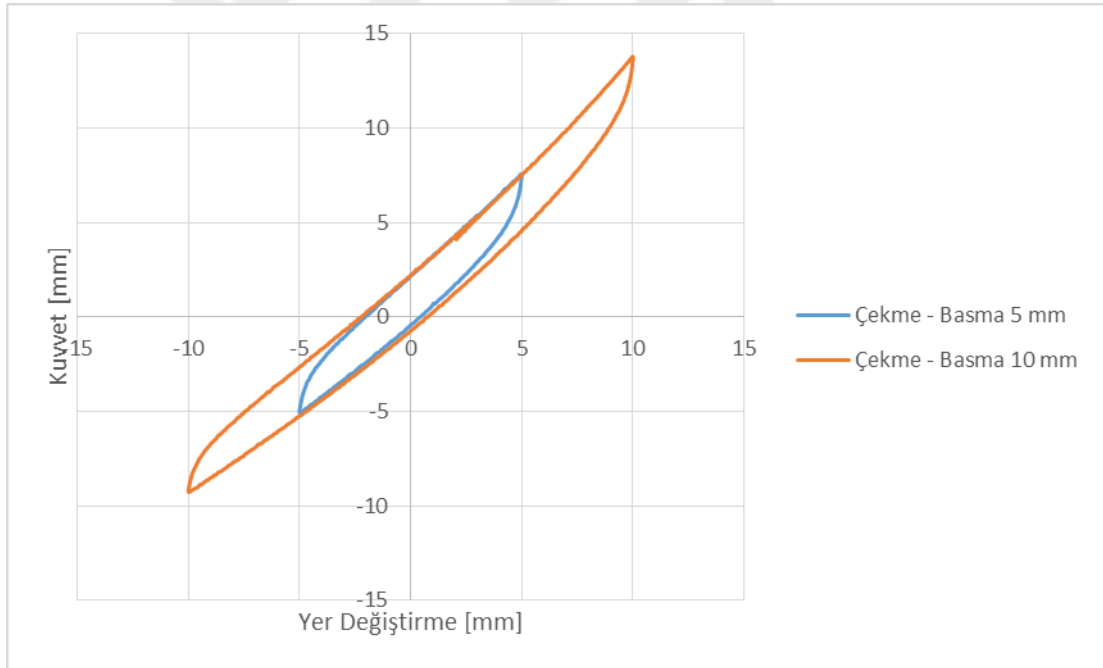


Şekil 3.7. M0 modelinin 80 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

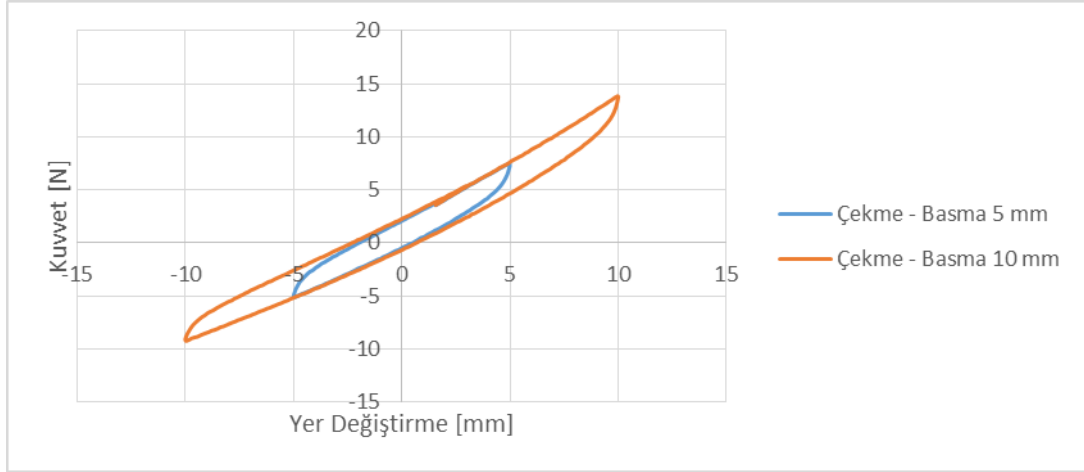


Şekil 3.8. M0 modelinin 120 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

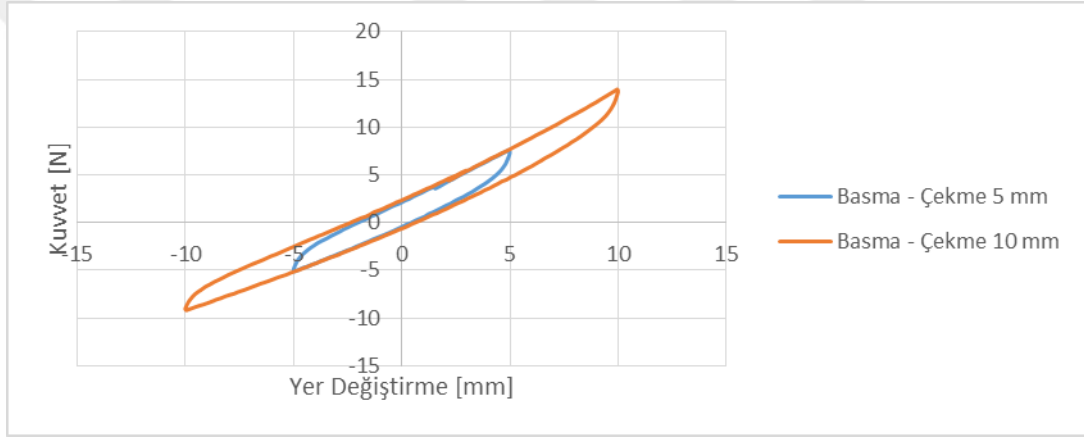
M1 modeline ait 40, 80 ve 120mm/dk hızlarda ve sabit 15mm ön yüklemedeki grafikler sırasıyla aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 3.9. M1 modelinin 40 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

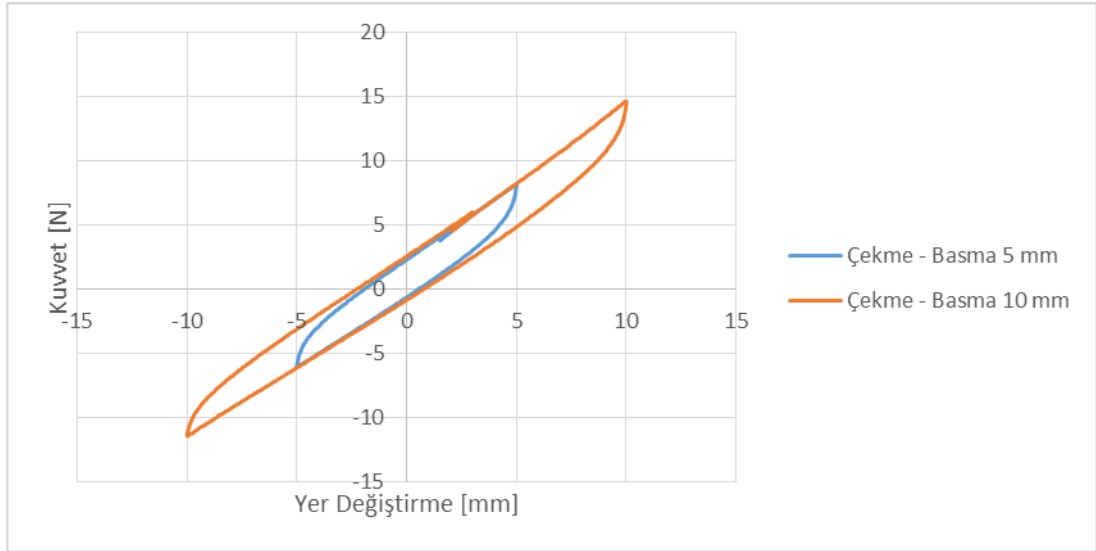


Şekil 3.10. M1 modelinin 80 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

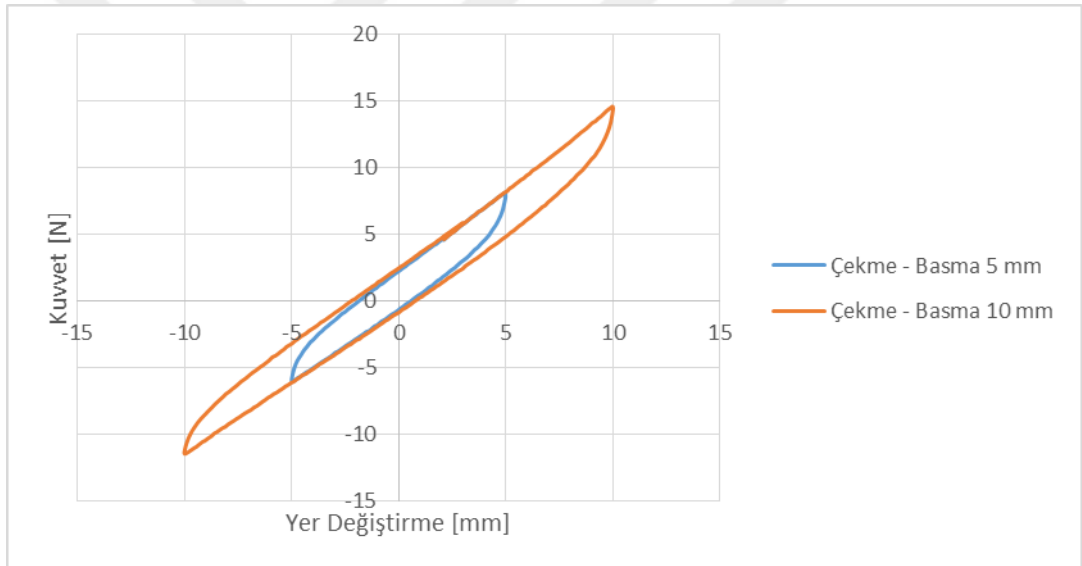


Şekil 3.11. M1 modelinin 120 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

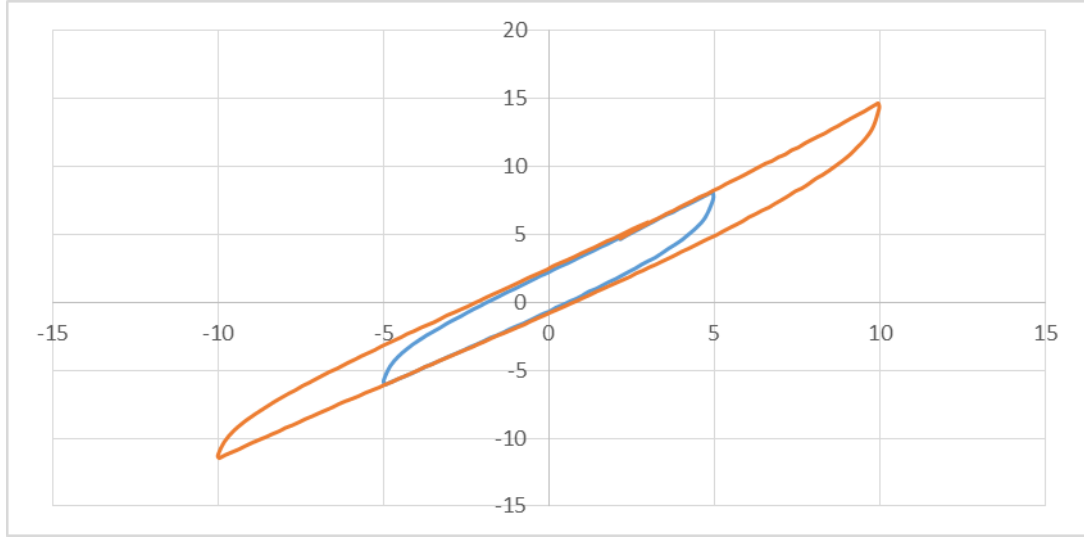
M2 modeline ait 40, 80 ve 120mm/dk hızlarda ve sabit 15mm ön yüklemedeki grafikler sırasıyla aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 3.12. M2 modelinin 40 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

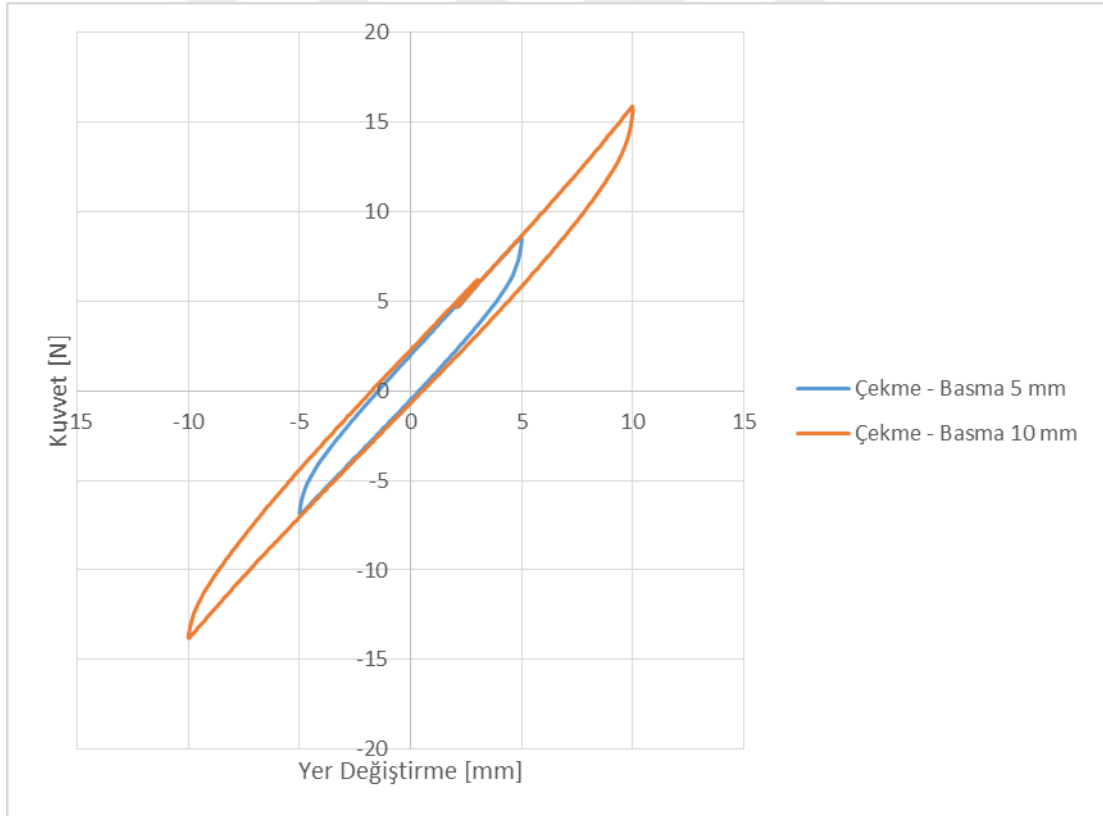


Şekil 3.13. M2 modelinin 80 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

