

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

**MANYETİK SIVILI BİR SÖNÜMLEYİCİDE AKIŞ KANALININ
PERFORMANSA ETKİLERİNİN SAYISAL YÖNTEME
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ceren GENÇ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tahsin ENGİN

Eylül 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MANYETİK SIVILI BİR SÖNÜMLEYİCİDE AKIŞ KANALININ
PERFORMANSA ETKİLERİNİN SAYISAL YÖNTEME
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ceren GENÇ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

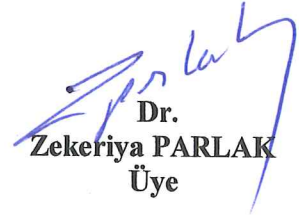
Bu tez 23.09.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Tahsin ENGİN
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
K. Süleyman YİĞİT
Üye



Dr.
Zekeriya PARLAK
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.

Ceren GENÇ

23.09.2019

TEŞEKKÜR

Sakarya Üniversitesi'ndeki eğitim öğretim hayatım boyunca her konuda bilgi ve desteğine başvurduğum, tez çalışmamın belirlenmesinden tamamlanmasına kadar her aşamada beni yönlendiren, TÜBİTAK projesi kapsamında projede yer almamı sağlayan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Tahsin ENGİN' e; projenin sürdürülmesi sırasında fikir ve görüşlerini aldığım Sayın Dr. Zekeriya PARLAK ve Dr. İsmail ŞAHİN' e; tez tamamlama süresince çalışmayı destekleyerek cesaretlendiren kıymetli hocam Prof.Dr. Süleyman K. Yiğit'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmaya 115m363 no'lu proje kapsamında maddi açıdan destek sağlayan TÜBİTAK'a şükranlarımı ifade etmek isterim

Tüm proje süresince teori, yorum ve uygulamada önemli katkılar sağlayan ekip arkadaşlarımdan Arş. Gör. Muaz KEMERLİ'ye ve tez yazım sürecinde desteğini esirgemeyen Cansın Özdağın'a şükranlarımı sunarım.

Son olarak hayatımın her döneminde, maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan aileme, gösterdiği sabır ve anlayıştan dolayı, beni yalnız bırakmayan Kübra Topal'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
AMAÇ VE KAPSAM.....	1
1.1. Manyeto-Reolojik Sıvılar.....	2
1.2. MR Akışkanın Akış Modelleri.....	7
1.3. Manyeto-Reolojik Sıvılı Süspansiyon Sistemleri (MR-damper).....	9
BÖLÜM 2.	
YAYIN ÖZETLERİ.....	10
BÖLÜM 3.	
MR DAMPERİN YAPISI.....	18
3.1. Mr Damperin Akış Analizi	19
3.1.1. MR akışkanın halkasal kanaldan akışı.....	19
3.1.2. Dinamik oran formülü.....	22
BÖLÜM 4.	
MR DAMPER TASARIMI VE OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI.....	23
4.1. Eş Zamanlı (Coupled) Analizler Analiz İş Akış Diyagramı	23

4.2. Tasarım ve Optimizasyon Çalışmaları	24
--	----

BÖLÜM 5.

MR DAMPERİN MANYETİK ALAN VE AKIŞKAN BÖLGESİNİN SAYISAL

OLARAK İNCELENMESİ	29
5.1. Malzeme Bilgileri	29
5.2. Yöntem.....	30
5.3. Akışkan Bölümü Yaklaşımları.....	30
5.4. Manyetik Alan Analizi Modeli	32

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

6.1. Eş Zamanlı Manyetik Alan Akış Analiz Sonuçları.....	35
6.1.1. Tasarım türlerine göre analiz sonuçları.....	35
6.1.2. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre analiz sonuçları.....	39
6.1.3. Sinüzoidal kanalın genliğine göre analiz sonuçları	43
6.2. Kuvvet-Konum Grafikleri.....	48
6.2.1. Tasarım türlerine göre kuvvet-konum grafikleri.....	48
6.2.2. Sinüzoidal kanalın genliğine göre kuvvet-konum grafikleri	49
6.2.3. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre kuvvet-konum grafikleri....	51
6.2.4. Seçilen sinüzoidal kanalın farklı amperlerdeki kuvvet -konum grafiği.....	52
6.3. Kuvvet-Hız Grafikleri	53
6.3.1. Tasarım türlerine göre kuvvet-hız grafikleri.....	53
6.3.2. Sinüzoidal kanalın genlik büyüklüğündeki kuvvet- hız grafikleri..	54
6.3.3. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre kuvvet-hız grafikleri	55
6.4. Tüm Tasarımların Yapılan Tüm Koşullardaki Tepki Kuvvetleri ve Dinamik Aralıkları	56

BÖLÜM 7.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
----------------------------	----

KAYNAKLAR	59
EKLER	62
ÖZGEÇMİŞ	63



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: Strok (m)
B	: Manyetik akı yoğunluğu (T)
CFD	: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
D	: Dinamik aralık
DOF	: Serbestlik derecesi
F	: Toplam damper kuvveti (N)
F_s	: Sürtünme kuvveti (N)
F_μ	: Viskoz (kontrol edilemeyen) kuvvet (N)
F_τ	: Manyetik alan (kontrol edilebilir) kuvveti (N)
H	: Manyetik alan şiddeti (A/m)
I	: Akım (A)
P	: Basınç (Pa)
P	: Toplam basınç düşüşü (Pa)
SEM	: Sonlu elemanlar metoduna
SHM	: Donlu hacimler metodu
t	: Zaman (s)
u	: Akışkan hızı ($m \cdot s^{-1}$)
x	: Yer değiştirme (m)
μ	: Dinamik viskozite (Pa.s)
ρ	: Yoğunluk ($kg \cdot m^{-3}$)
ω	: Açısal hız ($rad \cdot s^{-1}$)
$\dot{\gamma}$: Şekil değiştirme hızı (s^{-1})
$\dot{\gamma}_k$: Kritik şekil değiştirme hızı (s^{-1})
τ	: Kayma gerilmesi (Pa)
τ_y	: Akma gerilmesi (Pa)
$\tau_{y,k}$: Newton tipi olmayan bölgeye geçişi tanımlayan akma gerilmesi (Pa)

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. MRF-132DG kodlu MR sıvının genel özellikleri	5
Tablo 4.1. Tasarlanan Sinüzoidal Kanal Ölçüleri.....	27
Tablo 5.1. Malzeme Özellikleri.....	29
Tablo 6.1. Yapılan Tüm Analizlerde Oluşan Tepki Kuvvetleri ve Dinamik Aralık.....	56
Tablo 6.2. Seçilen sinüzoidal tasarımın farklı akım değerlerindeki tepki kuvvetleri.....	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Manyetik alan uygulamadan önce (a) ve sonra (b) parçacıkların dağılımı.....	4
Şekil 1.2. MR etkinin oluşumu.....	4
Şekil 1.3. MR sıvının çalışma tipleri a-Kayma tipi b- Valf tipi c- Sıkıştırma tipi.....	5
Şekil 1.4. MRF-132DG'nin akma gerilmesinin manyetik alan şiddeti ile değişim eğrisi.....	6
Şekil 1.5. MRF-132DG'nin manyetik akı yoğunluğu-manyetik alan şiddeti grafiği.....	6
Şekil 1.6. MR akışkanların kayma gerilmesi ve hız profiline şematik görünümü.....	7
Şekil 1.7. Kayma gerilmesi– deformasyon hızı arasındaki ilişkinin Bingham plastik modelindeki grafiği.....	8
Şekil 1.8. İncelen akışta değişen plastik viskozite.....	8
Şekil 3.1. MR damperin piston kafası ve iç yapısı.....	19
Şekil 3.2. MR damperin yapısı kesit görünümü.....	19
Şekil 3.3. MR damperin piston kafası ve akış kanalının genel görünümü.....	20
Şekil 3.4. Akış kanalındaki hız ve kayma gerilmesi dağılımı.....	20
Şekil 4.1. Eş Zamanlı Analiz Çalışmasının Adımları.....	23
Şekil 4.2. Düz Kanal Tasarımı ve Ölçüleri.....	25
Şekil 4.3. Sinuzoidal Kanal Tasarımı ve Ölçüleri.....	25
Şekil 4.4. Trapez Kanal Tasarımı ve Ölçüleri.....	25
Şekil 4.5. Yuvarlatılmış Kanal Tasarımı ve Ölçüleri.....	25
Şekil 4.6. Kare Kanal Tasarımı ve Ölçüleri.....	26
Şekil 4.7. Sinüzoidal Kanal Boyutsal Parametreler.....	26
Şekil 4.8. Sinüzoidal Kanal Numaralandırması.....	27

Şekil 4.9. Parametrik Ölçülendirme	28
Şekil 4.10. İlişkilendirme bölümü	28
Şekil 5.1. 1040 Çeliği B-H eğrisi	29
Şekil 5.2. MR sıvının B-H eğrisi	30
Şekil 5.4. Akışkan Bölge Çözüm Ağı	31
Şekil 5.3. Akışkan Bölge Geometrisi	31
Şekil 5.5. Katı Bölgenin Geometrisi.	33
Şekil 5.6. Katı Bölgenin Çözüm Ağı.....	33
Şekil 5.7. Tüm Geometrinin Kesit Hali.....	34
Şekil 5.8. Tüm Gövde Çözüm Ağı.	34
Şekil 6.1. Kare kanal için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı.....	36
Şekil 6.2. Trapez kanal için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı.....	37
Şekil 6.3. Yuvarlatılmış kanal için yukarıdan aşağıya manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı	38
Şekil 6.4. Sinüzoidal kanal için yukarıdan aşağıya manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı	39
Şekil 6.5. S-B1-A3 kanalı için yukarıdan aşağıya manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı	40
Şekil 6.6. S-B2-A3 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı.....	41
Şekil 6.7. S-B3-A3 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı.....	42
Şekil 6.8. S-B4-A3 kanal için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı.....	43
Şekil 6.9. S-B3-A1 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı.....	44
Şekil 6.10. S-B3-A2 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı.....	45
Şekil 6.11. S-B3-A3 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı.....	46

Şekil 6.12. S-B3-A5 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı.....	47
Şekil 6.13. Tasarım türlerine göre 0 amper için kuvvet konum grafikleri	48
Şekil 6.14. Tasarım türlerine göre 2 amper için kuvvet konum grafikleri	48
Şekil 6.15. Sinüzoidal kanalın genliğine göre 0 amper için kuvvet konum grafikleri.....	49
Şekil 6.16. Sinüzoidal kanalın genliğine göre 2 amper için kuvvet konum grafikleri.....	50
Şekil 6.17. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre 0 amper için kuvvet konum grafikleri.....	51
Şekil 6.18. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre 2 amper için kuvvet konum grafikleri.....	51
Şekil 6.19. Seçilen sinüzoidal kanalın farklı akım şiddetindeki kuvvet konum grafikleri.....	52
Şekil 6.20. Tasarım türlerine göre 0 amper için kuvvet hız grafikleri	53
Şekil 6.21. Tasarım türlerine göre 2 amper için kuvvet hız grafikleri	53
Şekil 6.22. Sinüzoidal kanalın genliğine göre 0 amper için kuvvet hız grafikleri .	54
Şekil 6.23. Sinüzoidal kanalın genliğine göre 0 amper için kuvvet hız grafikleri .	54
Şekil 6.24. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre 0 amper için kuvvet hız grafikleri.....	55
Şekil 6.25. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre 2 amper için kuvvet hız grafikleri.....	55

ÖZET

Anahtar kelimeler: Manyeto-reolojik damper, MR damper, Akışkanlar dinamiği, Sonlu elemanlar yöntemi, Sonlu hacimler yöntemi, çift taraflı eşlenik çözüm

Bu çalışmada yarı aktif manyeto-reolojik(MR) sıvılı damperlerin çalışma yapısı göz önüne alınarak bobin ve etrafında oluşan manyetik alan dağılımı, ve yapısı gereği manyetik alandan etkilenen MR akışkanın akış analizleri eşzamanlı olarak modellenmiş olup, farklı kanal tasarımlarına göre oluşan manyetik alan dağılımı ve akışkan davranışı incelenmiştir. Bu tasarım farklılıklarına göre oluşan damperin sönümleme kuvvetleri ve dinamik aralığın artırılması, çalışması hedeflenmiştir.

Bunun için damperin kullanılacağı yere göre gereken deplasman mesafesi ve kuvvet değerleri belirlendi. Bu girdiler ve literatür çalışmalarına göre damperin ön tasarımı oluşturulmuştur.

İlk olarak, elektromanyetik ve akış analizleri ayrı ayrı modellenerek çözümler elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar dikkate alınarak parametrelerin farklı sınır şartları ve geometrik boyutlara göre değişimleri çıkartılmıştır.

Daha sonra, bu iki farklı fizik analizinin eşzamanlı (coupled) çözümleri gerçekleştirilmiş ve parametrelerin birbiri ile olan ilişkileri ve sistem üzerindeki dinamik etkilerde incelenmiştir.

Oluşturulan bu model ışığında farklı kanal geometrilerine sahip MR damper tasarımları numerik olarak incelenmiş, bu tasarımlardan; sinüzoidal kanallı damperin farklı dalga boyu ve genliklere göre tepki kuvvetleri incelenmiştir.

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF FLOW CHANNEL ON A PERFORMANCE IN A MAGNETIC FLUID DAMPER

SUMMARY

Keywords: Magneto-rheological damper, MR damper, Computational Fluid Dynamics, Finite Element Method , Finite Difference Method , Two-Way Coupling Simulation

In this study, considering the working conditions of semi-active magneto-rheological liquid dampers, the magnetic field distribution in the coil and the core region, magneto-rheological fluid region effected by this magnetic distribution and the stress distribution in both the damper wall and the piston region have been investigated. In addition, during the study, temperature changes that result from both solid-liquid and solid-solid friction as well as magnetic field distribution have been established. Thus, the required dynamic range distance and reaction force values were determined according to the damper area to be used. Damper draft design has been established according to these inputs and literature studies.

First, different physics environments were simulated and solved separately, the changes in the parameters examined according to different boundary conditions and geometric dimensions have been determined.

Then, these two different physics models were studied simultaneously (coupled) and the parameters were with each other and the dynamic effects in the system were investigated.

MR damper designs have been examined numerically; The reaction forces of the sinusoidal channel damper according to different wavelengths and amplitudes were analyzed.

BÖLÜM 1. AMAÇ VE KAPSAM

Günümüzde yarı aktif kontrol sistemleri ile alakalı pek çok bilimsel ve ticari araştırma ve bilimsel makaleler yayımlanmıştır. Yapılan araştırmaların ışığında yarı aktif kontrol sistemleri önemli gelişmeler kat edilmiş ve kontrol sistemleri arasında bulunduğu bölgeyi genişletmeye başlamıştır. Ayrı aktif kontrol sistemleri basitçe elektrik alan kontrollü ve manyetik alan kontrollü sistemler olarak ikiye ayrılabilir. Bu tez çalışmasında ise manyeto reolojik(MR) sıvılı bir MR damper incelenmiştir.

MR damperler ile alakalı pek çok sektörde çalışmalar yapılmış olup, günümüzde de bu çalışmalar artarak devam etmektedir. Otomotiv, inşaat, medikal ve savunma sanayi gibi önemli iş sahalarında ciddi uygulamalarda görülmekte olup, sistemin önemli/stratejik bir parçası haline gelmiştir.

Örnek olarak inşaat sektöründe büyük yapıların depremde sarsılırken, farklı şiddetlere, farklı etkilerde karşı binanın dinamik bir direnç oluşturabilmesi için, yapının içine monte edilmektedir.

Otomotiv sektöründe ise; MR damperler arabaların süspansiyon sisteminde kuvvet sönümleyici olarak kullanılarak arabaların engebeli, girintili çıkıntılı yollarda daha kararlı kalabilmesi ve titreşimlerin iç kabine daha az yansıtılabilmesi için kullanılmaktadır.

Savunma sektöründe de otomotiv sektörüne benzer sebeplerde yalnız zorlu arazi şartlarında askeri araçların daha iyi uyum sağlaması, esnek hareket kabiliyetine sahip olabilmesi için kullanılmaktadır.

Medikal sektöründe yarı ve tam aktif diz altı protezler için ayağın dış kuvvetlere karşı verdiği tepkiyi gerçekçi olarak bir benzeşim oluşturmak amacı ile kullanılmıştır.

MR damperler kompakt yapısı, kolay üretilebilirliği ve düşük güç tüketimi ile önemli bir tercih sebebidir. Bunların yanı sıra elektrik akımı ile kontrol edilebilir olması, dinamik aralığının geniş olması ve verilen akım ile hızlı olarak tepki kuvveti oluşturabilmesi kullanımındaki en önemli etkidir.

Bu çalışmanın amacı; MR damperlerin verimini arttırmayı amaçlamak olup, bu kapsamda, damperin akışkan hacmindeki en önemli bölgesi olan kanal tasarımının değiştirilmesini, farklılaştırılmasını amaçlamaktadır.

Bu sayede aynı elektrik akımlarında daha yüksek tepki kuvvetleri elde etmek ve damperin dinamik aralığını genişletmektir.

Çalışma tamamen sayısal yöntemi esas almış olup, analizden alınan çıktılar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Sonrasında kurduğumuz bu analiz modelleri ile kendi oluşturduğumuz kanal tasarımlarına sahip damper modelleri incelenmiştir.

Bu çalışmada ayrıca MR damper modelinin tamamen gerçek ortamdaki davranışı yakalanabilmesi için elektromanyetik model ile akışkan model eş zamanlı çift yönlü etkileşim ile çözdürülmüş olup bu bağlamda yenilikçi bir çalışma olmaktadır.

1.1. Manyeto-Reolojik Sıvılar

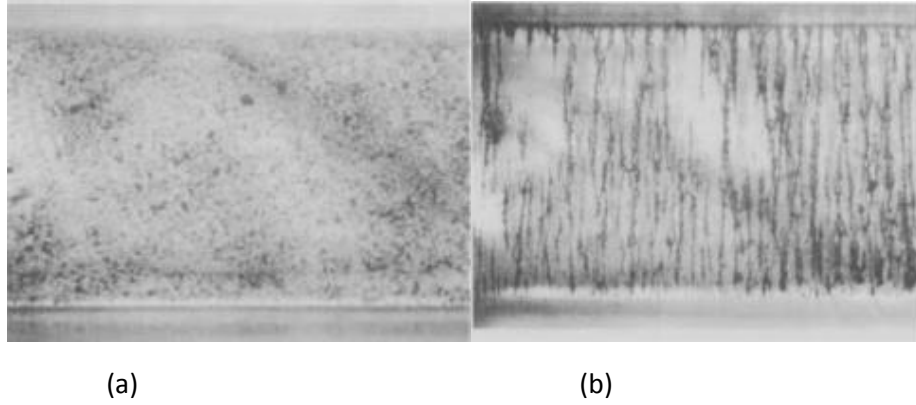
Reoloji, farklı davranış gösteren akışkanların, yüzey kuvvetleri veya gerilemelerle oluşan deformasyonunu inceler (Cengel ve Cimbala, 2006). Manyeto-Reoloji ise manyetik alana maruz kalan akışkanların davranışlarını inceleyen bilim dalıdır. Uygulanan manyetik alan sayesinde akışkan durumundan yarı katı duruma geçen ve geçiş sırasında akma gerilmesi ve buna bağlı olarak görünür viskoziteleri değişen akışkanlara manyeto-reolojik (MR) sıvılar denir.