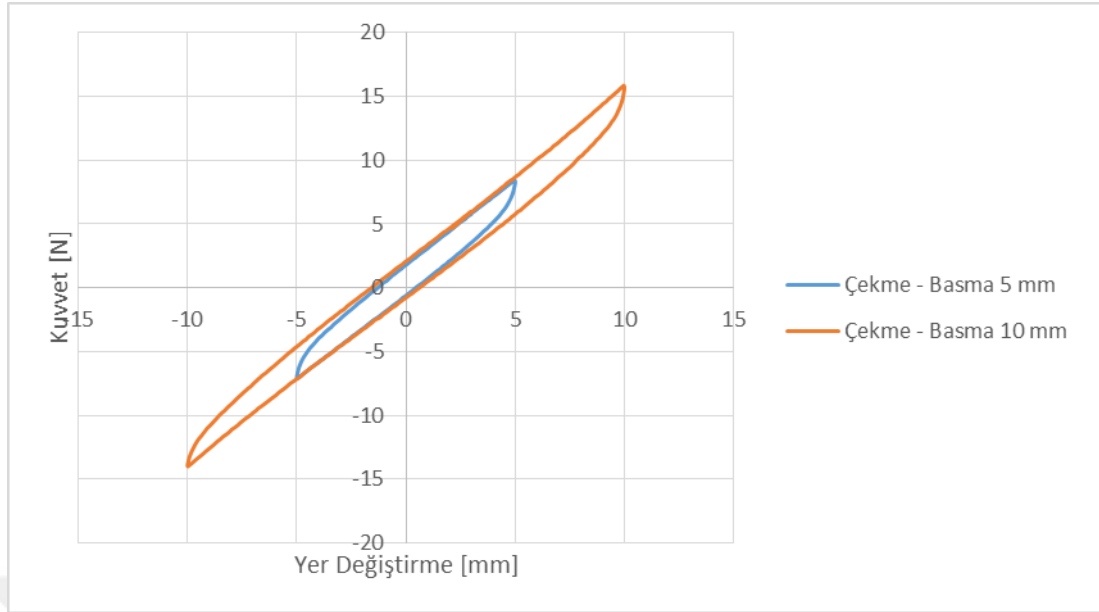


Şekil 3.14. M2 modelinin 120 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

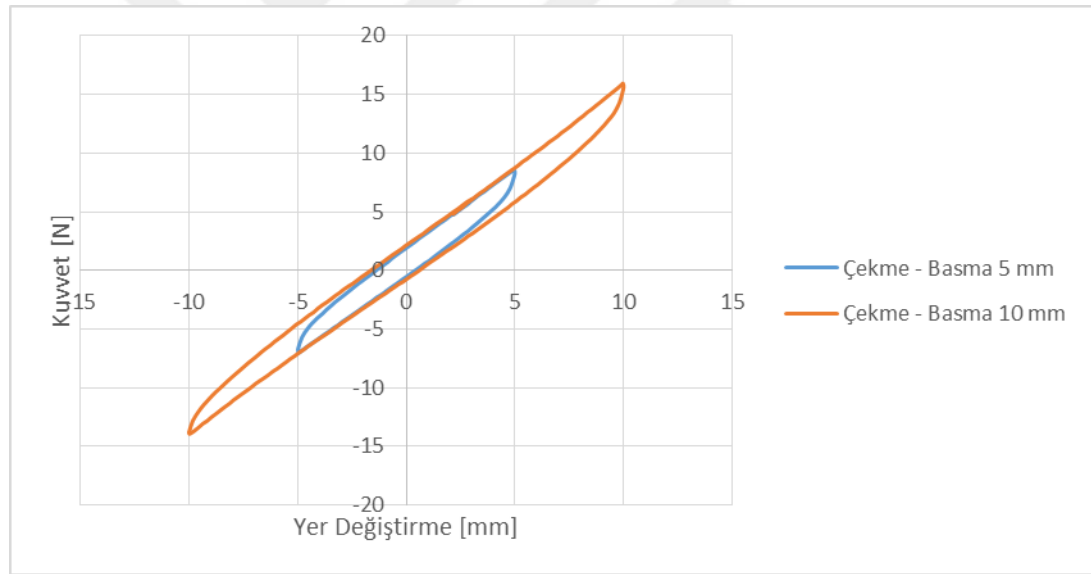
M3 modeline ait 40, 80 ve 120mm/dk hızlarda ve sabit 15mm ön yüklemedeki grafikler sırasıyla aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 3.15. M3 modelinin 40 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)



Şekil 3.16. M3 modelinin 80 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)



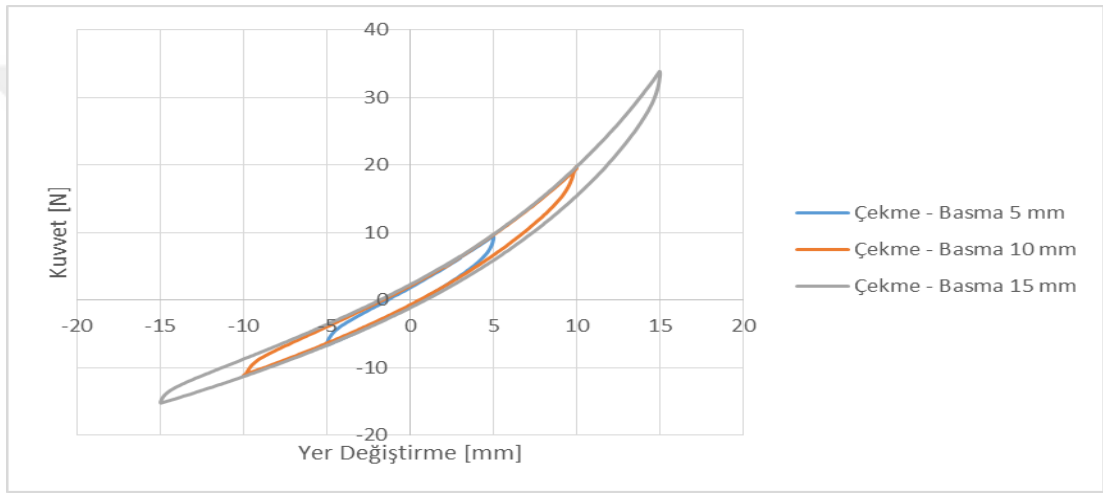
Şekil 3.17. M3 modelinin 120 mm/dk hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

Farklı hızlarda tüm modellere ait elde edilen kuvvet yer değiştirme eğrilerinden elde edilen k yay katsayıları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

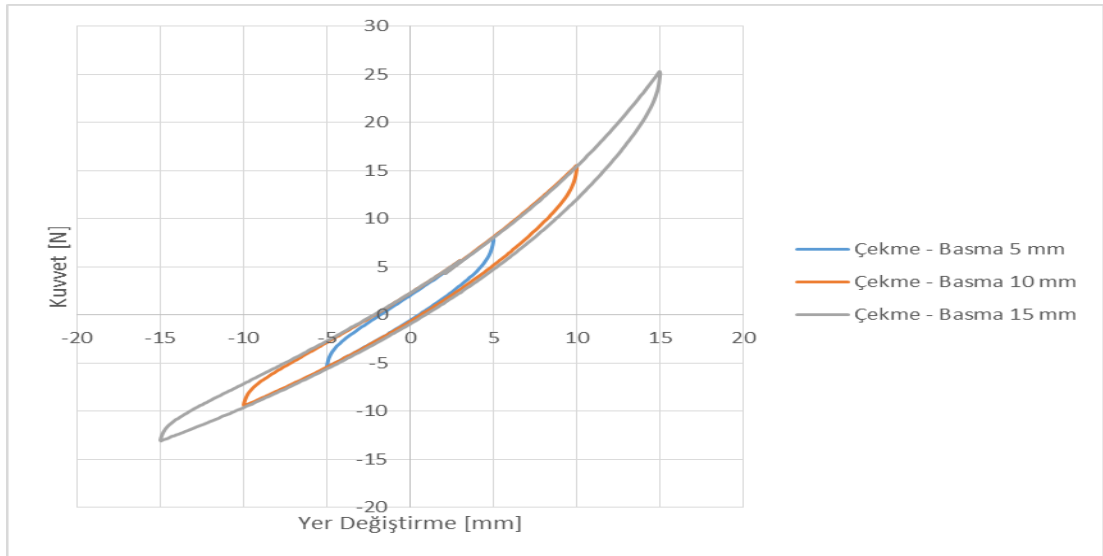
Tablo 3.3. Tüm modellere ait 40, 80 ve 120 mm/dk hızlardaki k [N/mm] yay katsayısı değerleri

	M0	M1	M2	M3
k [N/mm], 40mm/dk	1,5985	2,2400	2,5045	2,6400
k [N/mm], 80mm/dk	2,0908	2,3120	2,7296	2,8714
k [N/mm], 120mm/dk	2	2,28	2,5308	2,6300
$k_{ort.}$	1,8964	2,2773	2,5883	2,7138

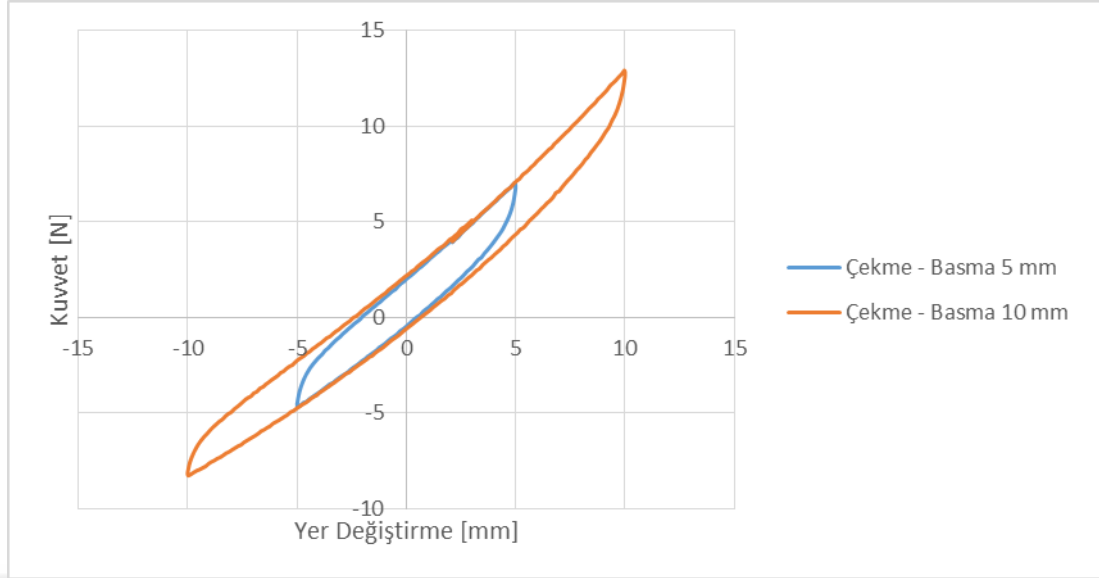
M0 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve 5, 10 ve 15mm ön gerilme durumlarına ait grafikler aşağıda sırasıyla verilmektedir.



Şekil 3.18. M0 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (5mm ön yükleme)

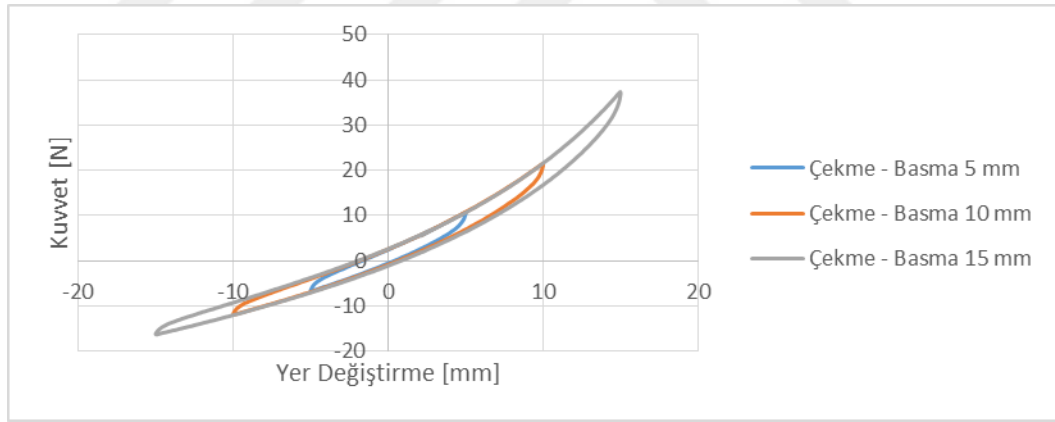


Şekil 3.19. M0 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (10mm ön yükleme)