MR sıvılar için iki temel fiziksel durum söz konusudur: (1) Manyetik alan uygulanmadığı veya pasif durumda Newton tipi akışkan olarak davranırlar ve taşıyıcı akışkanın viskozitesi akışkanın mekanik davranışlarını belirler, (2) manyetik alan uygulandığında veya aktif durumda Newton tipi olmayan akışkan olarak davranırlar ve akışkanın davranışının bir göstergesi olarak akma gerilmesi, uygulanan manyetik alanın bir fonksiyonu olarak değişir (Hitchcock, 2002).

Bir manyeto-reolojik sıvılı cihazın fiziksel parametrelerinin yanında, malzeme özellikleri ve sıvının kimyasal bileşimi, cihazın kontrol edilebilme performansında önemli bir rol oynamaktadır (Hitchcock, 2002).

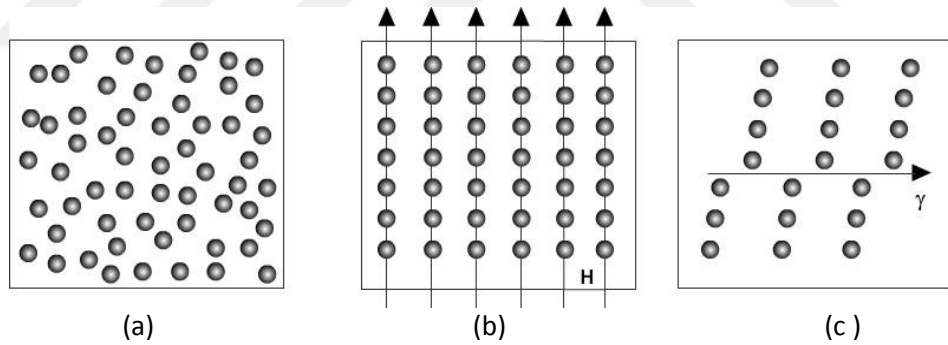
Manyeto-reolojik akışkanların temel kimyasal ve fiziksel bileşenleri bir silikon-yağ ya da hidrokarbon-yağ gibi taşıyıcı sıvı içerisine yayılmış, yoğunluğu $7000-8000 \text{ kg/m}^3$ civarında ve $1-10 \text{ }\mu\text{m}$ çaplarında küresel biçimli olan manyetize olabilen $\text{Fe}(\text{CO})_5$ (demir-penta-karbonil) parçacıklarından meydana gelmektedir. Parçacık büyüklüğü akma gerilmesi bakımından önemlidir ve MR bir cihazın çalışma performansı parçacık büyüklüğünün yanında sıcaklığa da bağlıdır.

MR akışkana tatbik edilen manyetik etki, akışkan içindeki demir partiküllerinin akış alanına paralel, manyetik akı çizgileri doğrultusunda, dizilerek zincir yapı biçiminde sütun şeklinde yerleşmesine sebep olur. Bu yapı, birkaç milisaniyede akışkan akma gerilmesinin kullanılan sıvı tipine de bağlı olarak yaklaşık olarak 50kPa 'a kadar değişime neden olur ve bu durumda akışkanın akmasına karşı bir direnç oluşturur. Şekil 1.1.(a)'da parçacıklar taşıyıcı sıvı içerisinde rastgele halde dağılmış olarak bulunmaktadır. Bir manyetik alan uygulandığında, bu parçacıklar manyetik alan çizgileri doğrultusunda dizilmesi Şekil 1.1.(b)'de görülmektedir.



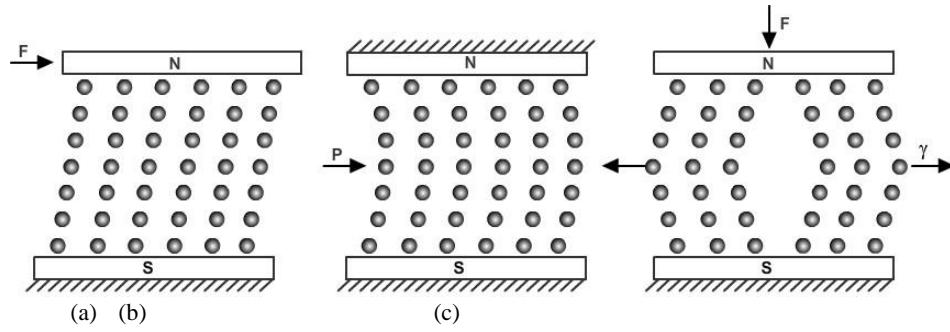
Şekil 1.1. Manyetik alan uygulamadan önce (a) ve sonra (b) parçacıkların dağılımı

MR akışkanın manyetik alana gösterdiği bu tepki "MR etki" olarak adlandırılır. Şekil 1.2.(a)'da taşıyıcı sıvı içerisinde parçacıklar gelişigüzel olarak dağılmış durumdadır. Şekil 1.2.(b)'de manyetik alan uygulandığında, sıvı içerisindeki parçacıklar manyetik akı çizgileri boyunca dizilirler. Şekil 1.2.(c)'de manyetik alan sebebi ile dizilmiş olan bu parçacıkların üzerine bir kuvvet veya basınç gelecek olursa, zincir yapı, uygulanan kuvvetin şiddetine göre şekil değiştirir.



Şekil 1.2. MR etkinin oluşumu

MR sıvıları Şekil 1.3.'de gösterildiği gibi, üç farklı tipte çalıştırılabilmektedir. Bu çalışma tipleri sırasıyla "kayma tipi", "valf tipi" ve "sıkıştırma tipi" çalışma olarak adlandırılır.



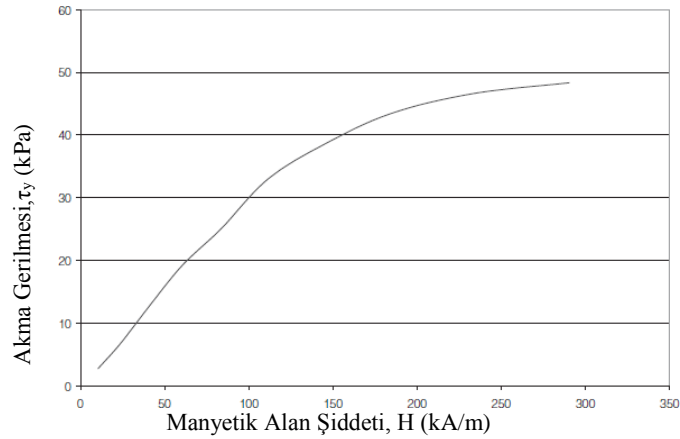
Şekil 1.3. MR sıvının çalışma tipleri a-Kayma tipi b- Valf tipi c- Sıkıştırma tipi

Bu çalışmada kullanılacak olan hidrokarbon esaslı Lord firması tarafından ticari olarak üretilen MRF-132DG kodlu MR sıvının genel özellikleri Tablo 1.1.'de verilmiştir (<http://www.lordfulfillment.com/upload/DS7015.pdf>, 2010; Karakoc vd., 2008).

Tablo 1.1. MRF-132DG kodlu MR sıvının genel özellikleri

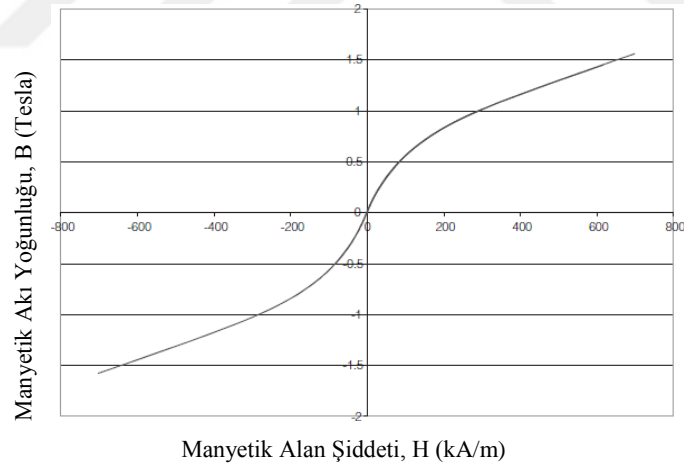
Özellik	Değer/Sınır
Çalışma Sıcaklığı	-40 den 130 (°C)
Yoğunluk	3090 (kg/m ³)
Renk	Koyu Gri
Partiküllerin kütleli oranı	81.64(%)
Termal Genişleme Katsayısı	
0-50(°C)	5.5e-4
50-100(°C)	6.6e-4
100-150(°C)	6.7e-4
Özgül Isı 25(°C)de	800 (J/kgK)
Isı İletim Katsayısı 25 (°C) de	0.25-1.06 (W/m K)
Donma Noktası	-150 (°C)
Viskozite	0.09(±0.02) Pas

MR sıvısının özellikleri uygulanan manyetik alan ile nasıl değiştiği akma gerilmesi-manyetik alan şiddeti eğrisi ile Şekil 1.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. MRF-132DG'nin akma gerilmesinin manyetik alan şiddeti ile değişim eğrisi

MR akışkanına uygulanan manyetik akı yoğunluğuna göre akışkanın akma gerilme değerinin tespiti için manyetik akı yoğunluğu-Manyetik alan şiddeti arasındaki ilişkiyi de tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için Şekil 1.5.'de verilen manyetik akı yoğunluğu-manyetik alan şiddeti grafiğinden faydalanılır. Bu grafiğe göre düşük manyetik alan şiddetlerinde manyetik akı verimi daha yüksektir yorumu çıkartılabilir.



Şekil 1.5. MRF-132DG'nin manyetik akı yoğunluğu-manyetik alan şiddeti grafiği

1.2. MR Akışkanın Akış Modelleri

MR akışkanlar Bingham plastik modeli veya Herschel-Bulkley modeli gibi lineer olmayan akış modelleri kullanılarak modellenenlerdir. Bu akışkanlar manyetik etki olmazsa normal halde Newton tipi davranış gösterirler;

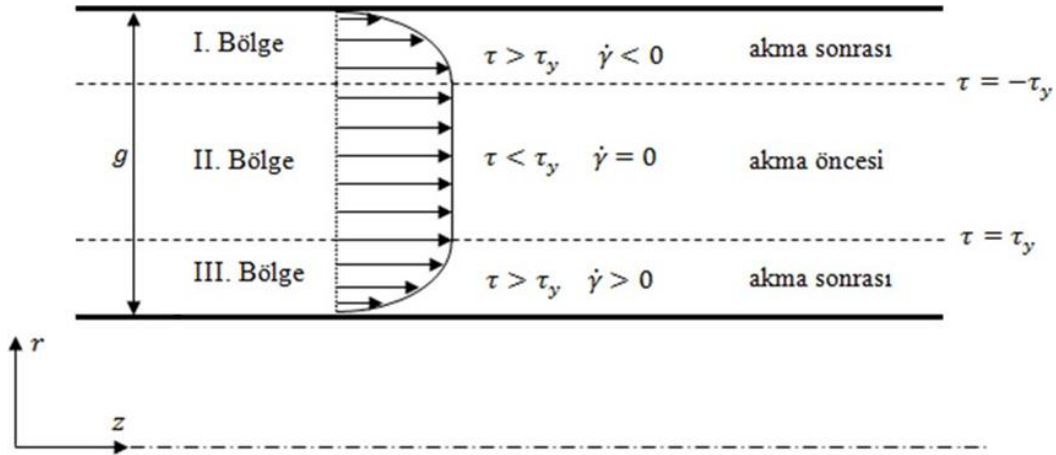
Bingham plastik modeli;

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_y(B) \operatorname{sgn}(\dot{\gamma}) + \mu_p \dot{\gamma} & |\tau| > \tau_y \\ \dot{\gamma} &= 0 & |\tau| < \tau_y \end{aligned} \quad (1.1)$$

burada τ kayma gerilmesi, $\dot{\gamma} (du/dr)$ şekil değiştirme hızı, $\tau_y(B)$ manyetik akı yoğunluğu ile oluşan dinamik akma gerilmesi, μ_p manyetik alan şiddetinden bağımsız plastik viskozitedir.

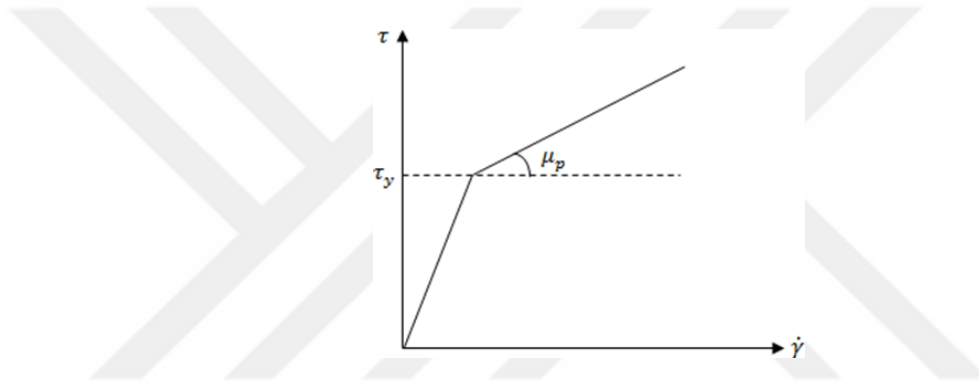
Herschel-Bulkley modeli;

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_y(B) \operatorname{sgn}(\dot{\gamma}) + k(\dot{\gamma})^n & |\tau| > \tau_y \\ \dot{\gamma} &= 0 & |\tau| < \tau_y \end{aligned} \quad (1.2)$$



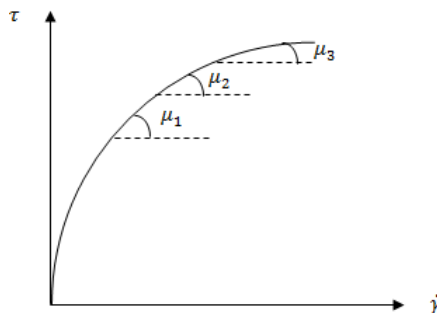
Şekil 1.6. MR akışkanların kayma gerilmesi ve hız profiline şematik görünümü

MR akışkanların akma sonrası rejimde Newton tipi olmayan davranışlarını incelemek önemlidir. Bingham plastik modeli, MR akışkanların akma sonrası bölgesinde plastik viskozite değerinin sabit olduğunu kabul eder. Fakat sabit plastik viskozite varsayımı kalınlaşan ve incelen akışlar için geçerliliğini yitirebilmektedir. MR akışkanlar incelen akış davranışları gösterirler, bu durumda sabit viskozite tanımı doğru değildir. Bingham plastik modeli böyle bir davranışı modellemek için yetersizdir (Dimock vd., 2000). Bingham plastik modeli tüm deformasyon hızları için sabit bir plastik viskozite varsayımı yapar (Şekil 1.7.), bu yaklaşım deformasyon hızının yüksek olduğu noktalarda geçerli değildir.



Şekil 1.7. Kayma gerilmesi– deformasyon hızı arasındaki ilişkinin Bingham plastik modelindeki grafiği

Bu durumu göz önüne aldığımızda Bingham plastik modeli ile incelen veya kalınlaşan akışları modellemenin uygun olmayacağı gözlenmektedir. Çünkü incelen ve kalınlaşan akışkanlar akma gerilmesi geçildikten sonraki rejimde sabit bir plastik viskoziteye sahip değildir, plastik viskozite değeri değişebilmektedir (Şekil 1.8.). Herscley-Bulkley modeli akma sonrası bölgesindeki lineer olmayan davranışların doğru şekilde tanımlanmasına olanak verir (Dimockvd., 2000).



Şekil 1.8. İncelen akışta değişen plastik viskozite

1.3. Manyeto-Reolojik Sıvılı Süspansiyon Sistemleri (MR-damper)

MR sıvılarının ana uygulama alanlarından biri, titreşim sönümleyiciler (MR damper) ile kullanılmaktadır. MR damperler kontrolü mümkün oldukça büyük damper kuvvetleri oluşturabilmektedir.

MR damperler; titreşim sönümleyici olarak otomotiv ve makine endüstrisinde (Choi vd.,2000; Gordaninejad ve Kelso, 2001; Carlson vd.,1996; Zhu vd., 2001), deprem ve şiddetli fırtınalardan korumak için köprü ve yapılarında (Nagarajaiah vd., 2000; Dyke vd., 1996) ve tüm uçuş şartlarına uygun sönüm seviyesini sağlayabilmesi için helikopter pervanelerinde (Wereley vd., 1999) gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. MR damperlerde, harici bir başlangıç hareketi ile uyarılan bir piston MR sıvısını kapalı bir silindir içinde harekete geçirir. Akışkana elektrik akımı verilerek akış alanına dik olarak akışkan hareketine kolaylık sağlayacak bir manyetik alan yaratılır. Bu manyetik alan uygulandığı kanaldaki MR akışkanın reolojisini değiştirir. Reolojisindeki bu değişim MR akışkanın manyetik alan şiddetindeki değişimin neden olduğu akma gerilmesindeki değişimden kaynaklanmaktadır. Akma gerilmesinde meydana gelen değişim akışkanın görünür viskozitesini değiştirir. Görünür viskozitedeki bu değişim manyetik alanın uygulandığı kanaldaki basınç gradyanını değiştirir, bu da MR damper pistonuna gelen tepki kuvvetini değiştirir.

BÖLÜM 2. YAYIN ÖZETLERİ

Felt vd. (1996) Bu çalışma; MR damperin performansının geliştirilmesi için manyetik alanın etkili bir biçimde MR akışla desteklenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu amaçla, çalışmada iki etkili yaklaşım önerilmiştir; MR damperin statik karakteristiğini iyileştirmek için ferrromanyetik bölgenin gereksiz kütlesini çıkararak manyetik akı yolunu kısaltmaktır. Diğeri ise; dinamik ve histeretik karakteristiklerin iyileştirilmesi için, manyetik akının geçtiği bölgenin enine kesit alanını azaltarak manyetik devrenin manyetik relüktansını arttırmaktır.

İki adet MR damper, konvansiyonel tip ve önerilen tip, tasarladıktan ve imal edildikten sonra, performansları manyetik alan analizi ve bir dizi temel deney ile değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar, önerilen tasarım metodolojisinin, MR damperinin genişleyen uygulama alanları için temel bir tasarım materyali olarak etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Volkova vd. (2000), Bu çalışma; Taguchi deneysel dizayn yaklaşımını kullanarak MR damperin optimal konfigürasyonu ile ilgilenmektedir. Çalışmada, MR damper optimal solüsyonları; maksimum dinamik aralık ve maksimum damper gücü için ayrı ayrı ölçülmüştür. MR damperleri; çap ve boyla tanımlanan silindirik bir konteyner içinde sınırlandırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen optimal damper konfigürasyonları, doğrulama için imal edilmiş ve test edilmiştir. Doğrulama testleri, damperlerin özelleştirilmiş damper gücü ve dinamik aralık sağladığını göstermiştir.

Wang (2002), Bu çalışmada, bir MR damperin hedef damper kuvvetinin ve azami manyetik akı yoğunluğunun hedefleri için gerçekleştirilen bir tasarım optimizasyon yöntemi sunulmuştur. Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) , MR akışın CFD analizi ve manyetik alanın elektromanyetik analizi, tasarım parametrelerinin optimal değerini

elde etmek için kullanılmıştır. MR akış ve manyetik alanın eşzamanlı ve birlikte kullanıldığı bu yeni yaklaşım, optimal tasarım değerlerini özgüçleştirmiştir. Elde edilen iki MR damper optimal tasarım, damperlerin üretimi ve test edilmesi sonrası deneysel çalışmalarla doğrulanmıştır.

Weiss vd. (1994), Çalışmada, küçük ölçekli bir MR damper için çoklu fizikte sonlu elemanlar dinamik modeli tanıtılmaktadır. Model, manyetik akı hatlarının, alan şiddetinin, Newton tipi olmayan akışkan akışının analizini ve öngörülen hareket ve standart elektrik testi sinyalleri altında direnç kuvvetinin değerlendirilmesini içermektedir. Bu model, üst ekstremitte ortezi gelişiminde kullanılan MR damperlerinin optimizasyonunda, patolojik tremora sahip hastalarda tremor zayıflamasında kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

Lita vd. (2009), Bu makale, kesme ve sıkıştırma çalışma modlarının kombinasyonu ile MR damper için yeni bir tasarım önermektedir. MR damperdeki elektromanyetik bobinler tarafından üretilen manyetik alanı simüle etmek için (FEM) metodu kullanılmıştır. MR damper, simülasyon sonuçlarına göre tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deneysel testler, yarı statik yük altında, kayma modu, sıkıştırma modu ve her iki modun kombinasyonu olacak şekilde üç farklı koşulda gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, karma mod MR damperinin, genel olarak, karma modda tek moddan daha yüksek bir sönümleme kuvvetinin elde edildiği benzersiz bir sönümleme karakteristiği ürettiğini göstermiştir.

Felt vd. (1996), Bu çalışmada, Klasik damper klasik sönümleyicinin iç tasarımında herhangi bir değişiklik yapılmaksızın harici bir düzenleme kullanılarak MR damper içine modifiye edilmiştir. Gerekli elektromanyetik alan, harici daimi mıknatıslar yardımıyla üretilmiştir.

Bu tür mıknatıslar, mesafeyi değiştirmek için hareketli alüminyum çubuklara ve bu şekilde, damperi çevreleyen manyetik alana bağlanmıştır. MR damper COMSOL kullanılarak modellenmiştir ve değişik manyetik ve uyartılar altında, simülasyonlar

kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, bir titreşim uyarıcısı kullanarak değişken dış alanlardaki MR damperi test edilerek deneysel olarak doğrulanmıştır.

Widjaja vd. (2003), Bu çalışmada, MR damper tasarımının optimizasyonu, sonlu elemanlar simülasyonu ile analiz edilmiştir ve bu analiz ile MR damperi parametrelerinin daha doğru sonuçlara getirildiği gözlenmiştir. Çökeltmeyi azaltmak için karbonil demir parçacıklarına ksantan sakızı kaplanarak bir prototip MR sıvısı hazırlanmıştır. SEM ve Turbiscan sonuçları, gelişmiş sedimantasyon stabilitesini belirgin bir şekilde doğrulamaktadır. Buna ek olarak, ANSYS yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar analizi ile güç tasarruflu bir MR darbe modeli geliştirilmiştir. Uzun süreli çalışma damperin gövde ısısını yükseltmekte ve performansı düşürmektedir. Bununla birlikte, bu enerji tasarruflu MR damper modelinde, sıcaklık geleneksel tamponlara kıyasla daha yüksek bir değere yükselmekte ve dolayısıyla sönümleyicinin verimliliğini arttırmaktadır.

Wereley ve Pang (1998), Bu çalışmada, küçük ölçekli bir MR damperin dinamikleri, Newton tipi olmayan akışkan akış ile elektromanyetik alan dağılımını birleştirmek için çoklu fizik ticari sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak modellenmiş ve analiz edilmiştir. Damper içinde üretilen manyetik akı hatları ve alan yoğunluğu ile harmonik harekette, damperde döngüsel akışkan akışı COMSOL Multiphysics AC / DC ve CFD fizik modülleri ile analiz edilmiştir. Damper içindeki simülasyon sonuçları ile deneysel olarak gözlemlenen direnç kuvvetleri arasında iyi bir uyum sağlanmıştır. Uygulanan modeller böylece nispeten küçük bir ölçekte boyutlandırılmıştır. Bununla birlikte, kullanılan yöntem, sönümleyicinin boyutuna veya geometrisine özeldir ve çok az veya hiç komplikasyon olmadan daha büyük ölçekli cihazlara uygulanabilmektedir.

Dimock vd. (2000), Bu çalışmada orifisteki damper kuvvetine karşılık gelen akış direnci, deneysel ve nümerik (cfd ve fea) olarak incelenmiştir. Ayrıca nümerik olarak doğrulama yapılmıştır.

Hesselbach ve Abel-Keilhack (2003), Bu çalışmada, MR damperlerin verimliliğini arttırma amacıyla, MR sıvı akış kanalına seri halinde halka-radyal kanalların entegre

edildiği bir dairesel radyal-kanal MR damperin (ARDMRD) prensibi anlatılmış olup prototip ARDMRD tasarlanmış ve imal edilmiştir.

ARDMRD'nin prensibini doğrulamak ve manyetik devresinin manyetik özelliklerini elde etmek için Sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanılmıştır.

Wang (2002), Bu çalışmada, dış manyetik ve elektrik alanlı, kararsız, viskoz, sıkıştırılmayan ve elektriksel olarak iletken iki fazlı (katı / sıvı) kararsız akış üzerinde sıvıya ve birbirine dik uygulanan, hem üniform enine harici manyetik ve elektrik alanlarının etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Demir tozları iki fazlı sıvının ilk fazı olarak kullanılırken ikinci safha saf su kullanılmıştır. Maxwell denklemleri de dahil olmak üzere Navier-Stokes denklemlerine dayanan türevsel yönetim denklemleri, MATLAB üzerinde her iki faz için Pdex4 fonksiyonu kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Çalışma, manyetik alana ek olarak elektrik alanının iki fazlı kararsız akışkanlar üzerindeki etkisini de incelemesinden dolayı önem taşımaktadır.

Wang ve Gordaninejad (2007), Bu çalışmada, sabit bir manyetik alan varlığında iki sabit paralel plaka arasındaki sıkıştırılmayan MR akışkan akışının sabit, laminer akış için iki boyutlu bir (CFD) simülasyonu sunulmaktadır. Bu çalışmanın amacı, valf modunda MR akışkanlarını simüle edebilen ve akış hızları ve basınç dağılımları üzerine uygulanan manyetik alan etkisini belirleyebilen sayısal bir araç geliştirmektir. Üniform bir enine harici manyetik alan akış yönüne dik olarak uygulanır. Sıkıştırılmayan bir MR akışkanının sabit akışını düzenleyen denklemler, sonlu hacim yaklaşımına dayanan esnek bir CFD kodu olan Ansys 14.0 Fluent ticari kodunda uygulanmaktadır. Manyetik alan altındaki paralel plakalar arasındaki akışı tanımlayan yönetici (governing) diferansiyel denklemler, manyetik indüksiyon denklemi yönteminin çözülmeye dayanan Fluent MHD modülünü kullanarak sayısal olarak çözülmüştür. Uygulanan harici manyetik alanın artmasının akış hızını azalttığı gözlenmiştir.

Yasrebi vd. (2006), Bu çalışmada, iki MRF sönmüleme ünitesinin kompakt montajı yoluyla, değişken sertlik ve sönmülenme özelliklerini sinerjik hale getiren yeni bir MR akışkan (MRF) tabanlı damper çalışılmıştır. Yeni MRF damperinin prototipinden

sonra, rijitlik değişkenliği ve sönümlenme değişkenliği, genliğe bağlı tepkiler ve frekansa bağlı tepkiler de dahil olmak üzere, sönümleyicinin performansını test etmek için hidrolik olarak çalıştırılan bir MTS makinesi kullanılmıştır. Değişken rijitliği ve MRF damperi tanımlamak için yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Widjaja vd. (2003), Bu çalışmada, ayarlanmış sıvı damper uygulamaları için dinamik uyarılma altında dikdörtgen kesitli bir depoda neredeyse sıkıştırılmaz viskoz akışkanların genlikli serbest yüzey hareketini modellemek için bir Lagrange yer değiştirme esaslı akışkan elemanı geliştirilmiştir. Sıfır kayma ve düşük viskoziteli akışkan elemanların sonlu bozulmasının doğrusal olmayan etkisini göz önünde bulundurarak akışkanların neredeyse sıkıştırılmaz özelliklerini zorlamak için ceza yöntemi (penalty) kullanılmıştır. Sonuçlar, önerilen doğrusal olmayan akışkan elemanın dinamik uyarılmaya bağlı olarak özellikle yakın-rezonant bölgede büyük genlikli sürtünmenin doğrusal olmayan davranışlarını öngörebildiğini göstermektedir.

Ericksen ve Gordaninejad (2003), Bu makalede, yeni bir çeşit, akıllı, kontrol edilebilir MR (manyetoreolojik) sıvının özelliklerini araştırmak için, reolojik modeller üzerinde durulmaktadır. MR damperlerinin yapısal formlarının analizine dayanarak, MR damperinin geliştirilmiş bir yapısı önerilmiş, yeni MR damperin özellikleri test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, Herschel-Bulkley modelinin kuvvet-hızını iyi tahmin ettiğini; MR damperinin iyileştirilmiş yapısının sönümlenme özelliklerinin geliştirildiğini, uyarım bir trigonal sinyal olduğunda, MR damperinin yüksek hızda inceltme etkisini ortaya çıkardığını ve uyarım bir sinüzoidal sinyal olduğunda, MR sönümleyici sönümlenme kuvveti ile göreli hız arasında doğrusal olmayan bir histeretik özellik gösterdiğini ortaya koymuştur.

Attia vd. (2005), Bu çalışmada, magneto-reolojik akışkanların temel özellikleri, uygulama alanları, MR akışkan damperlerinin birkaç temel yapı tasarımı, MR damperler, MR akışkan silindirleri ve MR akışkan kontrol vanalarının düzenleme konfigürasyonları ele alınmıştır.

Bundan sonra sensör bazlı MR akışkan sönümleyici sistemleri, kendinden güçlü MR akışkan sönümleyici sistemleri, emniyetli MR akışkan sönümleme sistemleri ve entegre yaylı MR sıvı damper sistemleri içeren MR akışkan sönümleyici sistemlerin tasarım konuları tartışılmıştır.

Çalışma, ayrıca, MR akışkan damperlerinin analiz ve tasarımının sistematik bir niceliksel bakış açısına sahip olması için, çalışma, performans spesifikasyonu, analitik modelleme, parametre optimizasyonu gibi performans analizi konularının bir özetini de içermektedir.

Attia (2006), Bu çalışmada, yüksek piston hızında gerçekleştirilen damperin akışkan ve pnömatik sertliğinin de dahil olduğu MR damper davranışını yakalamak için bir model önerilmiştir. Damperin kendiliğinden ısınmasının model parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve sıcaklık değişimi ile eğilimler sunulmuştur.

Li ve Du (2003), Bu çalışmada, MR sıvısı ve cihaz duvarları arasındaki sürtünme kuvveti etkileri modellerine dayanarak damper davranışını açıklayan sürekli bir elektromekanik model oluşturulmuştur.

Statik ve kararlı durum yük koşulları ve uygulanan manyetik alan değerleri altında test edilecek modeli doğrulamak için bir magneto-reolojik alet üretilmiştir.

MR akışkanının sürtünme katsayısı ve manyetik geçirgenliği deneysel olarak tahmin edilmiş ve önerilen modelin etkinliği doğrulanmıştır.

Bullough vd. (2001), Bu çalışmada, 2 boyutlu aksi simetrik MR damperin performansını analiz etmek ve incelemek için bir sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Değişken sayıda dönüş ve kutup uzunluğu ile damper pistonunun çeşitli konfigürasyonları simüle edilmiştir. Ayrıca, seçilen konfigürasyonun piston uçları yenilenmiş ve araştırılmıştır.

Bobine giren akım ve piston hızı, manyetik alan yoğunluğu (H) ve sönüm kuvvetindeki değişimi değerlendirmek için değiştirilmiştir.

Damperin çeşitli konfigürasyonlarının simülasyon sonuçları, dolgulu piston uçlarının aynı bobin akımı ve piston hızı için diğer konfigürasyonların performansından daha üstün olduğunu göstermektedir.

Ellam vd. (2005), Bu çalışma, valf makarasını döndürerek 1 mm'den 2 mm'ye kadar değişen ayarlanabilir bir direnç boşluğuna sahip yeni bir MR valfin tasarımını ve geliştirilmesini özetlemektedir.

Bu önerilen MR valfinin sonlu elemanlar modellenmesi ve analizi, optimal manyetik alan dağılımı ve manyetik akış yoğunluğu elde etme de dahil olmak üzere ANSYS / Emag yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

MR valfindeki basınç düşüşünün matematiksel bir modeli, konik dairesel direnç aralığı göz önüne alınarak basınç düşürme mekanizmasını incelemek üzere yapılmıştır.

Ayrıca, ayarlanabilir bir direnç aralığına sahip olan bu önerilen MR valfi, deneysel olarak prototiplenmiş ve MR valfinin verimliliğini önemli ölçüde arttığı gösterilmiştir.

Susan-Resiga (2009), Bu makalede, akıllı yapı özelliklerinin tüm gereksinimine göre tasarlanan MR akıllı yapı tasarımı yöntemi sunulmuştur.

Olağan manyetik devre tasarımı analizinin yanı sıra parçacıkların hacim fraksiyonu gibi MR sıvı fiziksel içeriği, ürünlerin tasarım parametrelerine dahil edilmiştir.

Aynı zamanda, yapısal parametrelerden yararlanılarak, MR cihazlarının tepki süresi, MR cihazları içindeki elektromanyetik bobinlerin zaman sabiti de analiz edilerek tasarlanmıştır.

Lekic ve Kok (2008) , Bu çalışmada, MR damper kullanılarak üç mekanik yapı titreşim kontrolünün laboratuvar testleri sırasında toplanan deneysel verileri özetlenmektedir. Birinci uygulama, sürücü koltuğu süspansiyonundaki titreşim kontrolü ile ilgili olup kontrolün amacı sürücünün dikey ivmesini azaltmaktır.

İkinci uygulama zift düzlemi araç süspansiyonunda titreşim kontrolünü kapsamaktadır ve kontrol amacı aracın düşey ve açısız hızlandırmalarını azaltmaktır.

Üçüncü uygulama, asılı bir kablonun titreşim kontrolü ile ilgili olup kontrolün amacı kabloun transvers serbest titreşimlerini azaltmaktır.

Elde edilen sonuçlar, MR damperlerin kontrolü ile elde edilen sistem performansında iyileşme olduğunu göstermektedir.

GDI motoru içindeki basınç atışlarının nispeten düşük frekans aralığı ve kullanılan benzinli yakıtın yüksek basıncı, bir T-filtresi ve Helmholtz gibi mevcut basınçlı darbe damperleri uygulanmasını engellemektedir.

Bu nedenle, otomotiv şirketleri, gazla dolu akümülatör adı verilen yeni bir basınç darbesi damper yapısını kullanmaktadır.

Bir GDI motoru için geliştirilen akümülatörde kullanılan diyafram profilini optimize etmek için, bu araştırma, akümülatör içindeki zarflanmış gazın izoentalpi durumunu varsayarak basınç değişimini göz önüne alan yeni bir sonlu elemanlar prosedürü geliştirmiştir.

BÖLÜM 3. MR DAMPERİN YAPISI

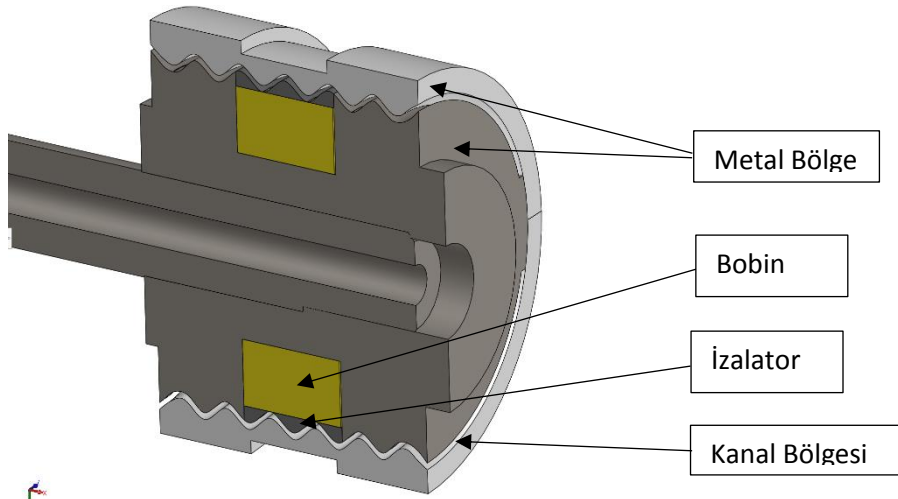
MR damperler prensipte şu şekilde çalışır; yüksek basınç bir sıvının dar bir kanaldan zorlanmasıyla buradan çıkan sıvının basıncında bir düşüşe yol acar. Bu kanal boyunca oluşan tepki kuvveti MR sıvının manyetik olarak tetiklenmesi ile meydana gelmektedir.

Bununla birlikte, bir MR damperinde, piston tertibatına bir elektrik devresi verilir. Dampere elektrik akımı sağlandığı için, pistonun içindeki bir bobin manyetik bir alan oluşturur ve pistondaki MR Sıvısının özelliklerini anında değiştirir (Şekil 3.1.). Sonuç olarak, damperin direnci, elektrik akımını dampere ayarlayarak gerçek zamanlı olarak sürekli olarak değiştirilebilir.

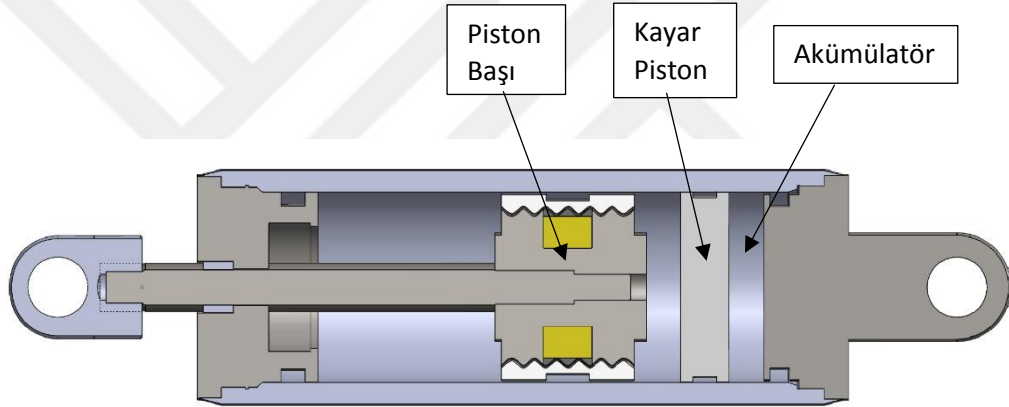
Piston başı iler ayrılan hazneler MR sıvısı ile doldurulur. Yalnız piston çubuğunun yukarı ve aşağı hareketi ile meydana gelen hacim değişikliğini telafi etmek amacıyla Şekil 3.2.'de gösterilen akümülatör kullanılır. Akümülatörün içerisi ise azat gazı ile doldurulur.