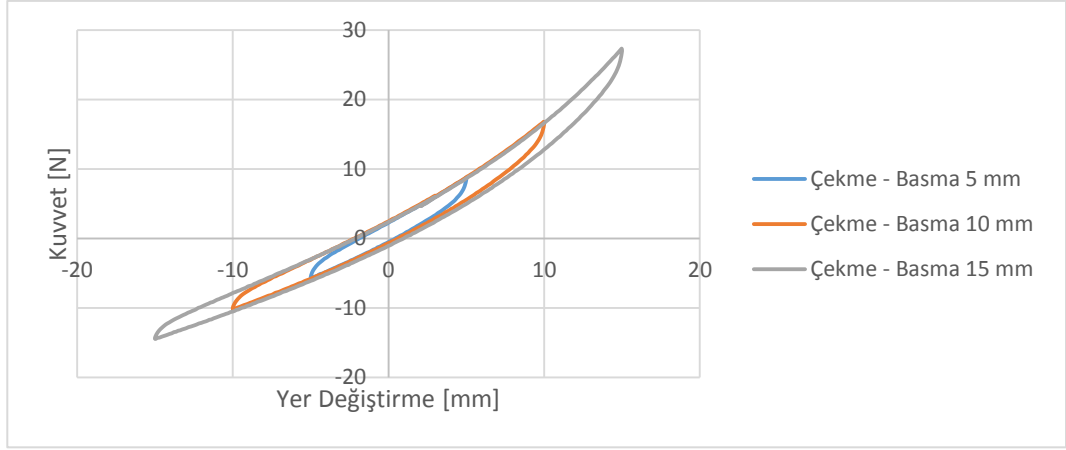


Şekil 3.20. M0 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

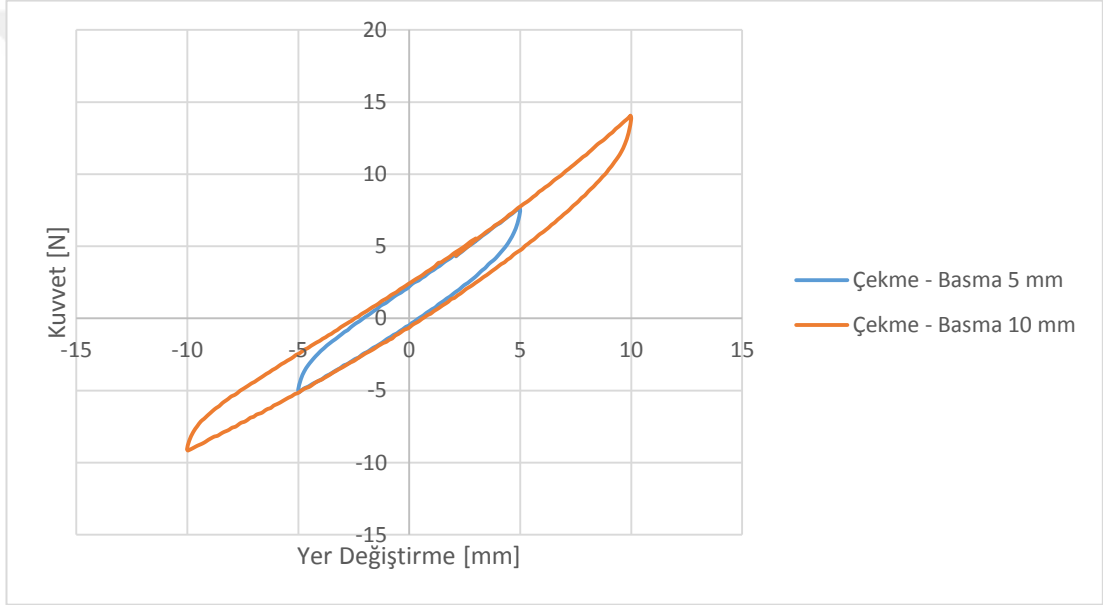
M1 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve 5, 10 ve 15mm ön gerilme durumlarına ait grafikler aşağıda sırasıyla verilmektedir.



Şekil 3.21. M1 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (5mm ön yükleme)

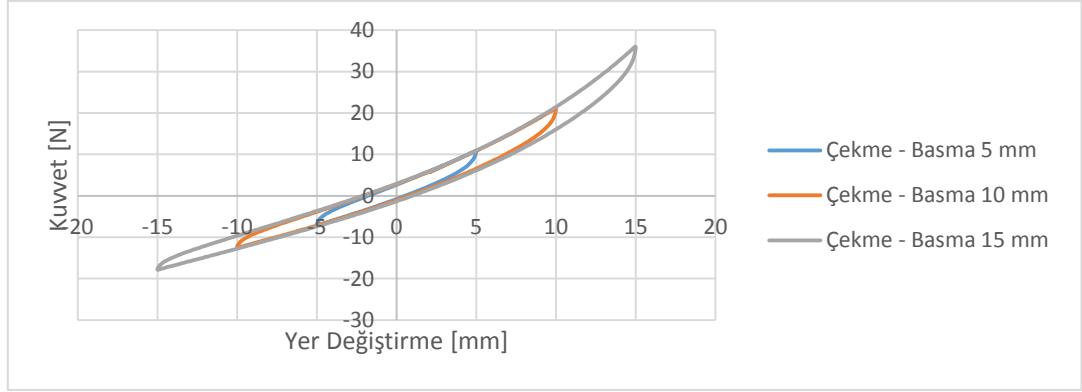


Şekil 3.22. M1 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (10mm ön yükleme)

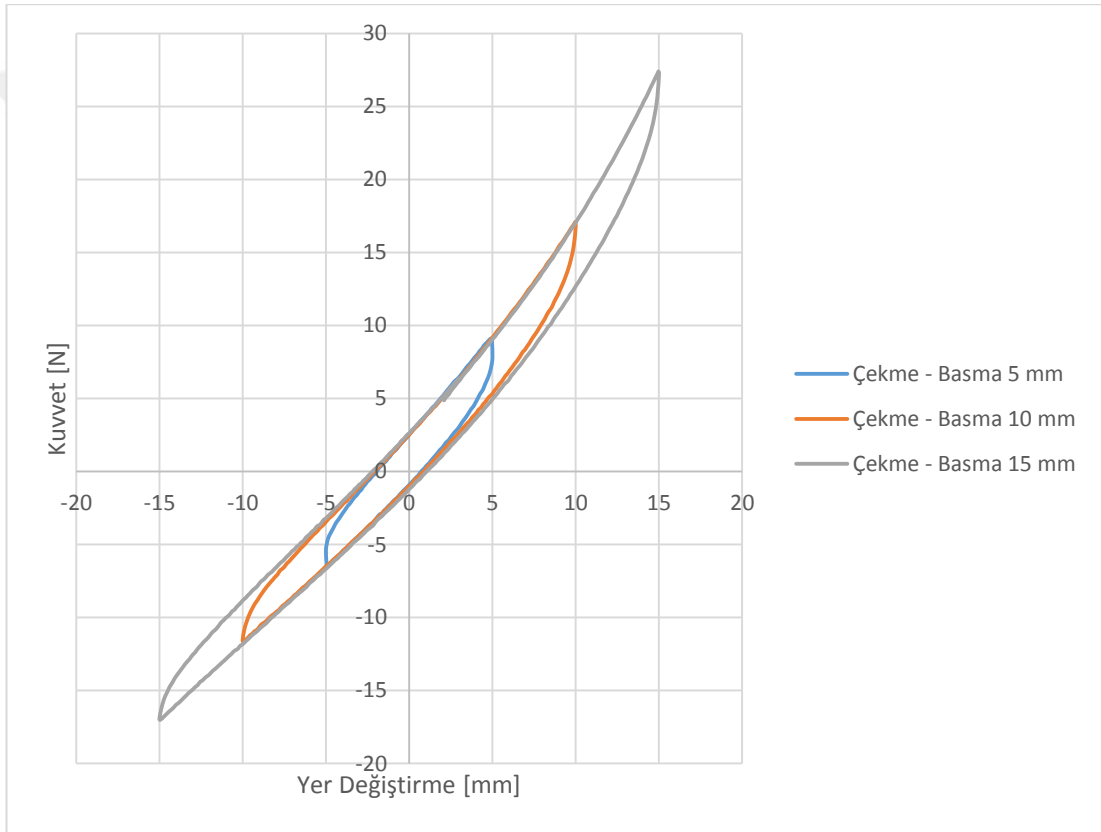


Şekil 3.23. M1 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

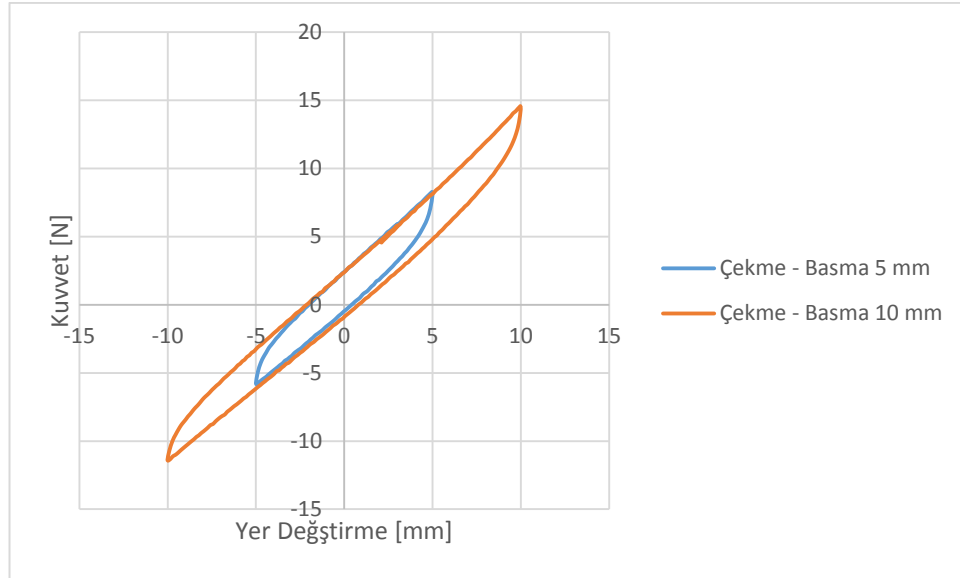
M2 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve 5, 10 ve 15mm ön gerilme durumlarına ait grafikler aşağıda sırasıyla verilmektedir.



Şekil 3.24. M2 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (5mm ön yükleme)

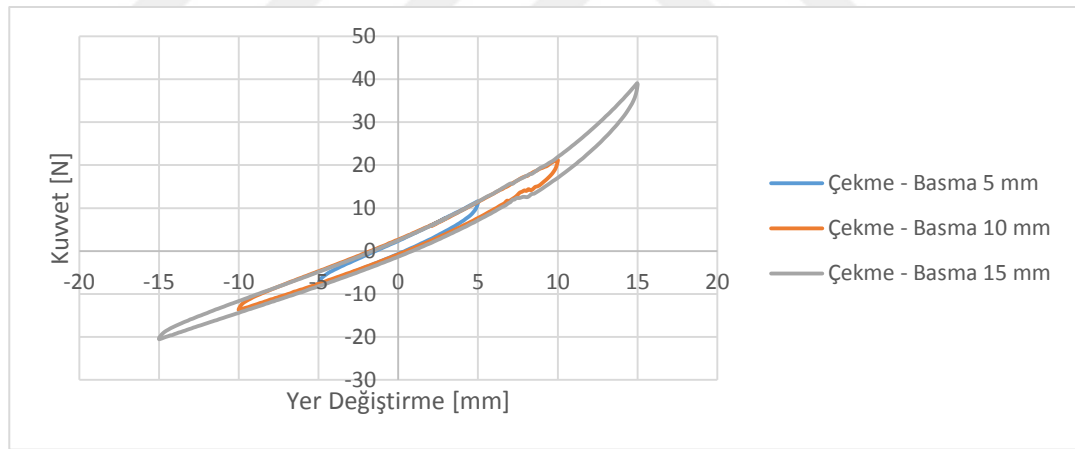


Şekil 3.25. M2 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (10mm ön yükleme)

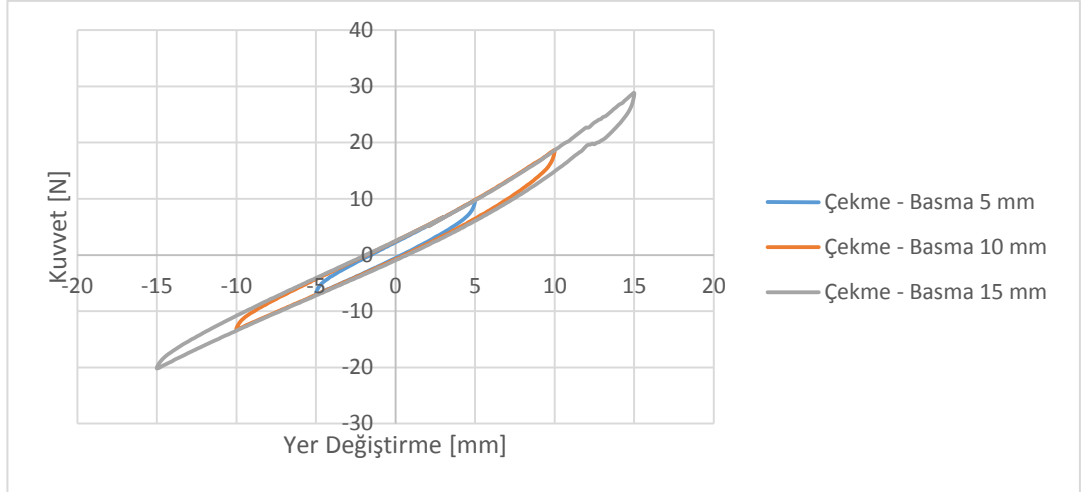


Şekil 3.26. M2 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

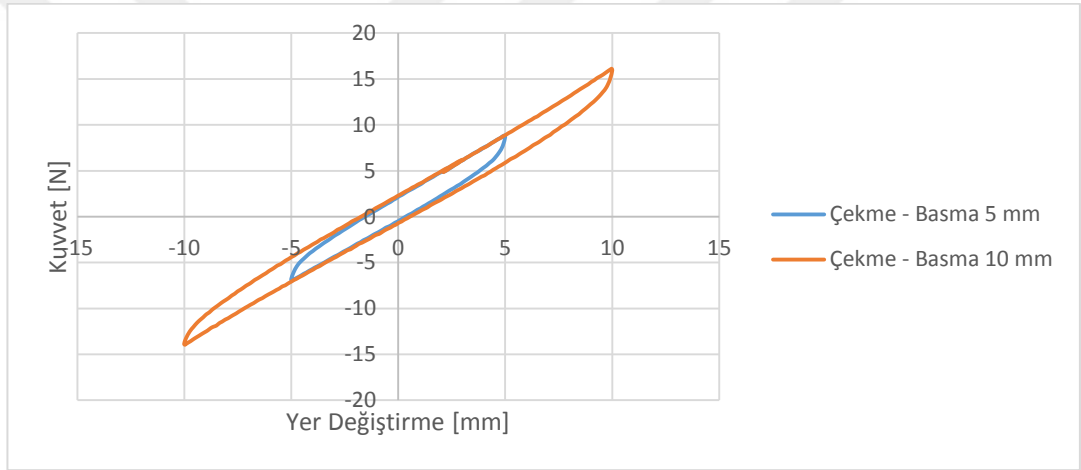
M3 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve 5, 10 ve 15mm ön gerilme durumlarına ait grafikler aşağıda sırasıyla verilmektedir.