MR damperin piston çubuğunun hareketi sırasında sıvı piston kafasından açılan halka şeklindeki boşluktan akar. Piston kafasının içinde, bobin milinin etrafına sıvıya dayanıklı ve elektriksel olarak yalıtımlı bir tel ile sarılır. Bobine elektrik akımı uygulandığında piston kafasının etrafında manyetik alan gelişir.

MR akışkanının içindeki manyetik olarak indüklenen demir parçacıkları, bir sönümlenme kuvveti üreten akışa dayanacak şekilde manyetik akı çizgileri yönünde hizalanır. Manyetik alanın yokluğunda, MR sıvısı newtonyen bir akışkan gibi davranır.



Şekil 3.1. MR damperin piston kafası ve iç yapısı



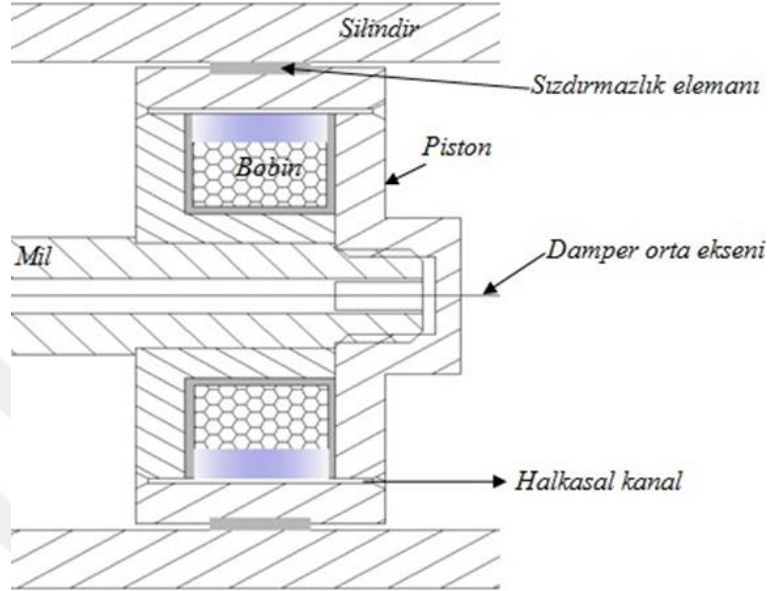
Şekil 3.2. MR damperin yapısı kesit görünümü

3.1. Mr Damperin Akış Analizi

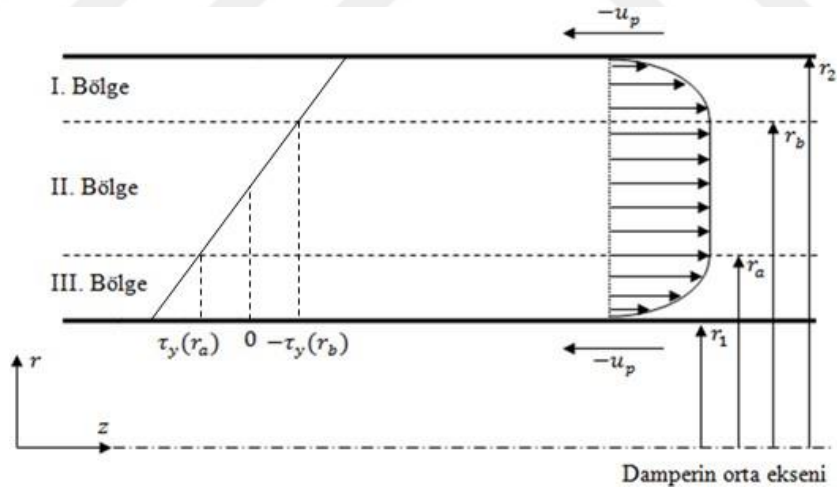
3.1.1. MR akışkanın halkasal kanaldan akışı

Bu bölümde MR damperde, piston kafasındaki halka şeklinde bir kanalda meydana gelen ve aktif durumda Newton tipi olmayan bir davranış sergileyen akışı çözümü kolaylaştırmak için Bingham plastik modeli kullanarak, Navier-Stokes denklemleri temelinde bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizde kanal boyunca meydana gelen basınç düşümü, MR sıvı özelliklerinin, geometrinin ve hacimsel debinin bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir. Basınç düşümünü bulmak için elde edilen basınç

gradyeninde, anahtar değer çekirdek bölge kalınlığı olmuştur. Çekirdek bölge kalınlığı elde edildiğinde buradan basınç gradyenine gitmek son derece kolay olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 3.3. MR damperin piston kafası ve akış kanalının genel görünümü



Şekil 3.4. Akış kanalındaki hız ve kayma gerilmesi dağılımı

Şekilde gösterilen I ve III bölgelerinde, kayma gerilmesi akma gerilmesini aşmış durumdadır, dolayısıyla kayma akışı vardır. II bölgede ise akma gerilmesi kayma gerilmesinden daha büyüktür ve kayma şeklinde bir akış söz konusu değildir. Dolayısıyla çekirdek bölge içerisinde herhangi bir hız gradyeni bulunmamakta,

akışkan katı bir blok gibi akmaktadır. Silindirik bir kanal içerisinde daimi, laminar akış olarak ayrıca piston hızı sabit ve kanaldaki akış tam gelişmiş akış olarak ele alınsın. Buna göre silindirik koordinatlarda süreklilik ve Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki gibi yazılır.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (3.1)$$

Lineer momentum korunumu:

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \otimes v) = \nabla \cdot \sigma + f_b \quad (3.2)$$

Ayrıca çalışmada ki manyetik bölüm ile alakalı yapılan hesaplamada da 3.3 , 3.4, 3.5 ve 3.6 da ki denklemler kullanılmıştır

Maxwell denklemleri ;

$$\frac{\partial B}{\partial t} + \nabla \times E = 0 \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} - \nabla \times H = -J \quad (3.4)$$

$$\nabla \times D = \rho \quad (3.5)$$

$$\nabla \times B = 0 \quad (3.6)$$

Yukarıda tanımlanan Süreklilik, Momentum ve Maxwell denklemlerin tanımı çalışmada analizlerin yapılması için kullanılan STAR-CCM+ programının teorik rehberinden alınmıştır[26].

Çalışmada yapılan analizlerde aşağıda 3.5 no lu denklemde belirtilen akma gerilmesi ve manyetik alan yoğunluğu arasındaki ilişki dördüncü dereceden denklem ile ifade

edilmiştir. Bu denklem Lord firmasının MRF-132DG akışkanına aittir[25]. Çalışmamızda da Tablo 1.1.'de belirtildiği gibi bu akışkanın malzeme değerleri kullanılmıştır.

$$\tau_y = 52.962 * B^4 - 176.51 * B^3 + 158.79 * B^2 + 13.708 * B + 0.1442 \quad (3.7)$$

Burada B manyetik akı yoğunluğudur ve birimi Tesla, akma gerilmesi τ_y 'nin birimi ise Kpa'dır.

3.1.2. Dinamik oran formülü

Bir MR damperin ürettiği toplam kuvvet üç temel kuvvetin toplamından oluşmaktadır (Denklem 3.8). Bunlar birbirine temas eden mekanik bileşenlerin sürtünmesi ile oluşan sürtünme kuvveti (F_s), viskoz sürtünmelerden dolayı oluşan viskozite kuvveti (F_μ), MR akışkanın içerisinde yer alan metal partiküllerin manyetik tetikleme ile oluşturduğu manyetik alan kuvvetidir(F_t). Bu kuvvetler ve toplamı aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$F = F_\mu + F_t + F_s \quad (3.8)$$

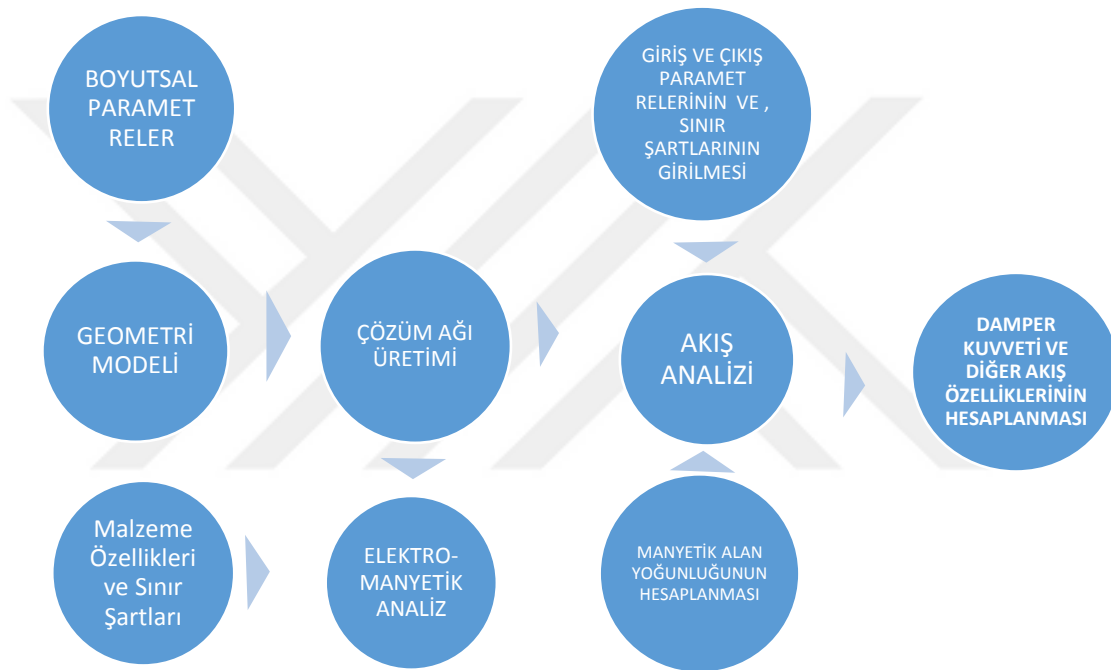
Bu kuvvetler incelendiği zaman F_s ve F_μ herbir farklı damper hareketine bağlı olarak sabit bir değer elde edildiği için bu kuvvetler kontrol edilemeyen kuvvet olarak anılırlar. Toplam kuvvelerin kontrol edilemeyen kuvvetlere oranı alındığı zaman boyutsuz bir parametre olan dinamik oranı, D, elde etmiş oluruz. Bu parametreyi MR damperlerde performansı değerlendirmek için kullanmaktayız.

Dinamik oran ve kontrol edilebilir kuvvet MR damperlerin performansının belirlenmesinde ki en önemli iki parametredir. Dinamik oranın değeri ise aşağıdaki gibi (Denklem 3.9.'la) elde edilmektedir.

$$D = 1 + \frac{F_t}{F_\mu + F_s} \quad (3.9)$$

BÖLÜM 4. MR DAMPER TASARIMI VE OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

4.1. Eş Zamanlı (Coupled) Analizler Analiz İş Akış Diyagramı



Şekil 4.1. Eş Zamanlı Analiz Çalışmasının Adımları

Analiz modeli oluşturulurken şemada da görüldüğü gibi ilk olarak MR damper ile alakalı kanal genişliği, yüksekliği, piston çapı gibi boyutsal parametreler belirlenir. Bu parametreler ışığında geometrik model oluşturulur. Geometri de hem manyetik hem de akış bölgesi için çözüm ağı oluşturulur. Çözüm ağı oluşturulurken sonuçları oluşturan grafiklerdeki değerlerin kararlılığı ve görsellerdeki dağılımın ... dikkate alınır. elektromanyetik analiz de malzeme özellikleri ve sarım sayısı, akım değerleri gibi sınır şartları girilerek manyetik alan yoğunluğu hesaplanır. Bu değer akış analizinde girdi olarak tanımlanır ve akışkan bölgedeki akma gerilmesi hesaplanır.

Akış bölgesi için piston hızı, strok mesafesi gibi sınır koşulları ve akışkanın malzeme tanımı yaparak analiz çözdürülür. Sonuç olarak damperin tepki kuvveti hesaplanır.

4.2. Tasarım ve Optimizasyon Çalışmaları

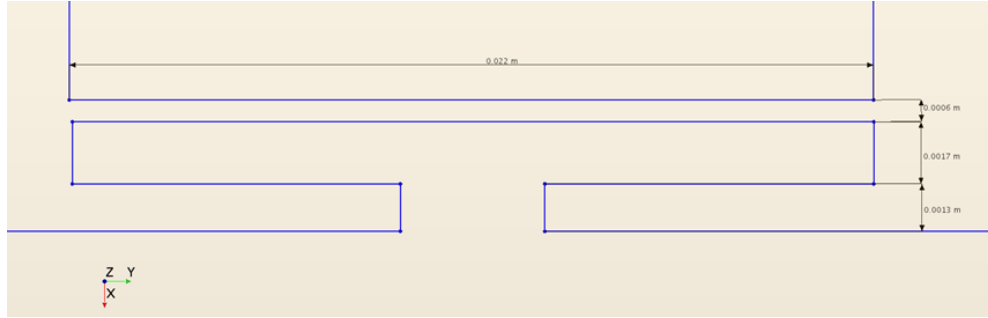
Mevcut MR damperlerde bulunan akışkan kanal tasarım genellikle düz olmaktadır. Bu tasarımına alternatif olarak aynı akım şiddetinde daha büyük bir tepki kuvveti elde etmek için farklı kanal tasarımı arayışlarına girişilmiştir. Bu kapsamda oluşturulacak yeni tasarımların bir çerçeve içerisine alınabilmesi için bazı kıstaslar belirlenmesi gerekiyordu. Bu çalışmada tasarlanan yeni kanal geometrilerinin bobinin akım altında oluşturduğu elektromanyetik alanın dağılımının artırılması ve elektromanyetik yoğunluğunun yükseltilmesi hedeflenmiştir. Artan bu değerler sayesinde damperin tepki kuvvetinin yükseltilmesi planlanmıştır. Yalnız bu tek başına yeterli değildir. Bu damper aynı zamanda tüm çalışma hızlarında da viskoz kayıplarının minimum olması istenmiştir. Bu sayede dinamik aralığında arttırılması planlanmıştır.

Tepki kuvvetinin yükselmesi ve viskoz kayıplarının düşülmesine yönelik tasarlanacak olan yeni kanal modelinin üretilebilir olması önemli bir husustur.

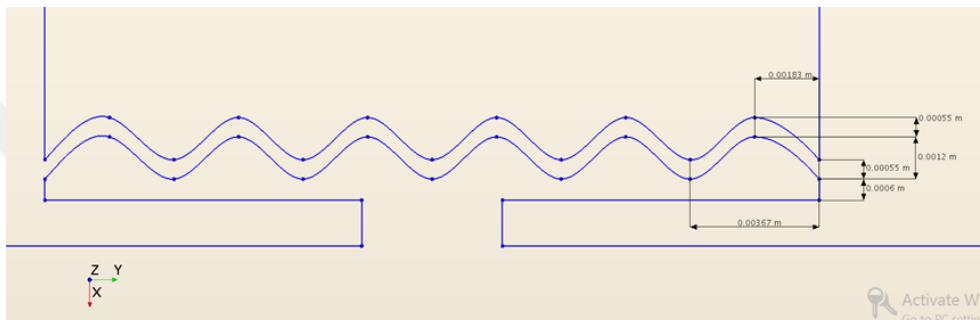
Ön gördüğümüz ve şekil olarak farklı davranış sergileyeceğini düşündüğümüz yeni kanal tasarımı için üç farklı konsept geometri belirlenmiştir. Bunlar üçgen, kare ve sinüs fonksiyon geometrileridir. Bu üç geometri belirlendikten sonra ilk olarak üçünün de konsept bir şekli oluşturulup bu üç tasarımın analizleri yapılmıştır. Sonrasında yapılan analizler sonrası sinüzoidal tasarımda karar kılınmıştır. Bu tasarımında da sinüzoidal geometrinin farklı genlik ve dalga boyundaki davranışı incelenmiştir. Aşağıda kanal tasarımlarının şekli resmedilmiş olup üç farklı tasarımın ve türevlerinin geometrik ölçüleri verilmiştir.

Buna ek olarak üçgen fonksiyon geometrisinin köşeleri ve uçları yuvarlatılmış haliyle analiz yapılmıştır.