Şekil 3.27. M3 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (5mm ön yükleme)

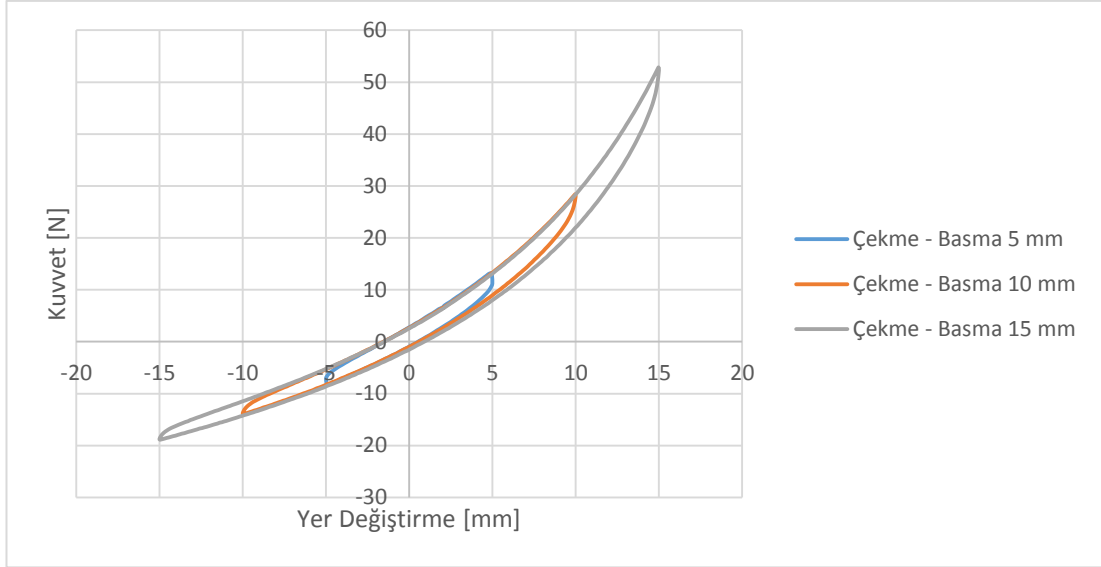


Şekil 3.28. M3 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (10mm ön yükleme)

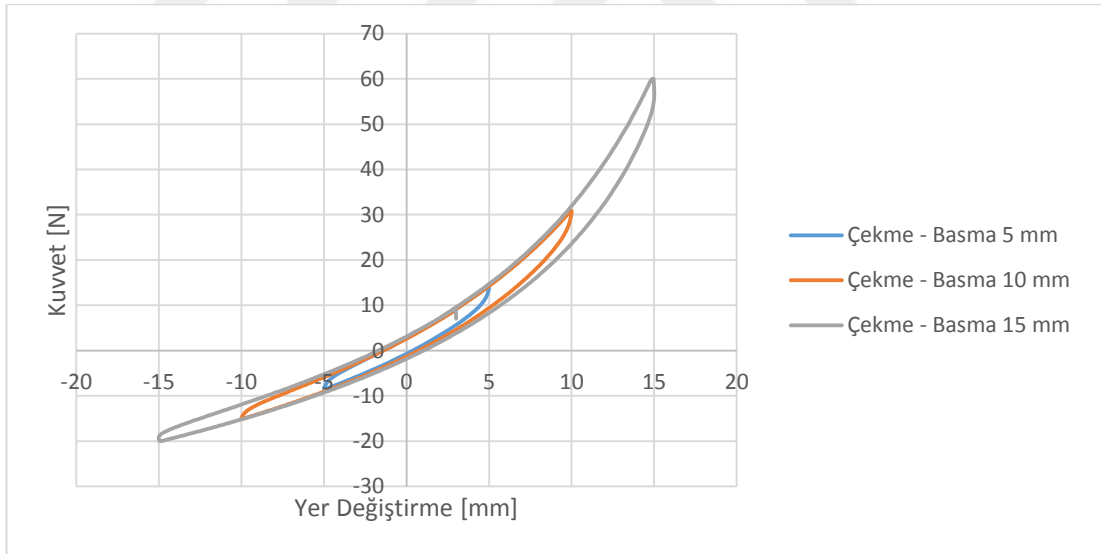


Şekil 3.29. M3 modeline ait 80mm/dk sabit hızdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi (15mm ön yükleme)

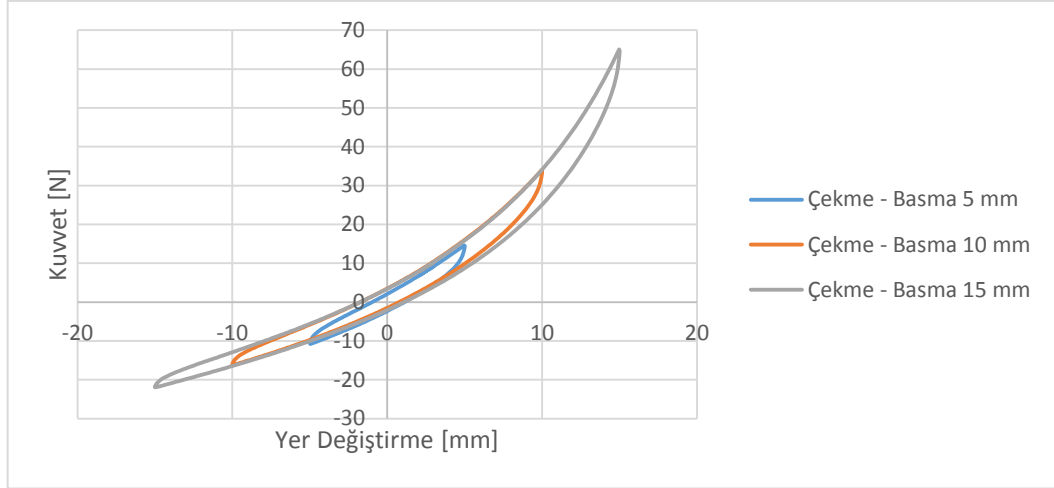
M0 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve ön gerilmesiz durumda 5, 10 ve 15 mm deplasmanlarda gerçekleştirilen testlere ait grafikler aşağıda sırasıyla verilmektedir.



M1 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve ön gerilmesiz durumda 5, 10 ve 15 mm deplasmanlarda gerçekleştirilen testlere ait grafikler aşağıda sırasıyla verilmektedir.

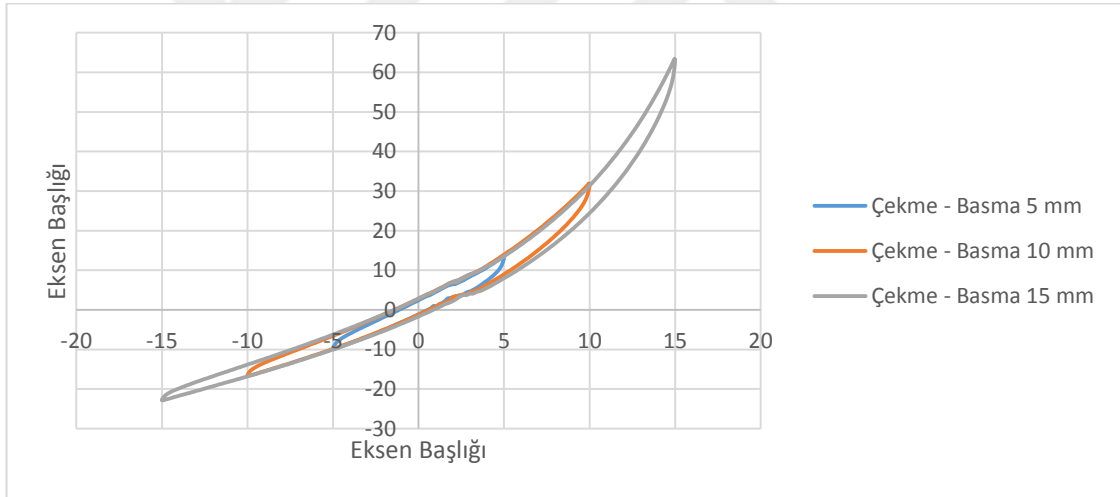


M2 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve ön gerilmesiz durumda 5, 10 ve 15 mm deplasmanlarda gerçekleştirilen testlere ait grafikler aşağıda sırasıyla verilmektedir.



Şekil 3.32. M2 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve ön gerilmesiz durumdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi

M3 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve ön gerilmesiz durumda 5, 10 ve 15 mm deplasmanlarda gerçekleştirilen testlere ait grafikler aşağıda sırasıyla verilmektedir.

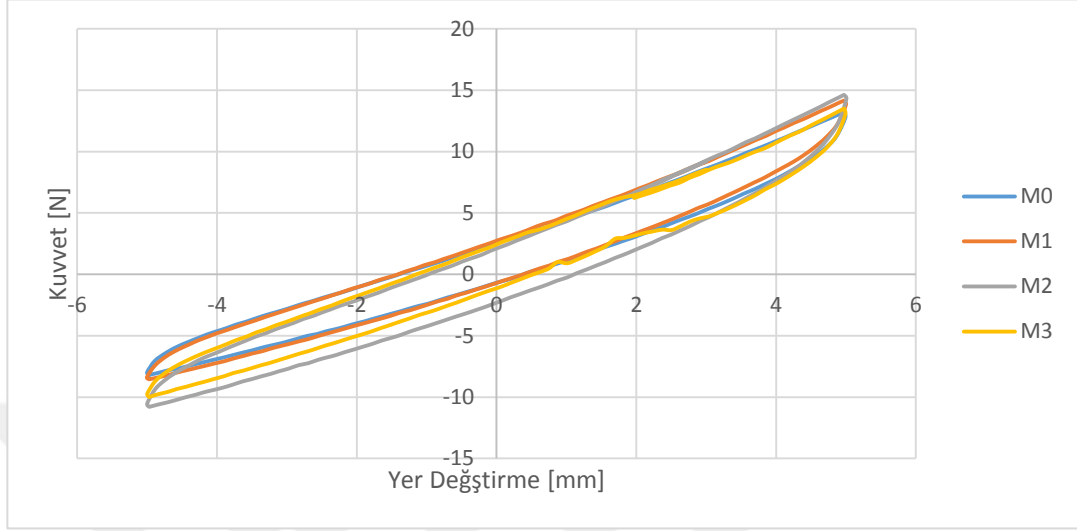


Şekil 3.33. M3 modeline ait sabit 80mm/dk hız ve ön gerilmesiz durumdaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi

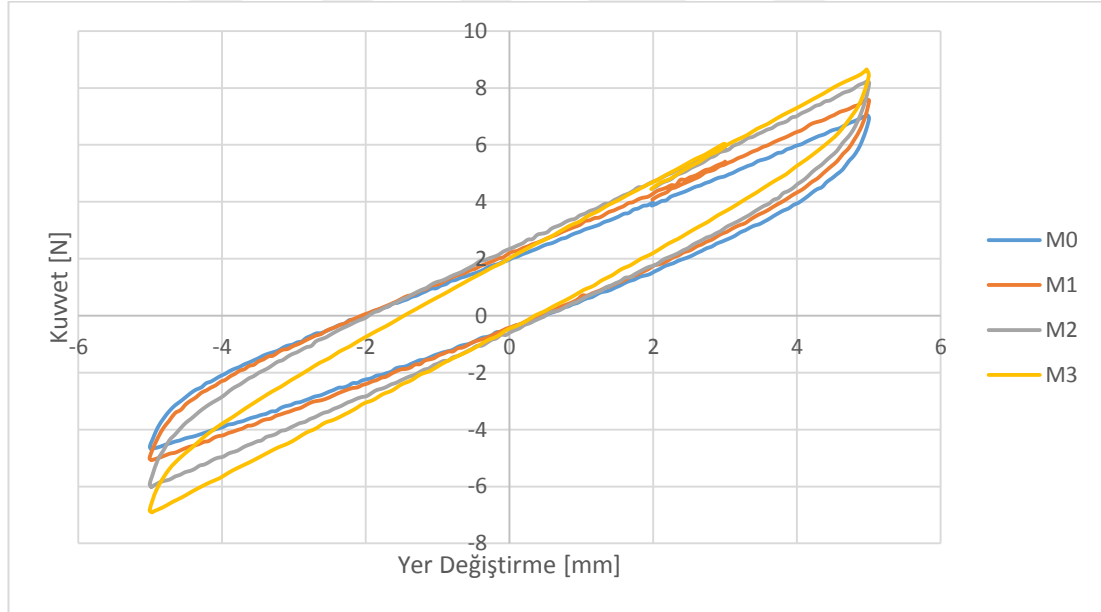
Modellere ait kuvvet-yer değiştirme eğrilerinden alınan veriler ile tüm modellere ait yay katsayıları hesaplanmıştır. Yay katsayıları kuvvetin yer değiştirme miktarına oranından elde edilmiştir. Modellere ait k yay katsayıları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 3.4. Tüm modellere ait sabit hız (80 mm/dk) ve ön gerilmesiz durumlardaki k [N/mm] yay katsayısı değerleri