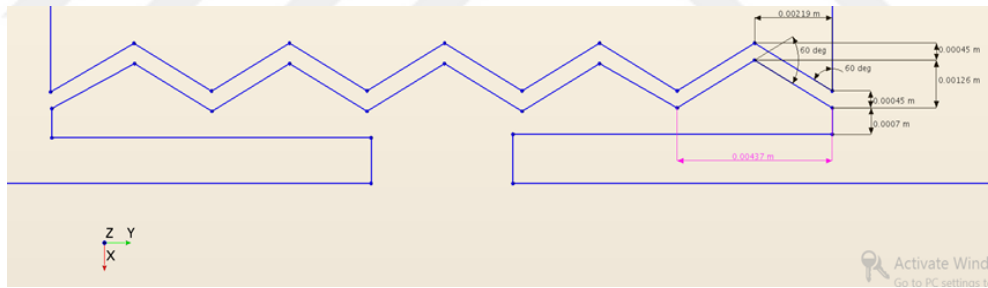
Geometri Türleri



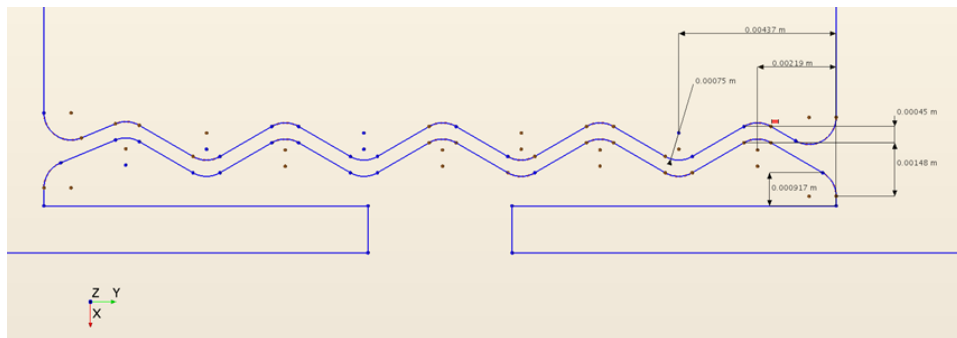
Şekil 4.2. Düz Kanal Tasarımı ve Ölçüleri



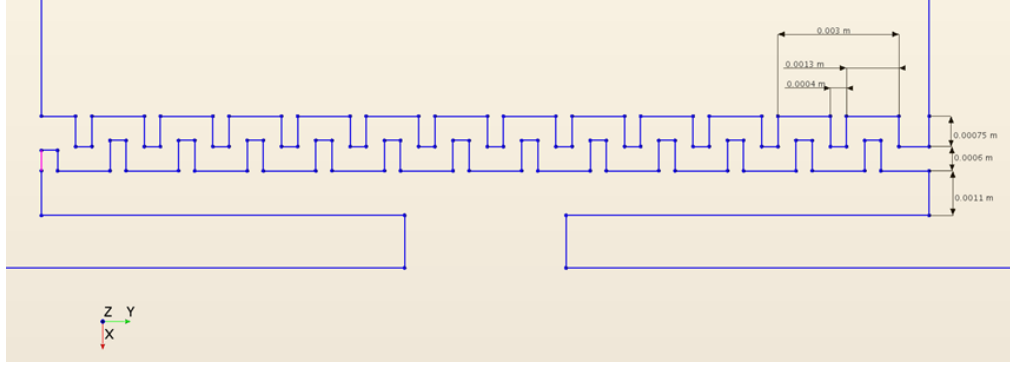
Şekil 4.3. Sinuzoidal Kanal Tasarımı ve Ölçüleri



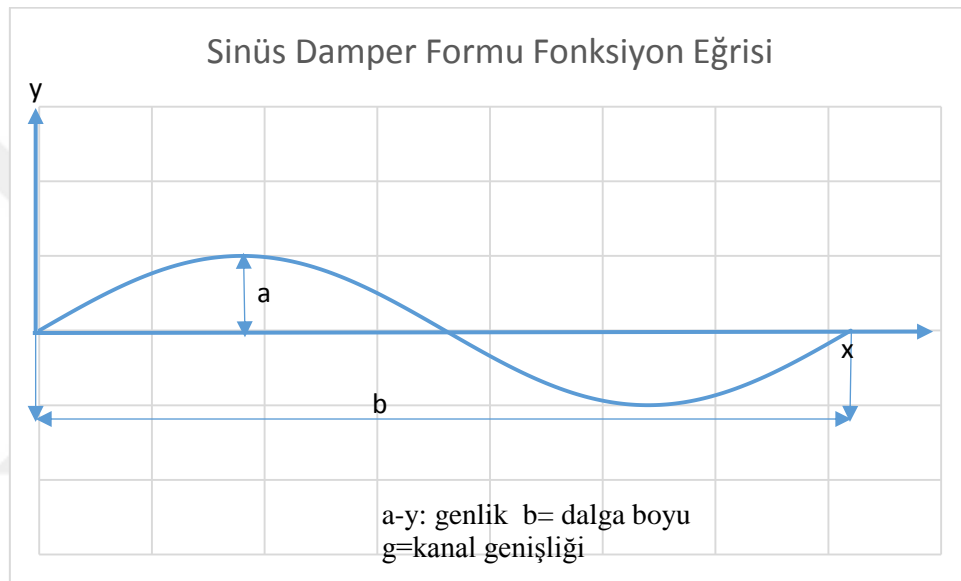
Şekil 4.4. Trapez Kanal Tasarımı ve Ölçüleri



Şekil 4.5. Yuvarlatılmış Kanal Tasarımı ve Ölçüleri

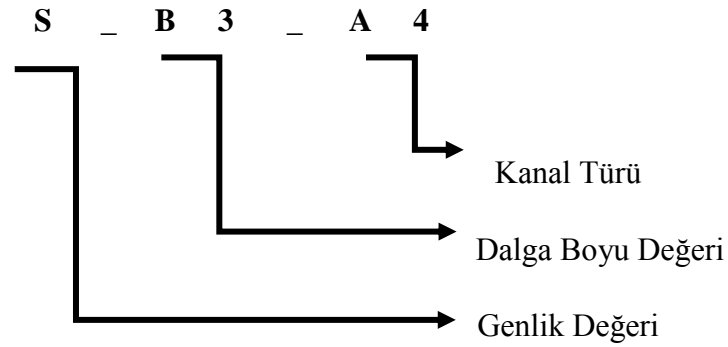


Şekil 4.6. Kare Kanal Tasarımı ve Ölçüleri



Şekil 4.7. Sinüzoidal Kanal Boyutsal Parametreler

Sinüzoidal kanalların tasarımı Şekil 4.6.'da ki gibi gösterilmiş olup numaralandırması da aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Burada İlk sıradaki S:Sinüzoidal Kanal, B:Dalga Boyu, A:Genlik olduğu A ve B değerlerinin yanındaki rakamlarının küçükten büyüğe göre artış değerlerinin numaralandırması olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.8. Sinüzoidal Kanal Numaralandırması

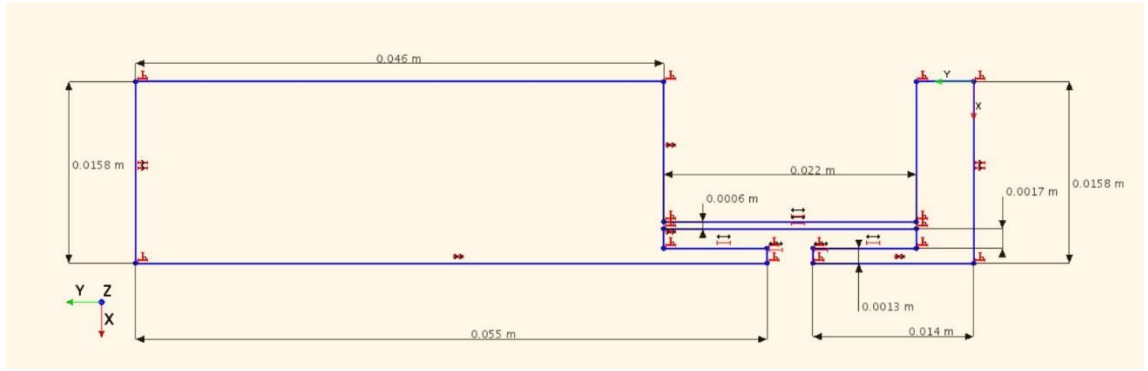
Tablo 4.1. Tasarlanan Sinüzoidal Kanal Ölçüleri

$y=a*\sin(x*k)$	$\sin(x)=2*\pi$	$\sin(k*x)=2*\pi/k$	$y=2*\pi/k$
Tasarım İsmi	Genlik (a) mm	Dalga Boyu (b) mm	k
S_B1_A4	0.012	0.00275	2284.72
S_B2_A4	0.012	0.0055	13.70
S_B3_A4	0.012	0.00367	20.54
S_B4_A4	0.012	0.0022	34.27
S-B3-A1	0.005	0.00367	8.56
S-B3-A2	0.008	0.00367	13.70
S-B3-A3	0.01	0.00367	17.12
S-B3-A5	0.015	0.00367	25.68

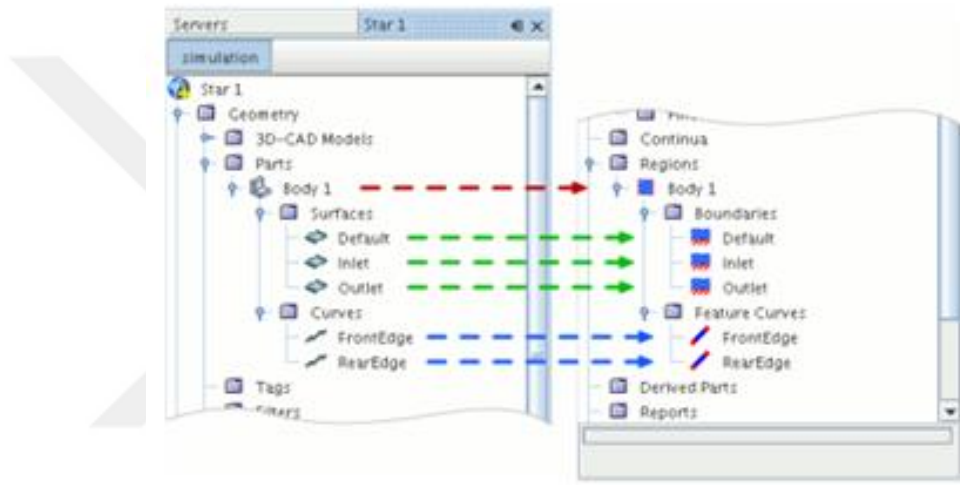
4.3. Analiz Modelinin Parametrik Olarak Oluşturulması

Yapılan çalışmalarda farklı geometrik ölçülere göre modelin incelenmesinde; yani parametrik optimizasyon konusunda geometri değişimine harcanan zamanı minimize etmek için çizim analiz programı içinde yapılmış kritik ölçülere parametre verilmiştir. Ayrıca bu çizim modeli analiz bölümü ile ilişkilendirilmiştir.

Geometri üzerinde yapılan değişiklikler çizim bölümünde kaydedildikten sonra, analiz; yeniden çözüm ağı oluşturulduğu zaman çözüm kaldığı yerden devam edecek şekilde ilerlemektedir.



Şekil 4.9. Parametrik Ölçülandırma



Şekil 4.10. İlişkilendirme bölümü

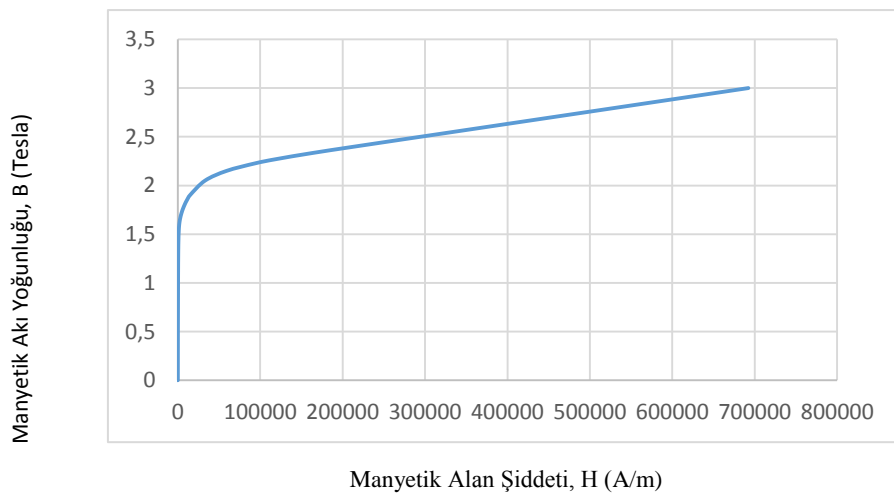
BÖLÜM 5. MR DAMPERİN MANYETİK ALAN VE AKIŞKAN BÖLGESİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

5.1. Malzeme Bilgileri

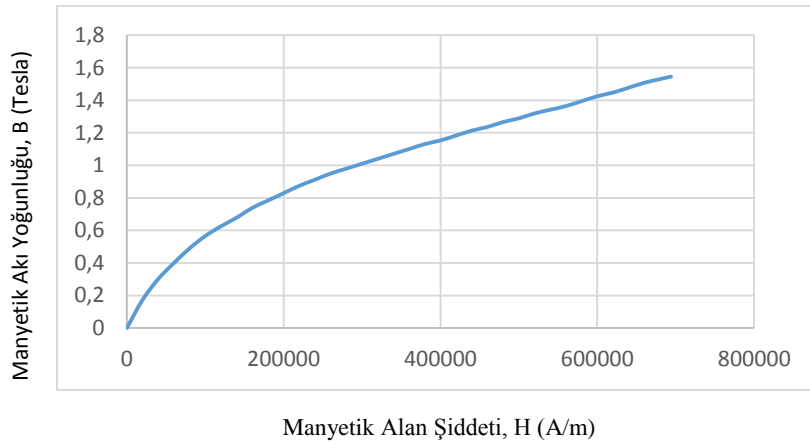
Analiz modelinde; oluşturulan bölgelere tanımlanan malzemelerin listesi ve malzeme açıklamaları aşağıdaki gibidir.

Tablo 5.1. Malzeme Özellikleri

Özellik	İç metal – dış metal	İzolatör	Bobin	Akışkan
Yoğunluk (kg/m ³)	8055.0	2329.0	8940.0	3090.0
Elektrik İletkenliği (S/m)	0.0	0.0	5.96E7	5.5E-6
Manyetik Geçirgenliği (H/m)	Şekil 5.1	1.26E-6	1.25663E-6	Şekil 5.2
Dinamik Viskozite (Pa.s)	-	-	-	Şekil 1.4
Malzeme türü	1040 Çeliği	Reçine	Bakır	MR sıvısı



Şekil 5.1. 1040 Çeliği B-H eğrisi



Şekil 5.2. MR sıvının B-H eğrisi

5.2. Yöntem

Tez çalışmasında ilk olarak Şekil 4.1.'deki düz kanal tasarımı Parlak (2010) doktora tezinde yapılmış olan MR damper modelinin geometrisi ve sınır şartları aynı olacak şekilde simülasyon programında modellenmiştir. Aynı modelde zaman adımı U.R.F değerleri ve çözüm ağı değiştirilerek hem daha hassas hem de dönüşlerde daha yumuşak grafik elde edebileceğimiz bir çözüm modeli oluşturulmuştur. Böylece model oturturma çalışmaları tamamlanmıştır.

5.3. Akışkan Bölümü Yaklaşımları

Damperin hareket modeli için kayan çözüm ağı (overset mesh) tekniği kullanılmıştır. Bu sebeple akışkan bölge iki farklı hacimden oluşmakta olup bu bölgeler ; bir adet piston uzunluğu kadar olan gövde ve bu gövde üzerinde yukarı-aşağı hareket eden kayan çözüm ağı bölgesinden oluşmaktadır. Ayrıca diğer tüm hacimler bu kayan çözüm ağı bölgenin içinde bulunmakta olup, beraber tek yönde/doğrultuda lineer olarak (piston hareketi) hareket etmektedir.

Bu modelin bozulan çözüm ağı morphing mesh modeline kıyasla avantajı, çözüm ağında herhangi bir deformasyon, kayma ya da bozulma olmadığı için çözüm kalitesi korunmaktadır. Çözüm süresi bozulan çözüm ağı modelindeki gibi harekete maruz kalan düğüm noktaları olmadığı için daha kısa olacaktır. Ayrıca kanal bölgesi üst ya

da alt bölgeler de sık çözüm ağı kullanılması yerine sadece kayan çözüm ağı ile tanımlanan bölgede gereken yerlerin çözüm ağının sıklaştırılması yeterlidir.

Ek olarak daha önce bahsedildiği gibi simülasyon modeli 360 derece yani tam model alındığı için, farklı kanal tasarımlarında ya da katı bölgenin tasarımında aksisimetrik olmayan bölgeler de simülasyon modelinde tanımlanabilecek ve daha gerçekçi bir çözüm elde edilebilecektir.

Akışkan bölgelerinin modellenmesinde dörtyüzlü çözüm ağı (tetrahedral mesh) kullanılmış olup, kanal bölgesinde çözüm ağı sıklaştırılmış olup kayan çözüm ağı bölgenin gövde ile temasa geçtiği yerlerde ise seyreltilmiştir. Gövde bölgesinde ise tek ve sabit büyüklükte eleman boyutu kullanılmıştır.

Kayan çözüm ağı bölgesinde yaklaşık olarak 1090000 adet çözüm ağı hücresi, gövde bölgesinde ise yaklaşık olarak 608000 adet çözüm ağı hücresi kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Akışkan Bölge Geometrisi



Şekil 5.4. Akışkan Bölge Çözüm Ağı

Fizik modelinde ise; ayrık zamana bağımlı model kullanılmış olup çözücü olarak simple algoritması seçilmiştir. Üç boyutlu model kullanılmış olup, akışkan sabit yoğunlukta olup viskozite tanımlamasında Bingham Newton tipi olmayan akış modeli formül olarak tanımlanmıştır.

Elektromanyetik tanımlamada ise elektriksel iletimin tanımlanabilmesi için elektrodinamik potansiyel model, manyetik geçirgenliğin tanımlanabilmesi için manyetik vektör potansiyel modeli kullanılmıştır. Akışkan bölümde tüm domainde fizik modelleri sonlu hacimler metodu (SHM) göre çözdürülürken sadece manyetik vektör potansiyel modeli sonlu elemanlar metoduna (SEM) göre çözdürülmüştür. Çift taraflı manyeto hidrodinamik model kullanılmıştır.

5.4. Manyetik Alan Analizi Modeli

Bu bölüm iç metal, dış metal, izolatör ve bobin olmak üzere toplamda 4 bölgeden oluşmaktadır.

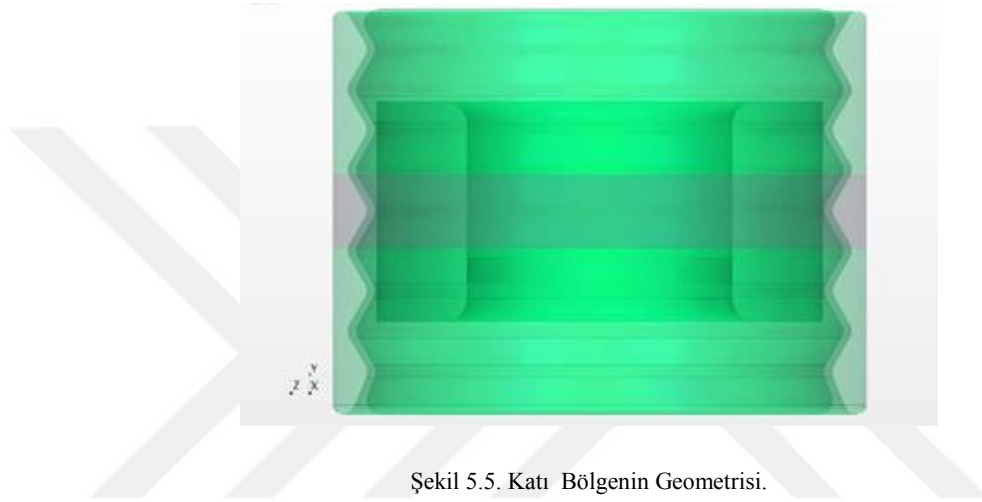
Katı domainin modellenmesinde dörtyüzlü çözüm ağı (tetrahedral mesh) kullanılmış olup, izolatörün iç metal ve dış metalin kanala temas ettiği bölgeler daha yoğun çözüm ağı tanımlanmış olup bobin ve metal bölgenin dönüş yerlerinde de sıklaştırılmıştır.

İç metal bölgesinde yaklaşık olarak 357000 adet çözüm ağı hücresi,
Dış metal bölgesinde yaklaşık olarak 315000 adet çözüm ağı hücresi,
İzolatör bölgesinde yaklaşık olarak 208000 adet çözüm ağı hücresi,

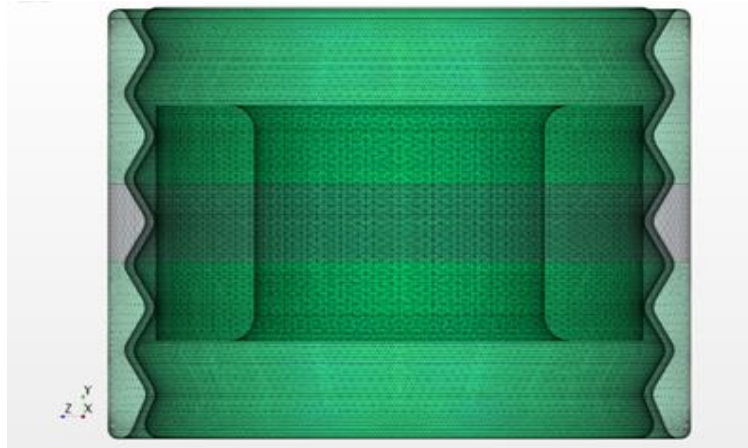
Bobin bölgesinde ise yaklaşık olarak 136000 adet çözüm ağı hücresi kullanılmıştır. Fizik modelinde ise; ayrık zamana bağımlı model kullanılmış olup çözücü olarak SIMPLE algoritması seçilmiştir. Üç boyutlu model kullanılmış olup, katı sabit yoğunlukta olup elektromanyetik tanımlamada SEM tabanlı manyetik vektör potansiyel modeli kullanılmıştır.

Manyetik geçirgenlik değerlerinde i metal ve dış metal bölgelerinde manyetik alana bağlı olarak değiştiği için tablo olarak tanımlanırken, bobin ve izolator bölgesi için sabit değer alınmıştır.

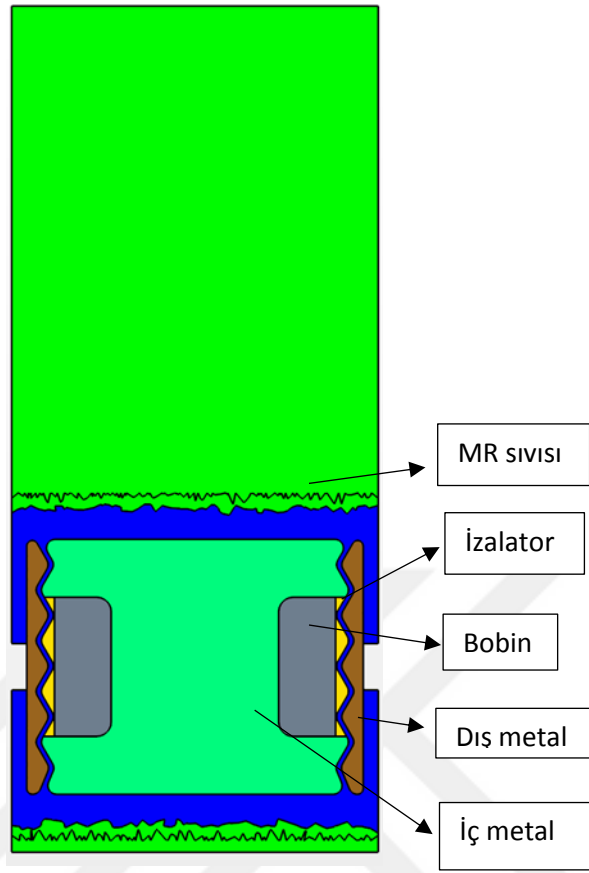
Bobin bölgesi için tahrik bobini modeli seçilmiştir. Bu bobinin sarım sayısı 220, bölge sayısı 1 ve kondüktör alanı %33 olarak belirlenmiştir. Akım şiddeti ise 0-2 A arasında farklı değerler olarak tanımlanmıştır.



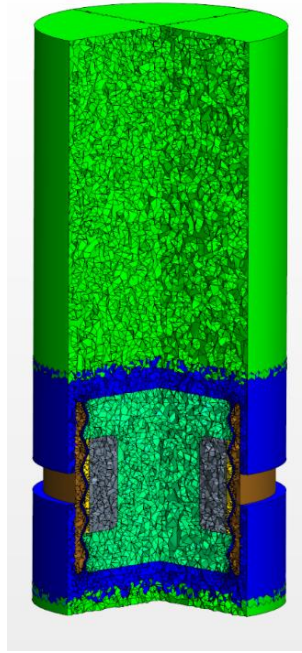
şekil 5.5. Katı Bölgenin Geometrisi.



şekil 5.6. Katı Bölgenin zm Ağı



Şekil 5.7. Tüm Geometrinin Kesit Hali.



Şekil 5.8. Tüm Gövde Çözüm Ağı.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Yapılan çalışmalar ve analizler sonucunda 14 farklı geometri toplamda 34 farklı koşulunda incelenmiştir. Çalışmaları kanal tasarımı, sinüzoidal kanalın genlik büyüklüğü ve sinüzoidal kanal şiddeti büyüklüğü olarak üç farklı gruba ayrılabilir.

Çalışmaların ilk bölümünde damperin kanal tasarımı incelenmiştir. Klasik düz kanal yerine önceki bölümlerde bahsedildiği gibi temelde üç farklı tasarım incelenmiştir. Yapılan çalışmalar doğrultusunda bulunan sonuçlar aşağıdaki açıklamalar ve görsellerde yer almaktadır.

6.1. Eş Zamanlı Manyetik Alan Akış Analiz Sonuçları

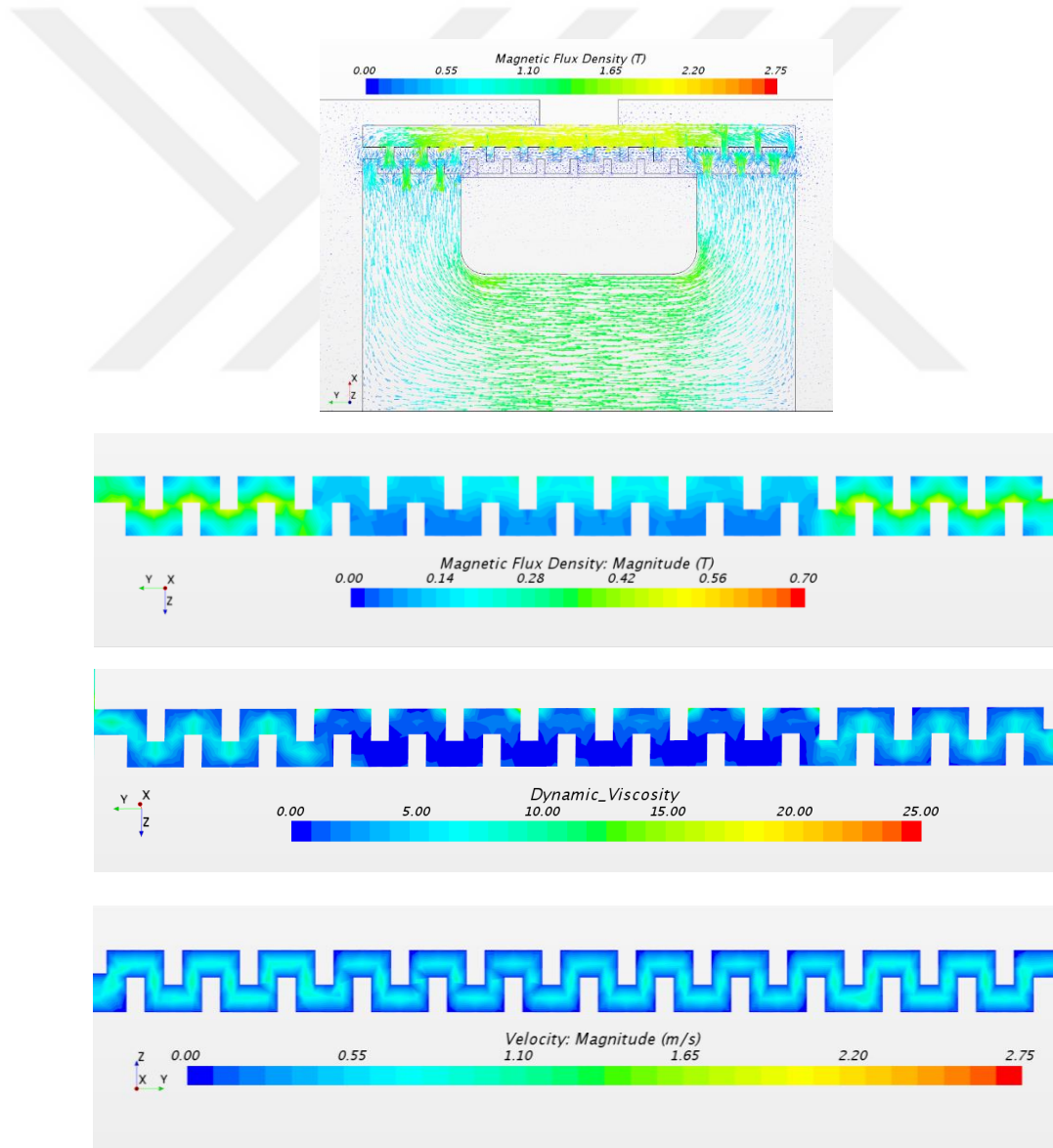
6.1.1. Tasarım türlerine göre analiz sonuçları

Aşağıdaki beş farklı tasarımın manyetik alan yoğunluğunun dağılımı şematik olarak elde edilmektedir. Görseller incelendiği zaman şu sonuçlar açığa çıkmaktadır. Düz kanallı damperde kanal bölgesinde manyetik yoğunluk sadece kanalın alt ve üst bölgesinde artmaktadır. Ara bölgede ise komple alt değerlerde kalmaktadır. Diğer tasarımlarda ise kanalın ara bölgelerinde de Manyetik yoğunluğun bölgesel olarak ya da tamamen yükseldiği görülmektedir. Kare tasarıma bakıldığında zaman ara bölgede tamamen yükseldiği; ama bu değer minimum değere yakın olduğu, sinüs ve üçgen tasarımlarda ise dış metal bölgenin incelendiği yerlerde yükseldiği ve maksimum değere yakın olduğu, yalnız dış metalin kalınlaştığı bölgelerde ise sifıra yakın olduğu görülmektedir.

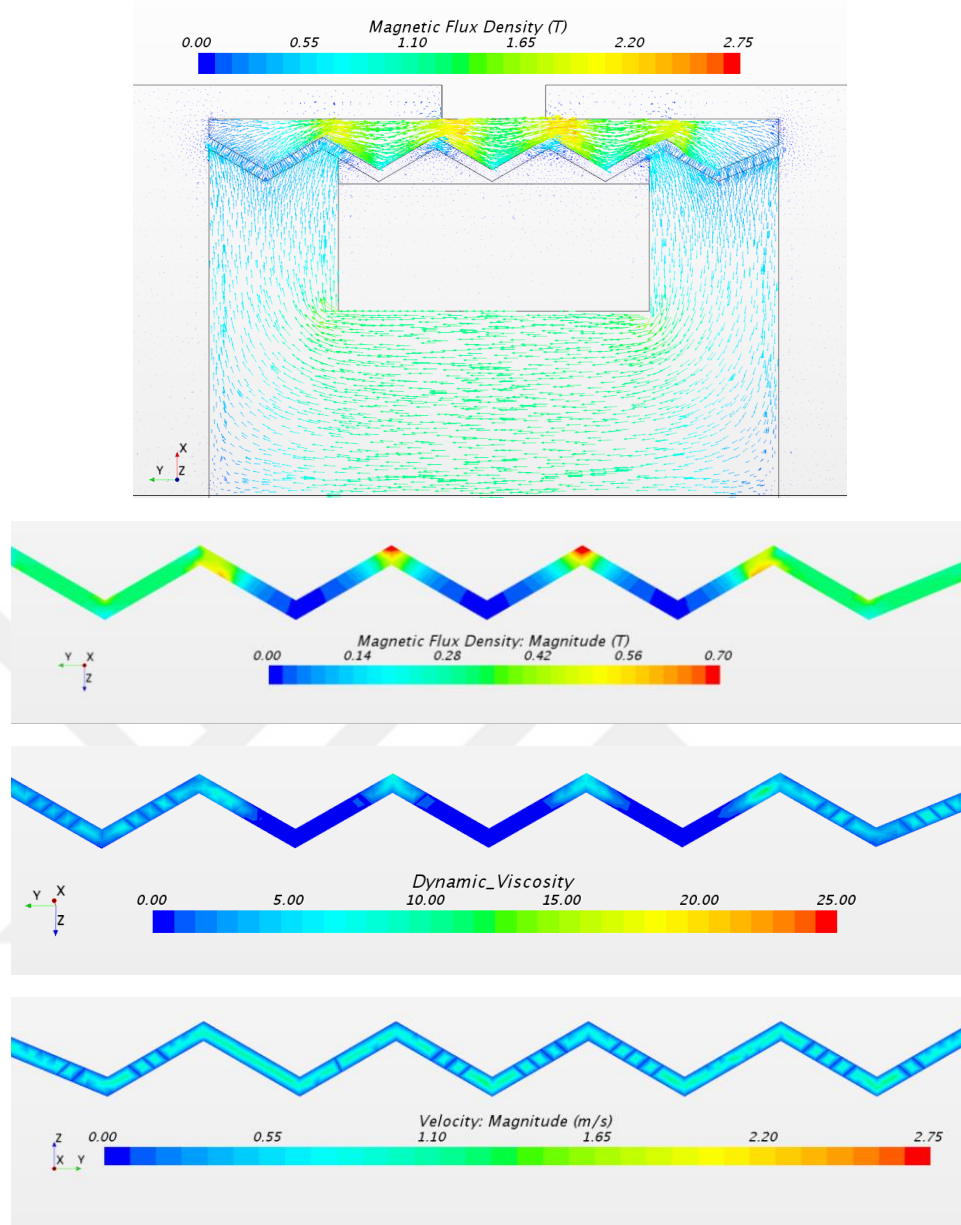
Geometrilere hız dağılımlarına bakıldığında zaman kanal içerisindeki homojen hız dağılımının sinüzoidal kanalda olduğu gözlenmektedir. En çok hız değişimlerinin

olduğu kanal ise kare profilde olmaktadır. Ayrıca hız farkları da en çok bu profilde gözlenmektedir. Genel olarak kanallardaki şekil değişimlerinin şiddeti yükseldikçe kanaldaki kayıplar ve akıştaki süreksizlikler artmıştır.

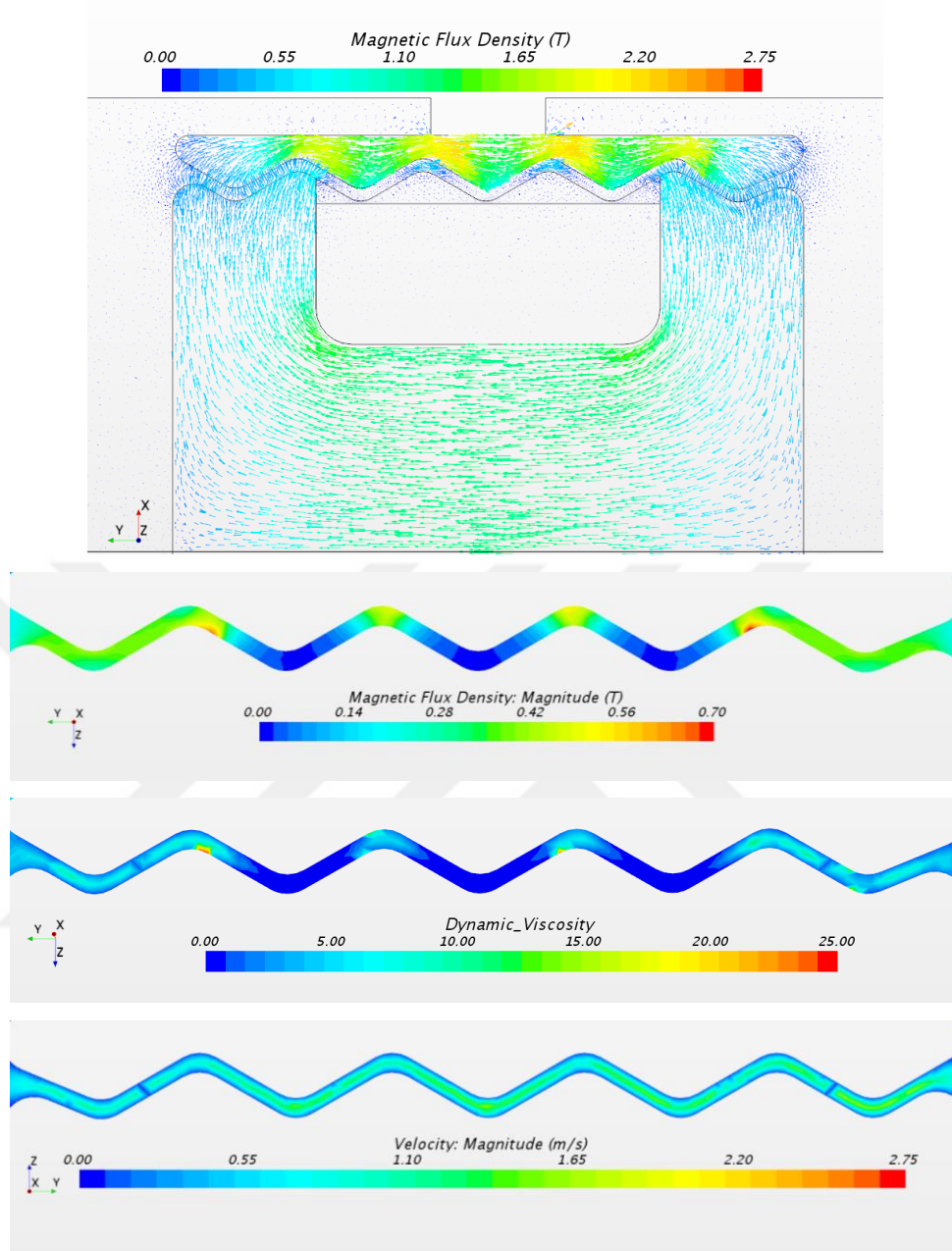
Viskozite dağılımları incelendiği zaman ise manyetik yoğunluk ile benzer dağılımlar göstermektedir. Düz kanallı damperde kanalın sadece üst ve alt bölgelerinde değerler yüksek iken alt iç bölgede viskozite minimum değerlerdedir. Yalnız diğer damperlerde manyetik dağılım ara bölgelerde de yüksek olduğu için viskozite değeride minimumdan yüksek olmaktadır. Burada sadece dış metalin dış bölgesinde manyetik yoğunluğu yüksek olduğu için viskozite maksimum değerlere ulaşmaktadır.