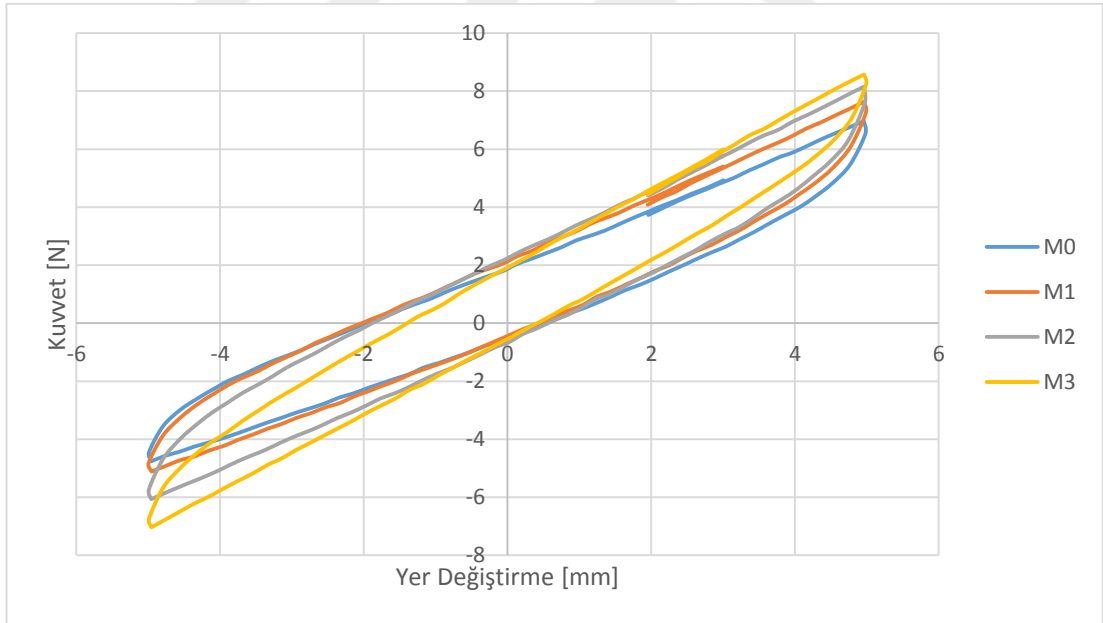
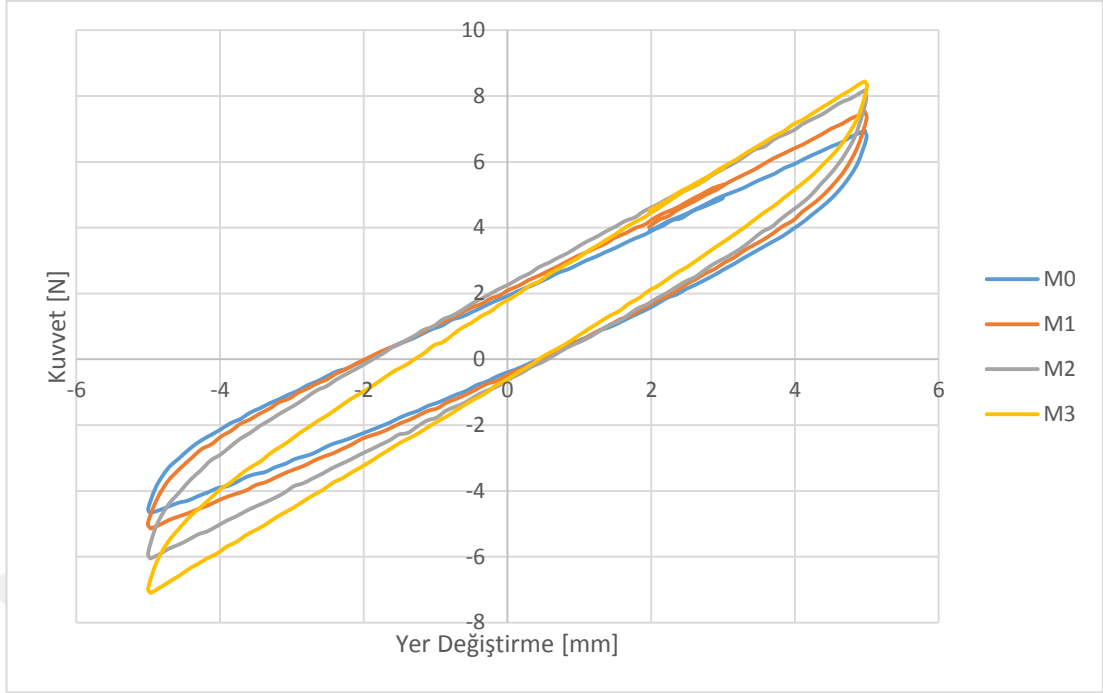
	M0	M1	M2	M3
k [N/mm]	2,2000	2,3000	2,8000	3,0500

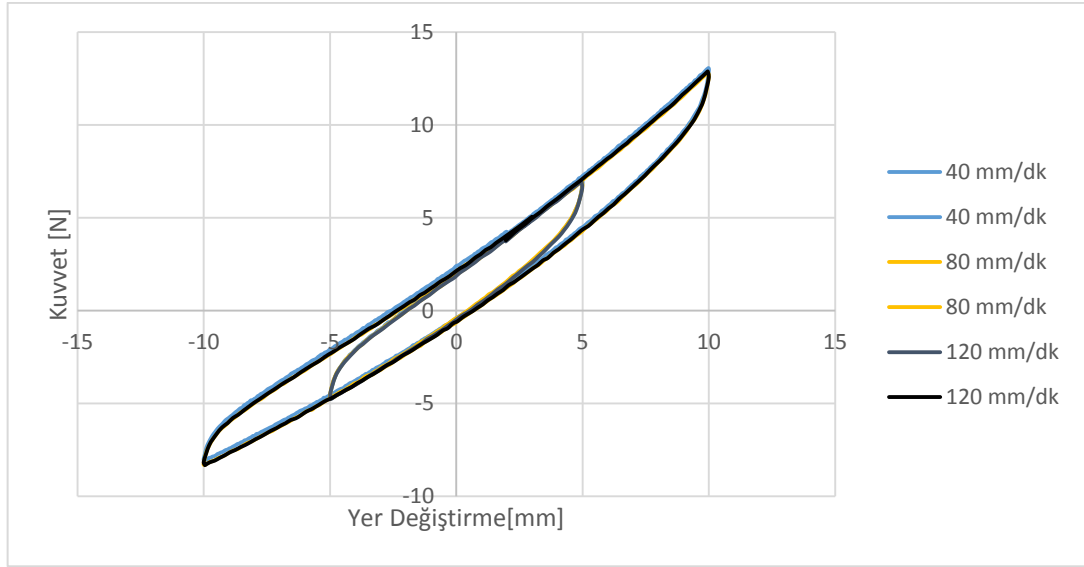


Şekil 3.34. Sabit 80 mm/dk hızdaki 4 modele ait histerisizlik eğrileri (ön gerilmesiz)

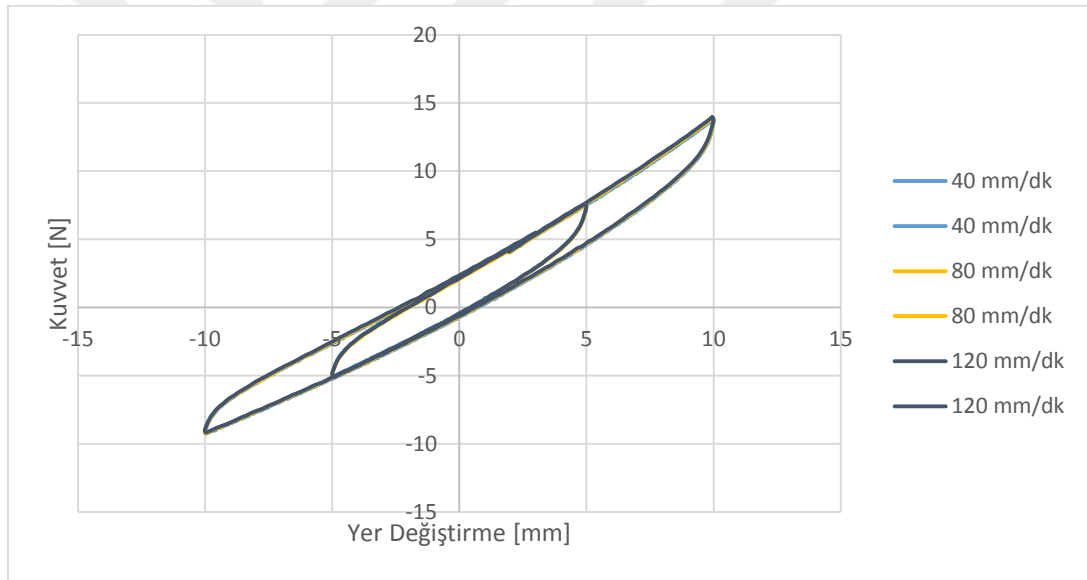


Şekil 3.35. 40 mm/dk hızdaki tüm modellere ait histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme)

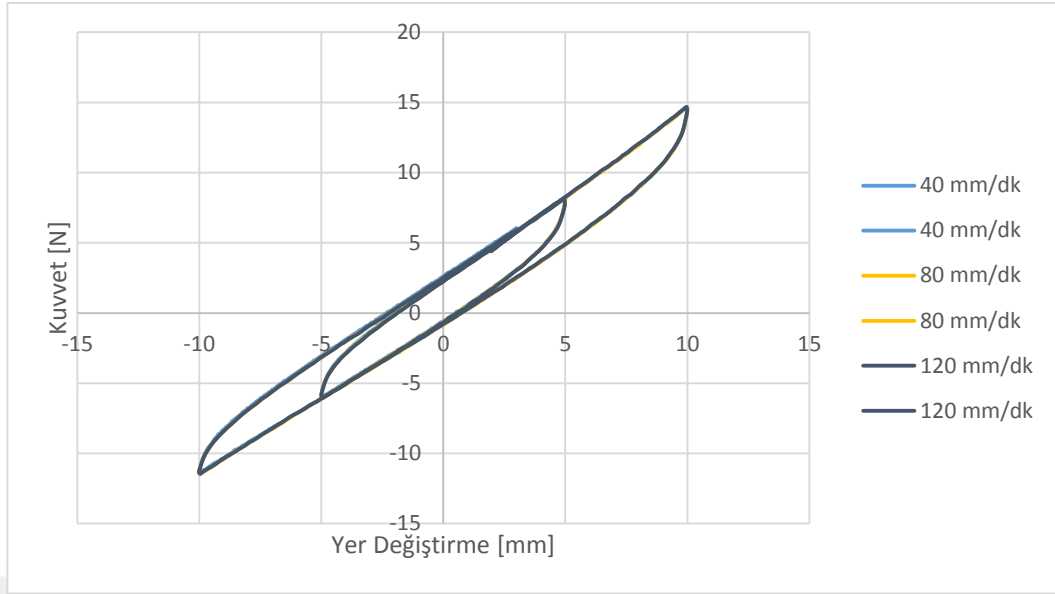




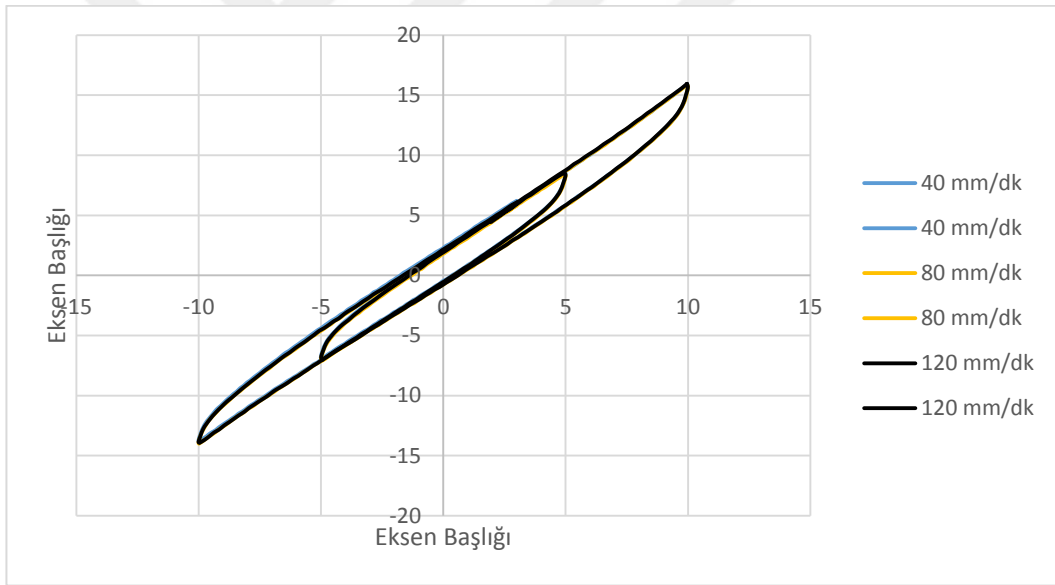
Şekil 3.38. MO modeli için 3 farklı hızdaki histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme)



Şekil 3.39. M1 modeli için 3 farklı hızdaki histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme)



Şekil 3.40. M2 modeli için 3 farklı hızdaki histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme)



Şekil 3.41. M3 modeli için 3 farklı hızdaki histerisizlik eğrileri (15 mm ön gerilme)

Elde edilen histerisizlik eğrilerinden de anlaşılacağı üzere küçük genlik değerlerinde MSÇHTİ'lerinin sertliğinin düşük olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Küçük genliklerde ise MSÇHTİ yarı lineer bir karakteristik sergilemektedir. Daha büyük genlik tahrikleri için ise yükleme durumuna bağlı olarak artan bir sertlik ve tam tersi durum için ise yük azalmaya başladığında gittikçe azalan bir sertlik (direngenlik) görülmektedir. Dahası histerisizlik eğrilerinde farklı genlik değerleri için yükleme durumunda sertliğin artmaya başladığı bölgeler kolay bir şekilde görülmektedir.

Histerisizlik eğrilerindeki asimetriklik ise izolatörlerin çekme ve basma durumlarında meydana gelen kuru sürtünme durumunda ki temas yüzeylerinde oluşan farklılıklar ile açıklanabilir. Kısaca bu durum tamamen çalışma şartlarında halatı oluşturan teller arasında meydana gelen kuru sürtünme mekanizması ile açıklanmaktadır. İzolatör çekme durumunda olduğu zaman teller arasındaki temas noktaları daha fazla oluşmaktadır ve hatta temas yüzeyleri meydana gelmektedir. Ancak basma durumunda ise teller arasındaki bu temas noktaları azalmaktadır yani çekme durumunda daha fazla kuru sürtünme mekanizması meydana gelirken basma durumunda ise daha az sürtünme mekanizması meydana gelmektedir. Bu durumda ise çekme durumunda izolatör tarafından uygulanan geri getirici kuvvet yani direngenlik daha fazla olur tam tersi durumda ise aynı şekilde düşer bu durum ise histerisizlik eğrilerinde asimetrik bir görüntüye sebep olur. Aynı zamanda bu durum geometrik olarak da açıklanmaktadır. Çekme altında izolatördeki uzamadan dolayı yük kademeli bir şekilde değişir. Dikey çekme yönünde izolatör daha rijit davrandığından dolayı aynı deplasman değerlerine ulaşmak için diğer yönlerdeki kuvvetlere nazaran daha büyük bir tahrik kuvveti gerekmektedir. Bu sebepten dolayı da bu durum histerisizlik eğrilerinde bir asimetrik bir görünüme yol açmaktadır.

BÖLÜM 4. DİNAMİK TİTREŞİM YALITIMI TESTLERİ VE ANALİZLERİ

WR izolatörlerinin dinamik davranışı hakkındaki veriler dinamik testler ile elde edildiği için modeller üzerinde çeşitli deneyler Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirildi. İlk olarak deneyler frekans cevap eğrilerini elde etmek için shaker üzerinde yapıldı. Laboratuvarında bulunan elektronik shaker cihazı ise LSD marka 0-5000Hz tahrik frekansına sahip maksimum 300N'luk bir yük uygulayabilen ve negatif yönde 15 mm pozitif yönde de 15 mm olmak üzere toplamda 30 mm'lik bir tahrik genliğine sahiptir. Dinamik deneylerde alt ve üst plakada konumlandırılmak üzere iki adet 100 mV/g hassasiyetine sahip ivme ölçer kullanılmaktadır. Daha sonra shaker tarafından tahrik edilen WR izolatöründen ivme ölçerler vasıtası ile alınan titreşim sinyalleri bir yükselteçten geçerek photon+ yazılımı kullanılarak dijital ortamda işlenmektedir. Aynı zamanda shaker cihazının tahrik parametreleri de yine bu yazılım vasıtası ile belirlenmektedir. Tahrik parametrelerinde ise, tahrik genliği 0,2 V olarak verilmiştir. Bu elektriksel sinyalin mm cinsinden karşılığı ise negatif ve pozitif yönde 15 mm'dir. Tahrik frekansları ise 0 ile 100 Hz arasında WR izolatörü tahrik edilmiştir. Aynı zamanda izolatörlerin sönüm cevap eğrilerinin belirlenmesi için yine 0 ile 100 Hz arasındaki çeşitli frekanslarda sönüm cevapları elde edilmiştir.

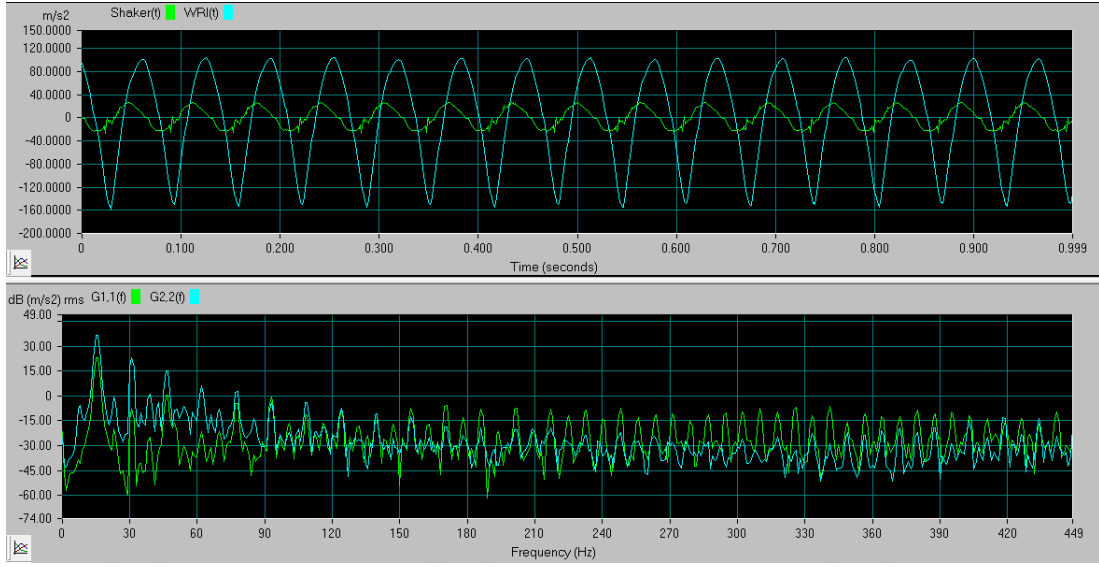
Dinamik testler için test sisteminin kurulumu Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



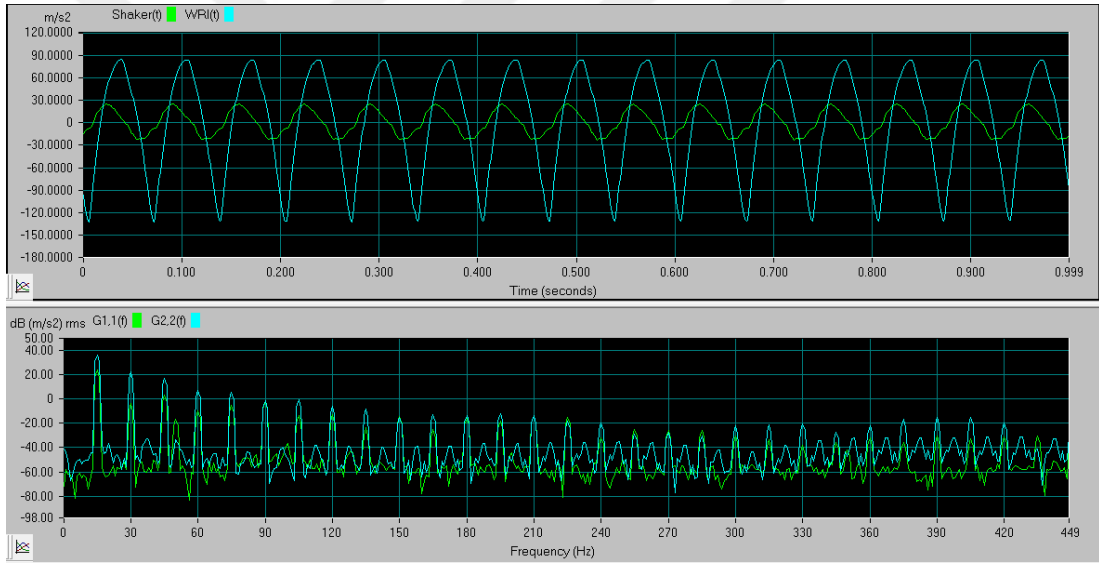
Şekil 4.3. MSÇHTİ sarsıcı test düzeneği

Dinamik testler her bir model için 0-100 Hz aralığında gerçekleştirilmiştir. Bu testler sırasında her bir modelin rezonans frekansları elde edilmiştir. Rezonans frekansları M0, M1, M2 ve M3 modeli için sırasıyla 13,6 Hz, 14,8 Hz, 15 Hz ve 15,5 Hz olarak tespit edilmiştir. Bu rezonans frekanslarına ait ivme ve frekans cevapları aşağıdaki şekillerde sırasıyla gösterilmektedir. Aynı zamanda tüm modellere ait doğal frekanslar Tablo 4.1.'de gösterilmektedir. Şekiller alt ve üst kısımda oluşmaktadır. Üst kısımda ivme-zaman cevabı, alt kısımda ise frekans cevabı görüntülenmektedir.

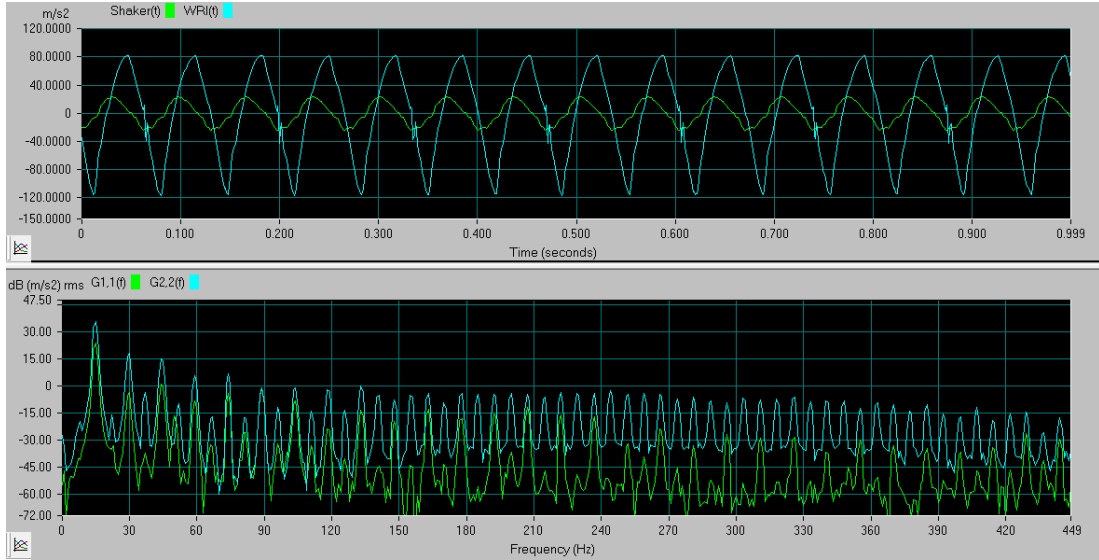
Tüm modeller için rezonans frekansının üstünde olan 40 Hz'den sonraki frekanslarda çok iyi bir titreşim yalıtımı gösterdiği grafiklerden anlaşılmaktadır. Bu yorum sarsıcıdan alınan ivme değerlerinin MSÇHTİ'den alınan ivme değerlerine göre çok çok yüksek olmasından anlaşılmaktadır.



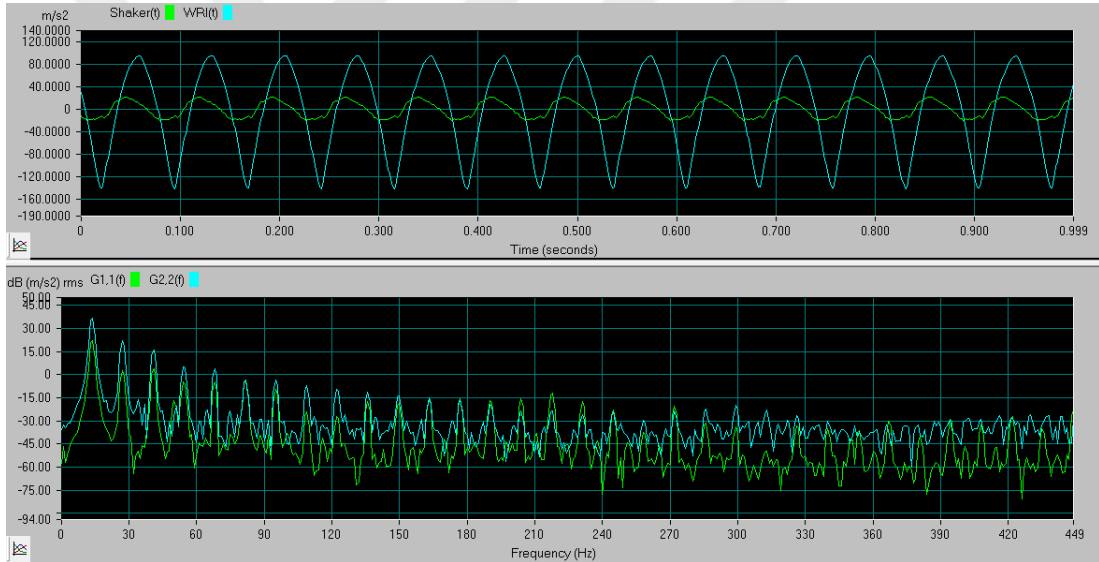
Şekil 4.4. M3 modeline ait rezonans frekansındaki ivme ve frekans cevabı



Şekil 4.5. M2 modeline ait rezonans frekansındaki ivme ve frekans cevabı

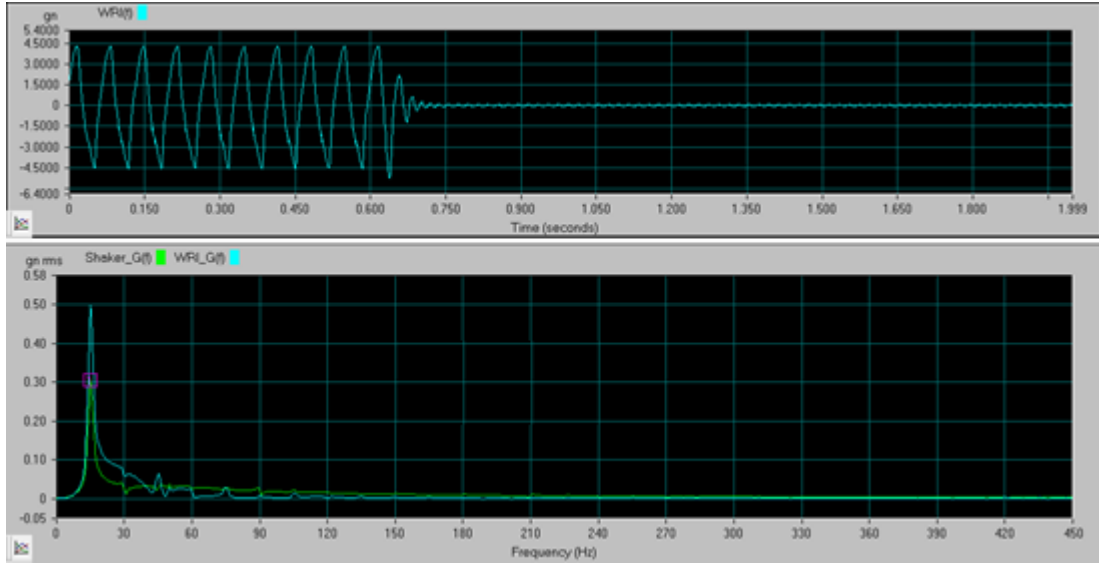


Şekil 4.6. M1 modeline ait rezonans frekansındaki ivme ve frekans cevabı

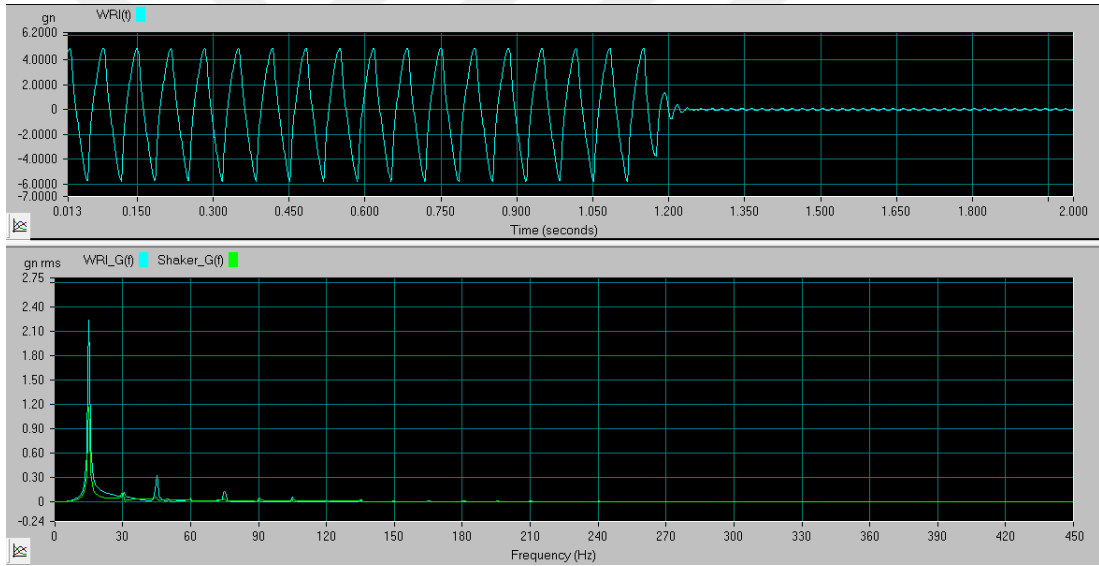


Şekil 4.7. M0 modeline ait rezonans frekansındaki ivme ve frekans cevabı

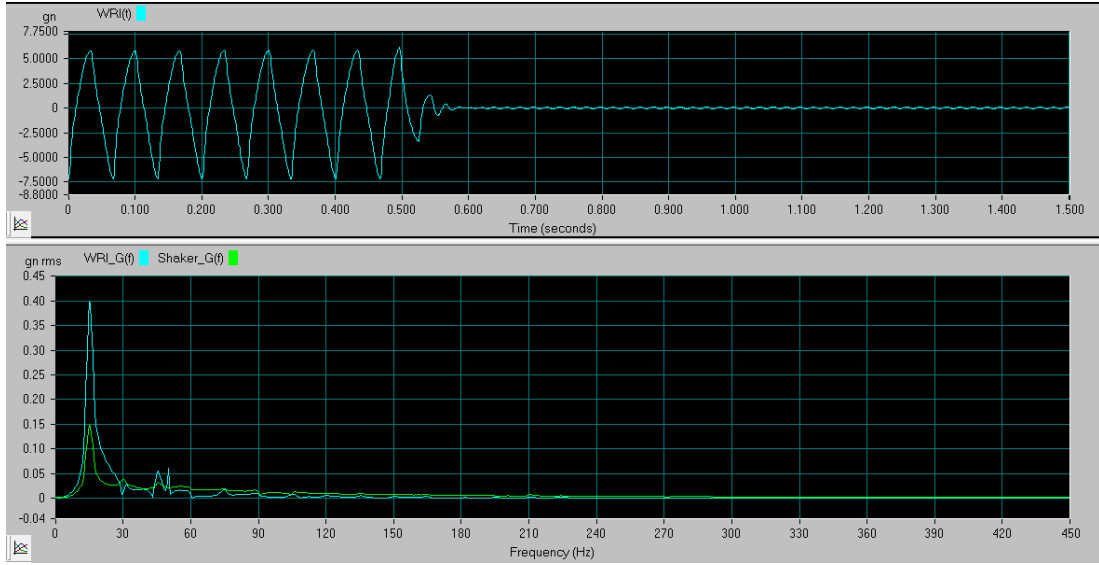
Yukarıda sarsıcı yardımı ile tahrik edilen modeller rezonans frekanslarında sürekli rejim durumunda çalışırken sistem tahriği kesilmek suretiyle ivme ölçerler vasıtasıyla geçici titreşim (serbest titreşim) cevapları elde edilmiştir. Her bir modelin serbest titreşim cevapları kullanılarak logaritmik azalma metodu ile her bir MSÇHTİ modelinin rezonans durumlarındaki sönüm oranları elde edilmiştir. Tüm modeller için rezonans frekanslarında her bir model için serbest titreşim cevapları aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



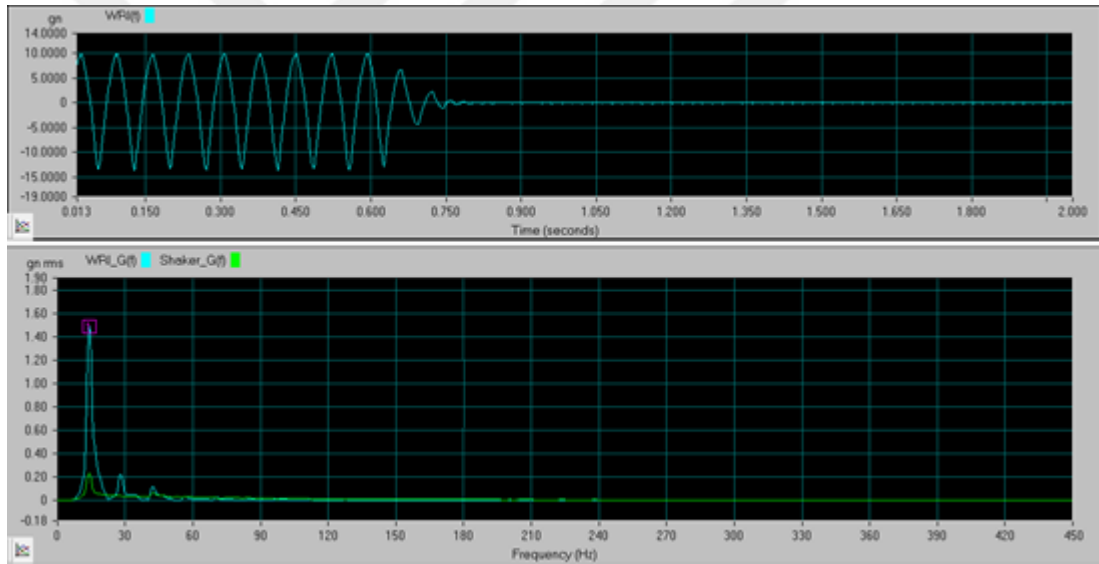
Şekil 4.8. M0 modeline ait rezonans frekansındaki sönüm testi



Şekil 4.9. M1 modeline ait rezonans frekansındaki sönüm testi



Şekil 4.10. M2 modeline ait rezonans frekansındaki sönüm testi



Şekil 4.11. M3 modeline ait rezonans frekansındaki sönüm testi

Tablo 4.1. Tüm modellere ait doğal frekanslar

	M0	M1	M2	M3
ω_n [Hz]	13,6	14,8	15	15,5

Yukarıda tüm modeller için verilen serbest titreşim cevaplarında ardışık iki ivme genliğinin birbirine oranının logaritması alınarak da δ logaritmik azalma elde edilebilir.

$$\delta = \log \frac{a_n}{a_{n+1}} \quad (4.1)$$

Denklemde a_n serbest titreşim cevap grafiğindeki herhangi bir azalan ivme genliğini ifade etmektedir. a_{n+1} ise ardışık ivme genliğini ifade eder. Kısaca logaritmik azalma miktarı kullanılarak da D sönüm oranı kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

$$D = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{\delta}\right)^2}} \quad (4.2)$$

Tüm MSÇHTİ'lerine ait sönüm oranları (D) ve sönüm katsayıları (c) aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.

Tablo 4.2. Tüm modellere ait sönüm oranları ve sönüm katsayıları

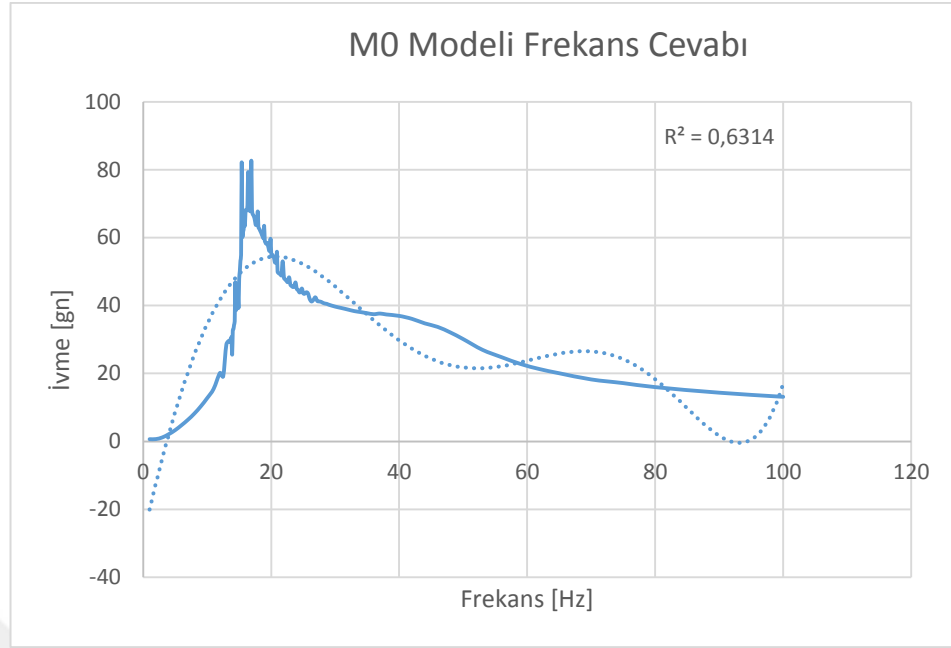
	M0	M1	M2	M3
a_1	2,25	4	2,625	5,10
a_2	0,70	1	0,625	0,5
δ	0,5071	0,6020	0,6232	1,0086
D	0,0804	0,0954	0,0987	0,1585
c	1,374	1,774	1,86	3,087

Tablo 4.3. Sönüm oranlarının yüzde artışı

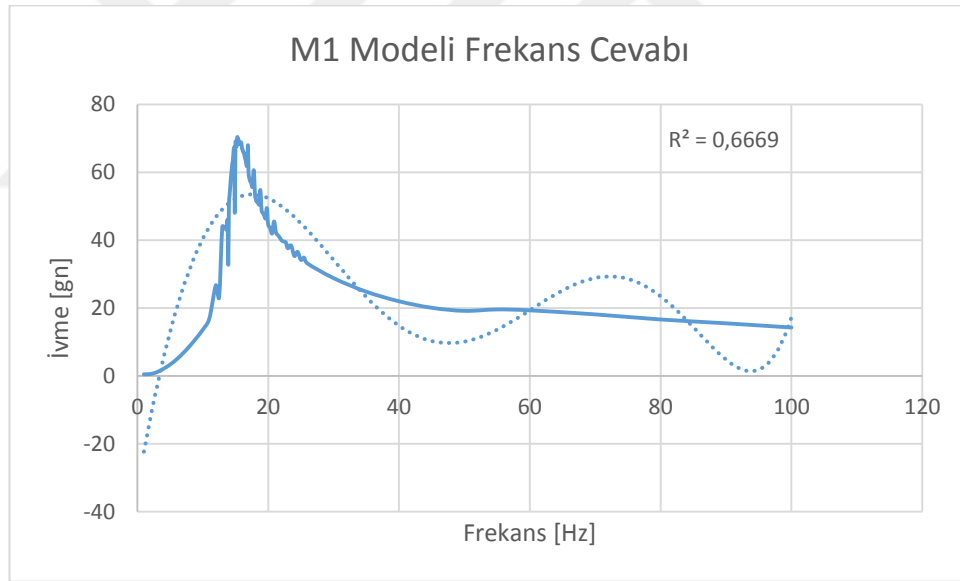
Model	Sönüm Oranının Yüzdesel Artışı (%)
M1	15,72
M2	18,54
M3	49,27

Elde edilen veriler irdelendiğinde sönüm oranı yüksek olan model M3 modelidir. Aynı zamanda bu veriler ışığında titreşim yalıtım karakteristik grafikleri de incelendiğinde sönüm oranları yalıtım karakteristiklerini de doğrulamaktadır.

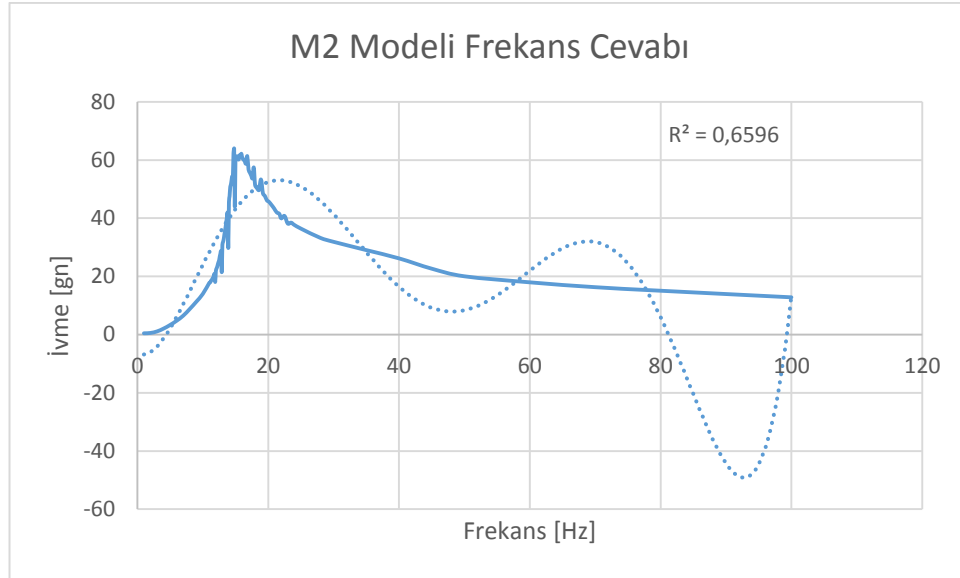
Tüm modeller için titreşim yalıtımında göstermiş olduğu yalıtım karakteristikleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



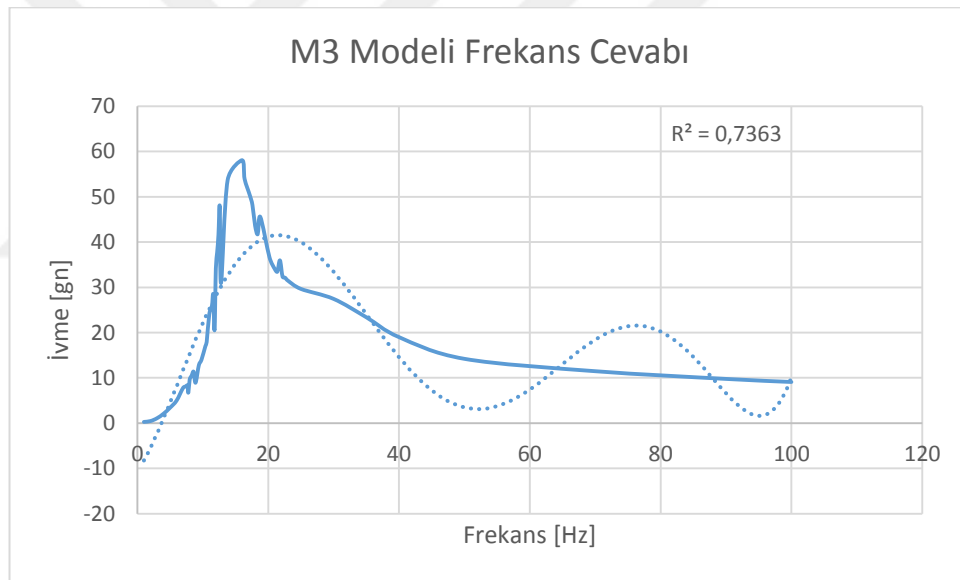
Şekil 4.12. M0 modeline ait frekans cevabı



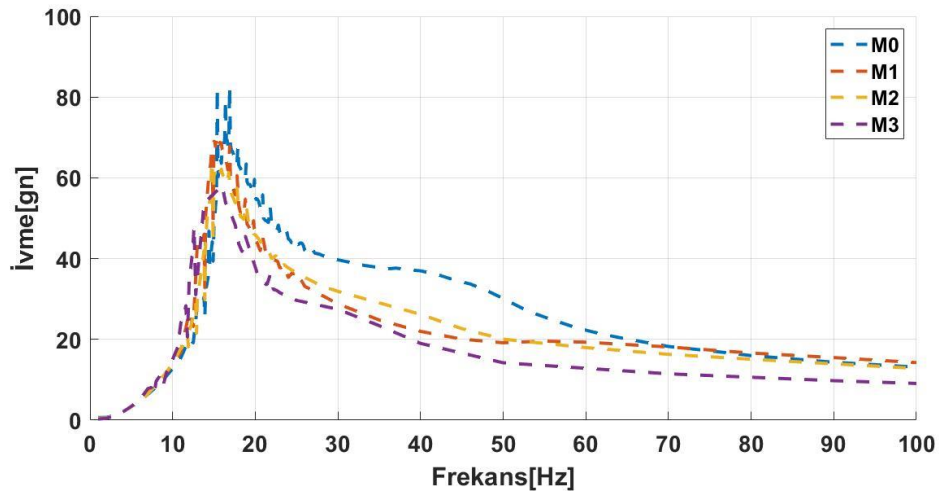
Şekil 4.13. M1 modeline ait frekans cevabı



Şekil 4.14. M2 modeline ait frekans cevabı



Şekil 4.15. M3 modeline ait frekans cevabı



b

Şekil 4.16. Tüm modellere ait frekans cevabı

Tüm modeller 0 ile 100 Hz frekans aralığında ve 10 mm tahrik genliğinde sarsıcı vasıtası ile tahrik edilmiştir. Daha sonra tüm modellerin dikey yöndeki titreşim yalıtım karakteristik eğrileri elde edilmiştir. Yalıtım karakteristik eğrilerinden de anlaşılabacağı üzere manyetik etkinin titreşim yalıtımı üzerine olumlu bir etki gösterdiği görülmektedir.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Çelik halat titreşim izolatörleri endüstride titreşim ve şok yalıtımı için hassas cihazların ve makine teçhizatlarının titreşim ve şok darbelerinden dolayı zarar görmemeleri için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Tüm bunlara ek olarak, son yıllarda bu izolatörlerin kullanımında hızlı bir artış da gözlemlenmektedir. Basit yapıda olmaları, tasarıma bağlı olarak her yönde aktif bir şekilde çalışmaları ve aynı zamanda yine yalıtım sağlanacak sisteme gerekli tasarımlar ile gerek tekil gerekse çiftli kombinasyonlarda entegre edilebilmeleri en önemli özellikleri arasındadır. Özellikle hassas elektronik cihazlarda, yüzen mekanik donanımlarda ve askeri sistemlerde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ülkemizde ise bu ürünler ithal olarak temin edilip gerekli sistemlerde kullanılmaktadır. Ancak, henüz yerli bir ürün ortaya çıkarılmamıştır. Tüm bu sebeplerden dolayı bu tez çalışmasında yerli sermaye kullanılarak hem aktif bir şekilde kullanılan izolatörü yerli imkanlar ile üretimini yapmak hem de yapılan literatür taramasında hali hazırda kullanılan izolatörlerde olmayan manyetik bir sönüm faktörü ekleyerek izolatör üzerinde ne gibi bir etki göstereceğinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında dört adet ring tip ÇHTİ imal edilmiştir. Daha sonra bu modellerin üç tanesine birer, ikişer ve üçer adet olmak üzere piyasadan temin edilen 30mm çapında neodyum mıknatıslar eklenmiştir. Mıknatıslı ve mıknatıssız modeller M0, M1, M2 ve M3 olarak etiketlenmiştir. Manyetik etkinin izolatör üzerinde nasıl bir karakteristik sergileyeceği yarı-statik ve dinamik titreşim analizleri vasıtasıyla deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan titreşim testleri neticesinde manyetik etkinin MSÇHTİ'nin titreşim karakteristiklerine gözlemlenebilir bir şekilde etki ettiği belirlendi. Aynı zamanda manyetik etkinin sönüm karakteristiklerine ise olumlu bir şekilde etki ettiği gözlemlenmiştir. Dahası, modele eklenen mıknatıs sayısına orantılı bir şekilde yay sertliğinin arttığı da görülmektedir. Tüm modeller için yapılan dinamik

titreşim testleri sonucunda elde edilen sönüm cevap grafikleri incelendiğinde mıknatıssız modele her bir adımda eklenen mıknatısa bağlı olarak sönüm grafiklerinde sistemi daha hızlı bir şekilde kararlı hale getirdiği gözlemlenmektedir. Mıknatıslar eklendikçe manyetik sönümün etkisi tahrik genliği ortadan kalktığı andaki genlik değerindeki azalmadan da kolay bir şekilde anlaşılmaktadır. Yani sönüm oranı her bir adımda manyetik etkinin artmasıyla artmaktadır. Yukarıda verilen tablo incelendiğinde ise 0,1585 değeri ile en yüksek sönüm oranına sahip model üç mıknatıslı olan modeldir aynı zamanda rezonans bölgesinde aktif çalışma sırasında diğerlerine kıyasla daha az ivme değerleri ölçülmesinden dolayı rezonans bölgesindeki çalışmasında diğer modellere nazaran daha iyi performans göstermektedir. Sönüm oranına bağlı olarak hesaplanan c sönüm katsayısı ise manyetik etki arttıkça artmaktadır. Modellere ait yalıtım grafikleri irdelendiğinde ise M3 modelinin diğerlerine göre daha iyi bir yalıtım sağladığı gözlemlenmektedir. Yani rezonans yada rezonans frekanslarına yakın çalışan sistemlerde bu durum dikkate alınarak M3 modelinin tercih edilmesi daha faydalı olacaktır. Yapılan tüm bu çalışmalara ek olarak, ileride çalışma genişletilerek kullanılan mıknatıslar yerine elektromıknatıslar kullanılarak sistemin manyetik alanını akım şiddetinin artırılıp azaltılması ile birlikte bir kontrolör vasıtası ile kontrol edilmek suretiyle kendi kendini gerçek zamanlı bir şekilde dış tahrik kuvvetine bağlı olarak çeşitli yapay zeka algoritmaları kullanılarak karakterize eden bir izolatör geliştirilebilir. Aynı zamanda ÇHTİ'ler burulma titreşimleri için de bahsedilen sürtünme mekanizmasında ki problemler çözüldüğü takdir de aktif bir şekilde kullanım imkanı bulabilirler.

KAYNAKLAR

- [1] Aanhold, J. V., Vibrational response of a multi-purpose floating floor (mpE). Technical report, TNO Building and Construction Research,. TNO-report 98-CMC-R1822. 1999.
- [2] International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. ISO 6954 - Mechanical vibration and shock - Guidelines for the overall evaluation of vibration in merchant ships, 1984.
- [3] Demirsoy, M., (1999). Transport Tekniği – Kaldırma Makineleri Cilt 1. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- [4] Nawrocki, A., Labrosse, M., (1999). A finite element model for simple straight wire rope strands. Computers and Structures, 77 (2000), 345-359.
- [5] www.guvencelikhalat.com.tr/pratik-bilgiler/genel/, Erişim Tarihi: 20.05.2018.
- [6] Gilbert, William. De magnete. Courier Corporation, 1958.
- [7] Demetriades, G. F., Constantinou, M. C., Reinhorn, A. M., Study of wire rope systems for seismic protection of equipment in buildings. Engineering structures, 15:321-334, 1993.
- [8] Bouc R. Model mathematique d'hysteresis. Acustica 1971;24(1):16–25.
- [9] Wen Y. K., Method of random vibration of hysteretic system. JE ng Mech Division, 1976;102(2):249–63.
- [10] Ko, J. M., Ni, Y. Q., Tian, Q. L. Hysteretic behavior and empirical modelling of a wire- cable vibration isolator. International Journal of Analytical and experimental modal analysis, 7:111-127, 1992.
- [11] Ni, Y.Q., KO, J.M., Wong, C.W. Identification of non-linear hysteretic isolators from periodic vibration tests. Journal of sound and vibration, 217:753-756, 1998.
- [12] Leenen, R., Fey, R., Kodde R., The modelling and identi?cation of an hysteretic system. Netherland, Eindhoven: Technical University of Eindhoven, DCT-2002/ 72.

- [13] Schwanen W, Nijmeijer H. “Modelling and identification of the dynamic behavior of a wire rope spring”, Netherland, Eindhoven: Technical University of Eindhoven, DCT-2004/28.
- [14] Paolacci F, Giannini R. “Study of the effectiveness of steel cabledampers for the seismic protection of electrical equipment”, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, China, Beijing, 2008.
- [15] Zhou C, Zhang X, Xie S, Zhou T, Zhu C. Hybrid modelling of wire cable vibration isolation system through neural network. *J Math Comput Simulation* 2009;79:3160–73.
- [16] Zou K, Nagarajaiah S, Dick A. Asymmetric solutions of SDOF system with wire rope vibration isolator subjected to harmonic excitation. *Int J Structural Stability Dynamics* 2015;15(6). 1450089 (17 pages).
- [17] Foss, GC. “Modal damping estimates from static load-deflection curves”, Conference and Exposition on Structural Dynamics, Boeing Commercial Group, 2006.
- [18] Tinker ML, Cutchins MA. Damping phenomena in a wire rope vibration isolation system. *J Sound Vib* 1992;157(1):7–18.
- [19] Kuduzoğlu, M. 2018. Çelik Halatlı Titreşim Sönümleyicilerin Sonlu Elemanlar Metodu İle İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Kıral, Z., “Mekanik Titreşimler Ders Notları”, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir (2012).
- [24] Rao, S.S. *Mechanical Vibrations*, 5th Edition. Pearson Education, 2010.
- [25] Pasin, F. *Mekanik Titreşimler*. Birsen Yayınevi, 1-151, 2000.

- [26] Wire Rope Handbook, Cookes, 2002.
- [27] www.enidine.com/en-US/Products/WireRopeIsolator., Erişim Tarihi: 08.02.2019.
- [28] SCHWANEN, W., et al. Modelling and identification of the dynamic behavior of a wire rope spring. Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
- [29] Sauter, D., Hagedorn, P. On the hysteresis of wire cables in stockbridge dampers. In- ternational Journal of Non-linear mechanics, 37:1453-1459, 2002.
- [30] Sues, R.H., Mau, S.T., Wen, Y.K. . System identification of degrading hysteretic restoring forces. Journal of engineering mechanics, 114:5333-846, 1988.
- [31] Wiek, L. Staalkabels, Geometrie en Eevensduur. PhD thesis, Technische Universiteit Delft, 1986. In Dutch.
- [32] Bouc, R. Forced vibration of a mechanical system with hysteresis. In Proc 4th. conference on Non-Linear Oscillation, page 315, Prague, Czechoslovakia, 1967.
- [33] Wen, Y. K. Method for random vibration of hysteretic systems. Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE, 102:249-263, 1976.
- [34] Solovyov, A.M., Semenov, M.E., Meleshenko, P.A., Barsukov, A.I., Bouc-Wen model of hysteretic damping. Procedia Engineering, Vol. 201, Pages 549-555, 2017.
- [35] Ni, Y.Q., KO J.M., Wong, C.W., Zhan, S. Modelling and identification of a wire-cable vibration isolator via a cyclic loading test. Part 1: experiments and model development. Journal of Systems and Control Engineering, 213:163-171, 1999.
- [36] Ni, Y.Q., KO, J.M., Wong, C.W., Zhan, S. Modelling and identification of a wire-cable vibration isolator via a cyclic loading test. Part 2: identification and response. Journal of Systems and Control Engineering, 213:173-182, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

Murat BAKLACI, 28.09.1993 tarihinde Bursa’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bursa’da tamamladı.2011 yılında Bursa Hürriyet Anadolu Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, Bilgisayar Destekli Makine Ressamlığı bölümünden mezun oldu. Daha sonra 2017 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünden bölüm ikincisi derecesini alarak mezun oldu. Akabinde Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konstrüksiyon ve İmalat Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitime başladı. 2019 yılında ise Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu, Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.