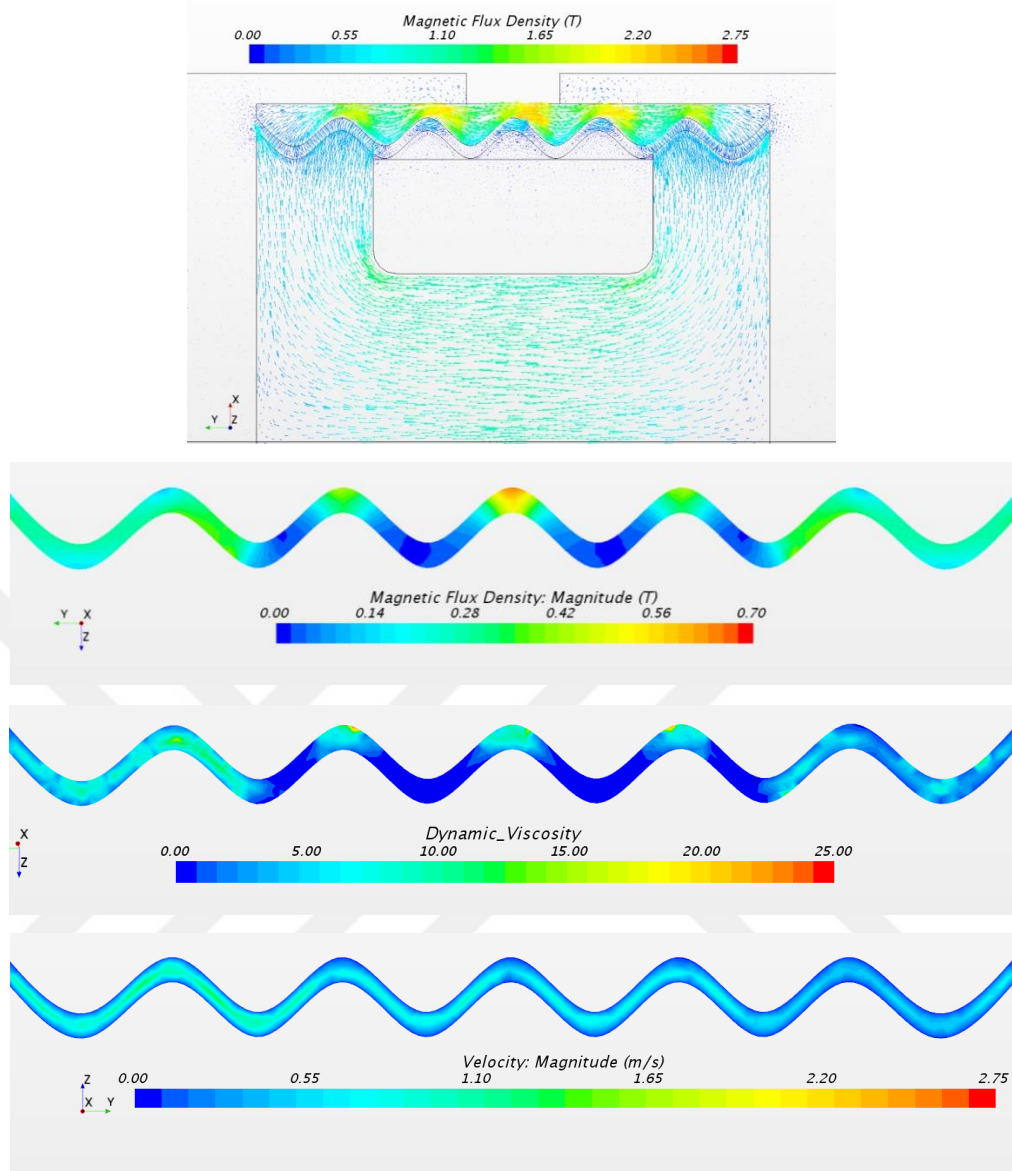
Şekil 6.1. kare kanal için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı



Şekil 6.2. Trapez kanal için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı



Şekil 6.3. Yuvarlatılmış kanal için yukarıdan aşağıya manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı



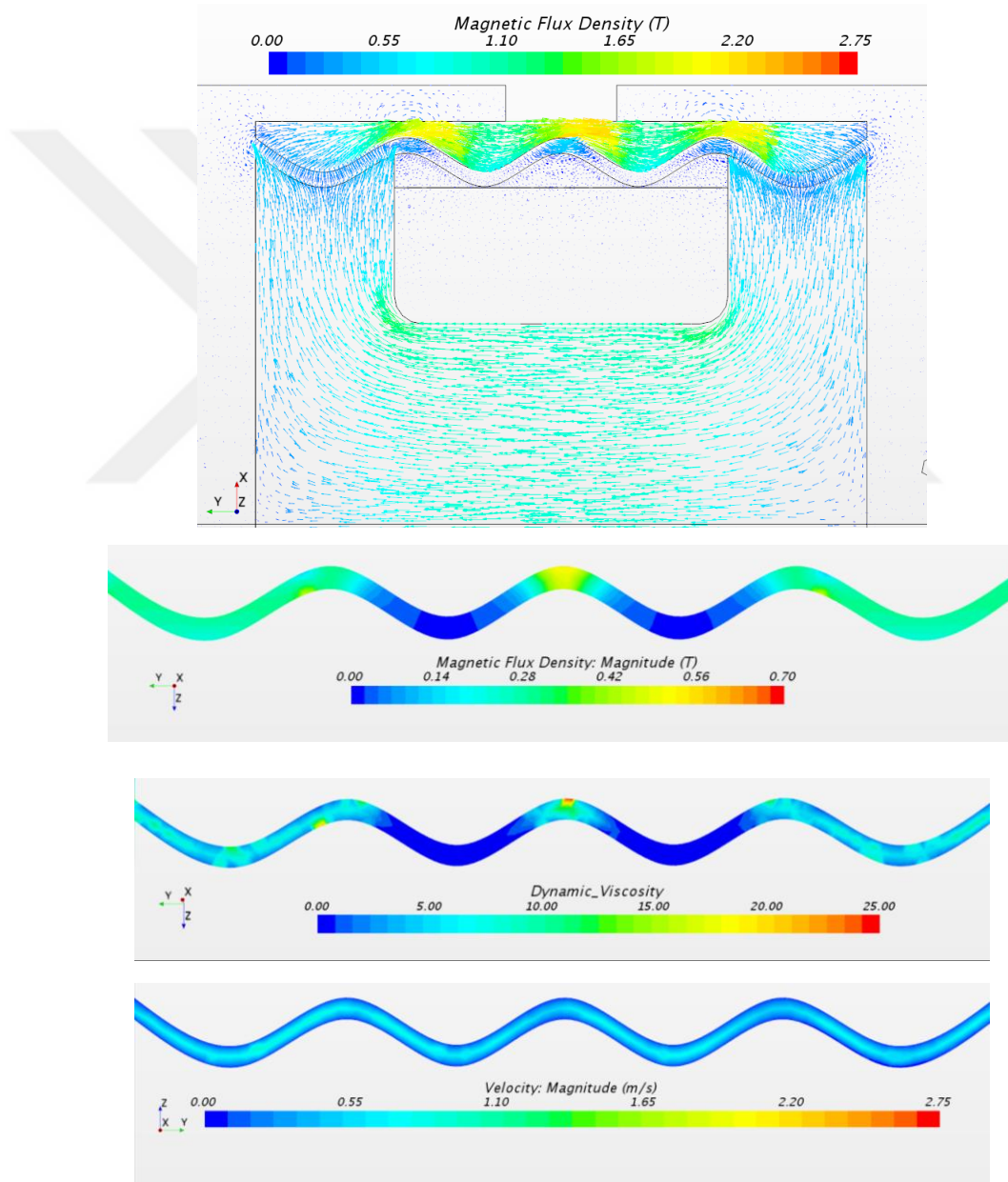
Şekil 6.4. Sinüzoidal kanal için yukarıdan aşağıya manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı

6.1.2. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre analiz sonuçları

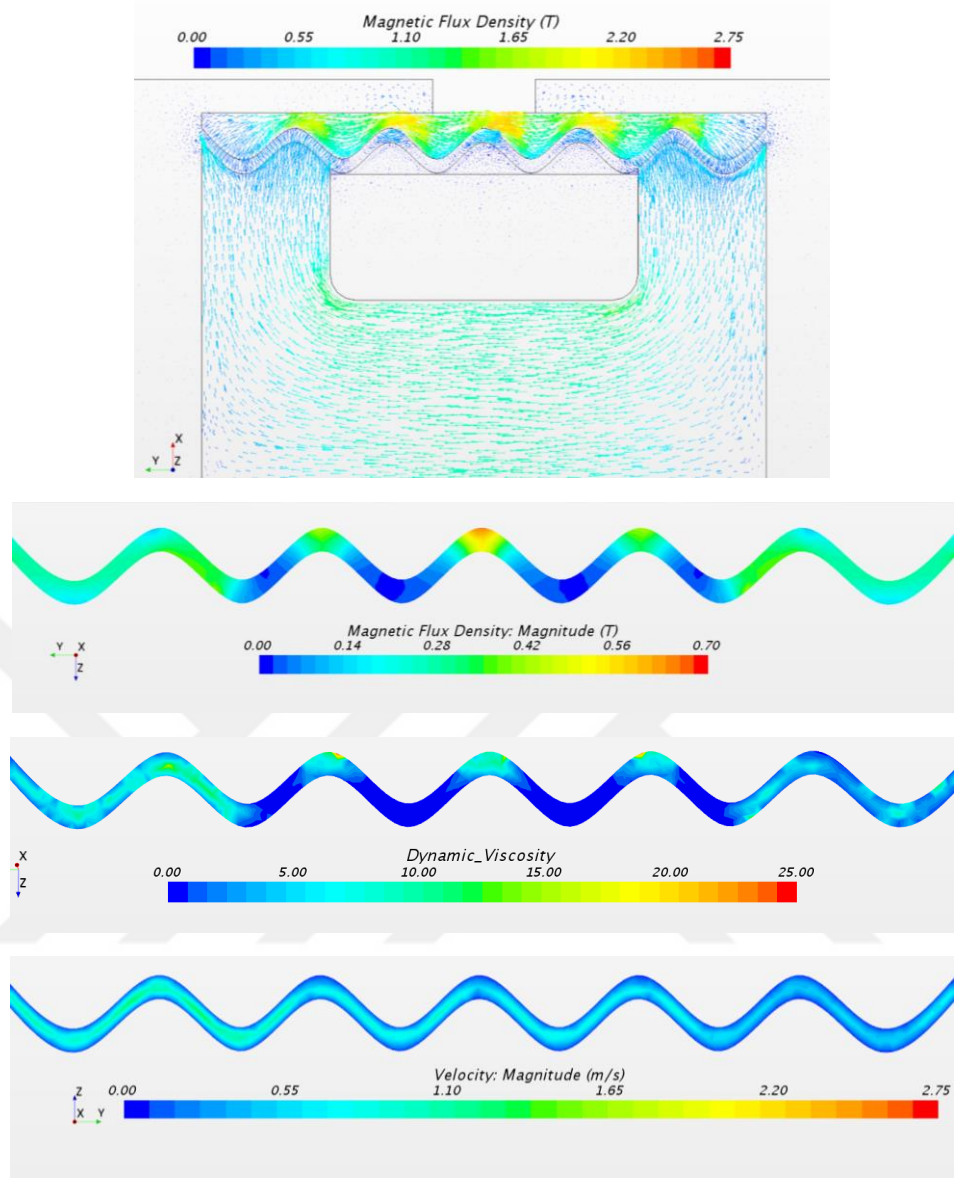
Sinüzoidal kanalları genliklerine göre incelediğimiz zaman sayının artması ile kanalda tetiklenen bölgenin sayısı artacaktır. Ayrıca dış metal bölgesinde manyetik yoğunluğun yükseldiği yerler de artacaktır. Böylelikle kanal içerisindeki ve dış bölgedeki manyetik yoğunluk değeri yükselecektir.

Sinüzoidal kanallarda genlik arttıkça kanal etrafındaki akışın etkisi büyümüştür. Ayrıca genlik sayısı arttıkça içerideki hız büyüklerinin de düştüğü gözlenmiştir.

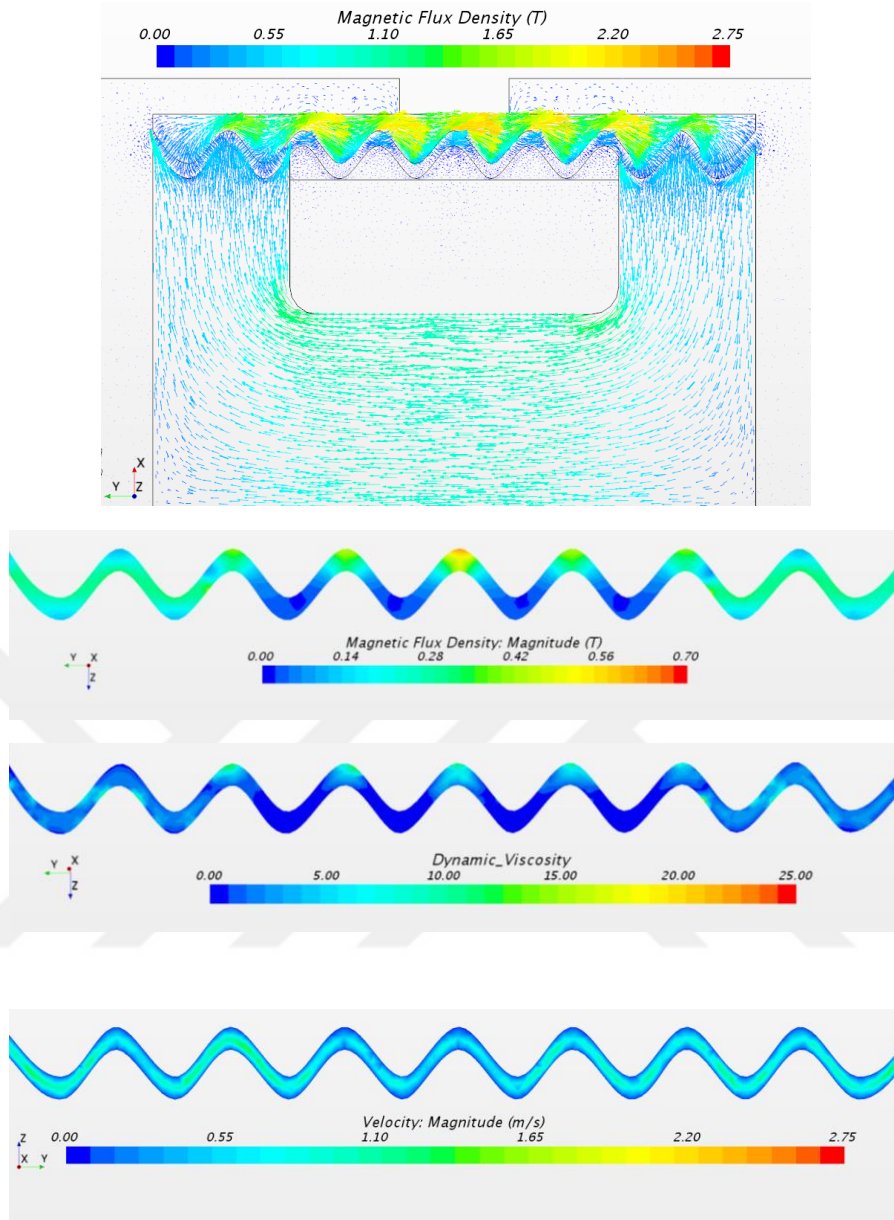
Farklı dalga boyuna göre viskozite dağılımlarının benzer çıktığı görülmüştür. Kanalin giriş ve çıkış bölgelerinde yükselirken iç bölgelerde değerlerin daha düşük olduğu yalnız dış metalin kesitinin inceldiği bölgelerde ise maksimuma ulaştığı görülmüştür. Kanal giriş ve çıkışında viskozitenin yükselmesi manyetik alan döngüsünden dolayı beklenen bir sonuçtur. Yalnız dış metalin kesitinin inceldiği bölgelerde yükselmesinin sebebi bu noktalarda parçadaki manyetik akının geçişinde zorlanması ve manyetik yoğunluğun yükselmesinden dolayı oluşmuştur.



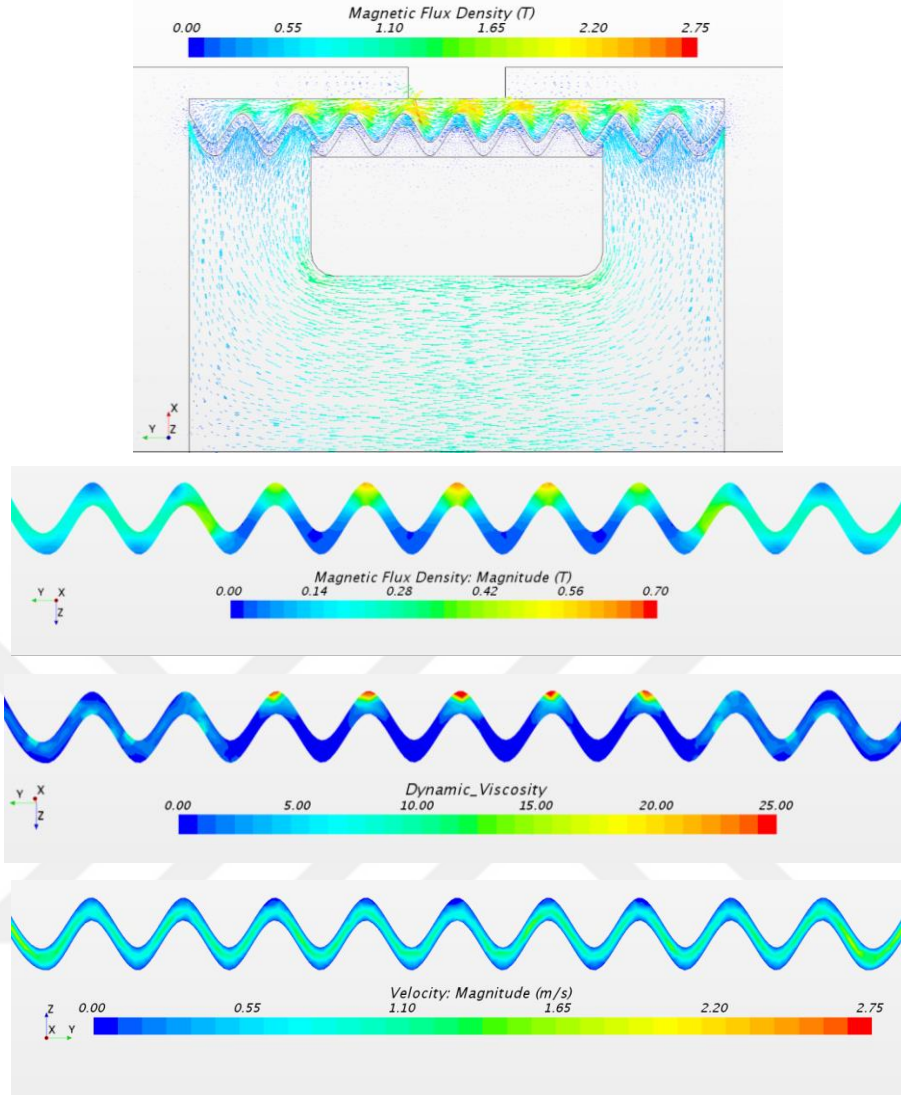
Şekil 6.5. S-B1-A3 kanalı için yukarıdan aşağıya manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı



Şekil 6.6. S-B2-A3 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı



Şekil 6.7. S-B3-A3 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı



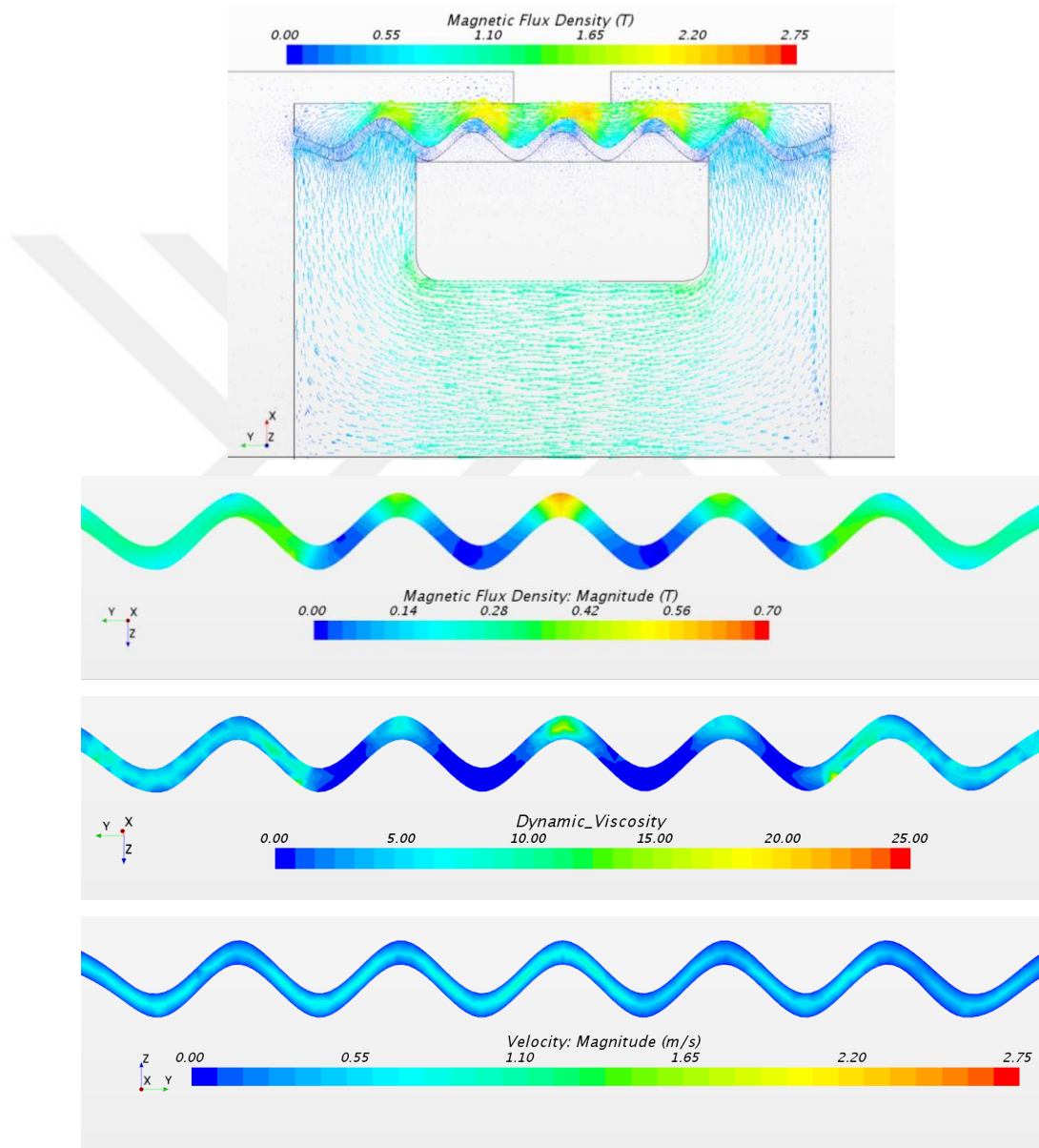
Şekil 6.8. S-B4-A3 kanal için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı

6.1.3. Sinüzoidal kanalın genliğine göre analiz sonuçları

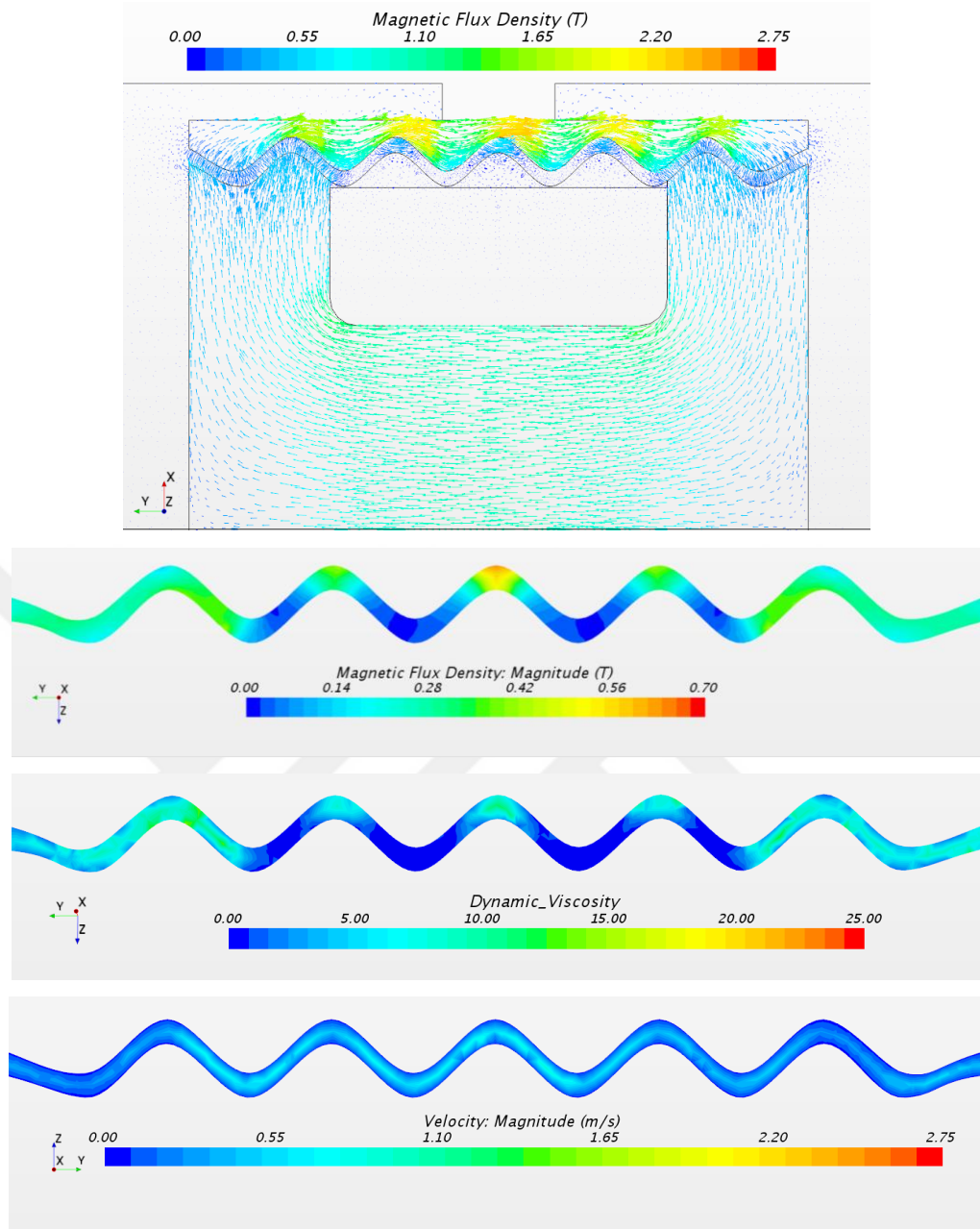
Şekillerde de görüldüğü gibi şiddet arttıkça akışkanın yatayda gitmesi gereken yolda artmaktadır. Bundan dolayı akışkanın maruz kaldığı manyetik etkinin hacmi de artmaktadır. Yalnız yataydaki yol arttıkça akışkan kanalın bobinden uzaklığı da artacağı için manyetik alan şiddeti düşecek ve ters etki yapacaktır.

Genliğe göre hız dağılımları kıyaslandığı zaman şiddetin artması ile akıştaki sürekliliğin bozulduğu ve ani kırılmaların yaşandığı gözlenmektedir. Aynı zamanda hız farklılıkları artmakta ve ani hız değerleri yükselmektedir.

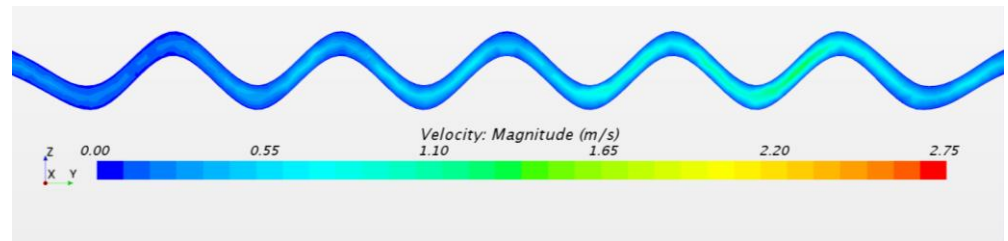
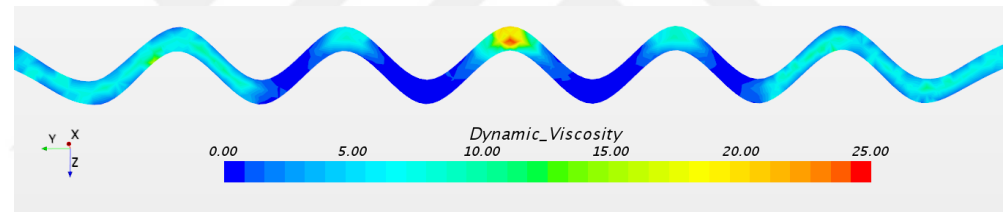
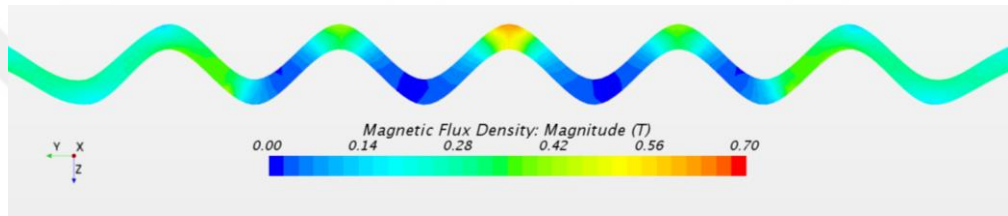
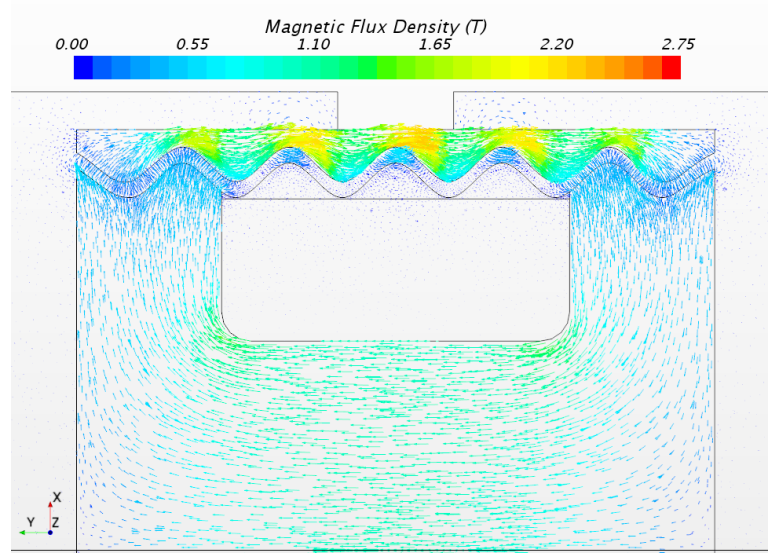
Viskozite dağılımları incelendiği zaman dağılımın tüm genlik değerlerinde benzer olduğu gözlenmiştir. Yalnız genlik arttıkça özellikle kanalın ortasında viskozite değerinin yükseldiği görülmüştür. Bunun sebebi genliğin artmasıyla birlikte dış metal bölgedeki kalınlık farkının artmasıyla birlikte kesit alanın değişiminin artması bundan dolayı da manyetik yoğunluktaki değişimlerin daha şiddetli olmasıdır.



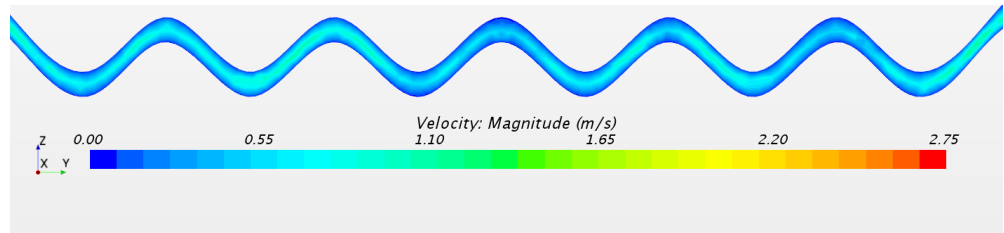
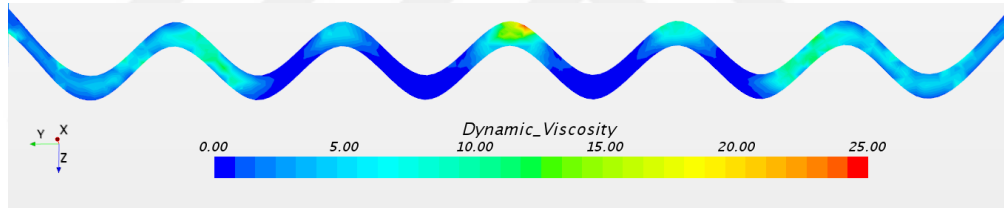
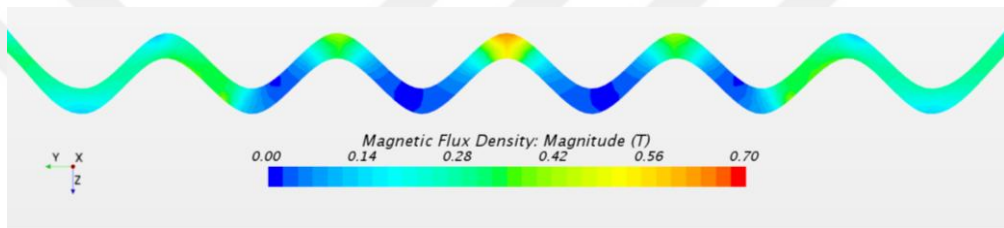
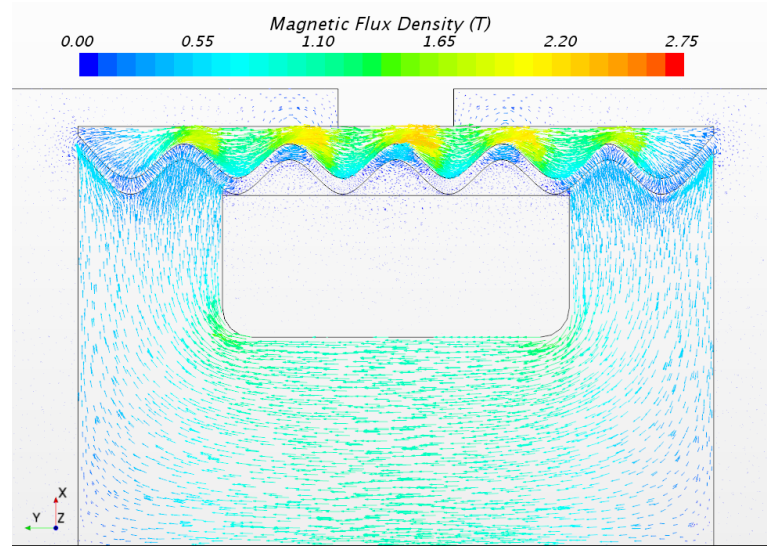
Şekil 6.9. S-B3-A1 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı



Şekil 6.10. S-B3-A2 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı



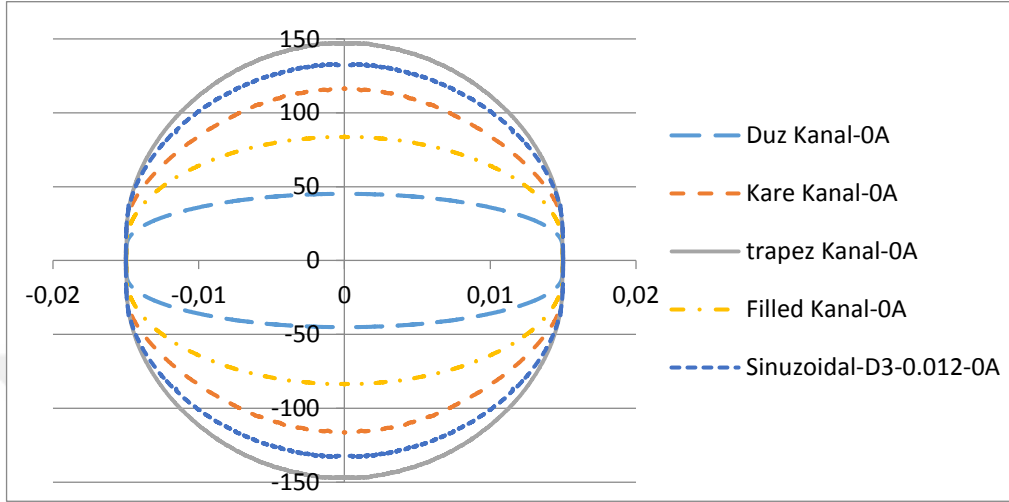
Şekil 6.11. S-B3-A3 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı



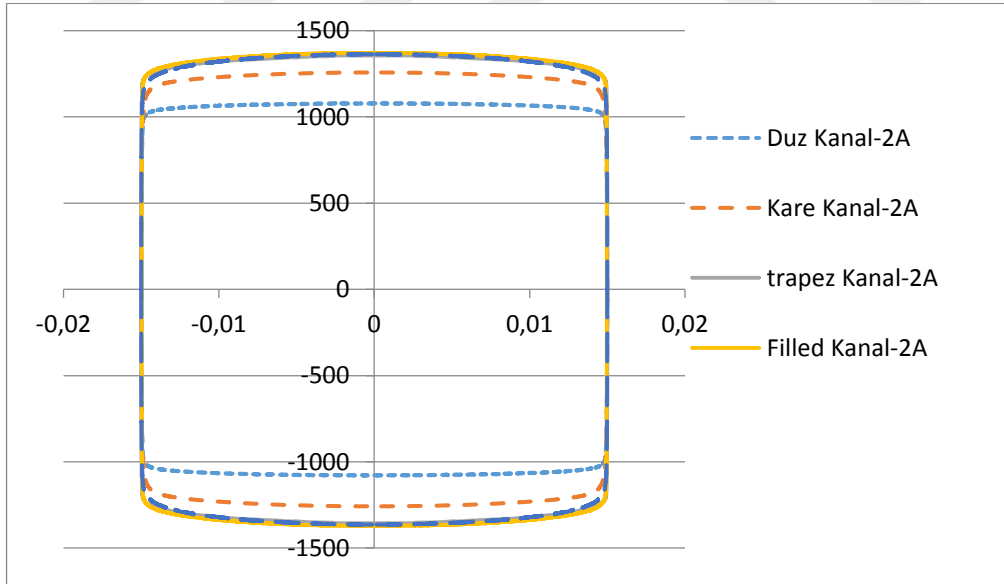
Şekil 6.12. S-B3-A5 kanalı için manyetik alan yoğunluğu, dinamik viskozite ve hız dağılımı

6.2. Kuvvet-Konum Grafikleri

6.2.1. Tasarım türlerine göre kuvvet-konum grafikleri



Şekil 6.13. Tasarım türlerine göre 0 amper için kuvvet konum grafikleri

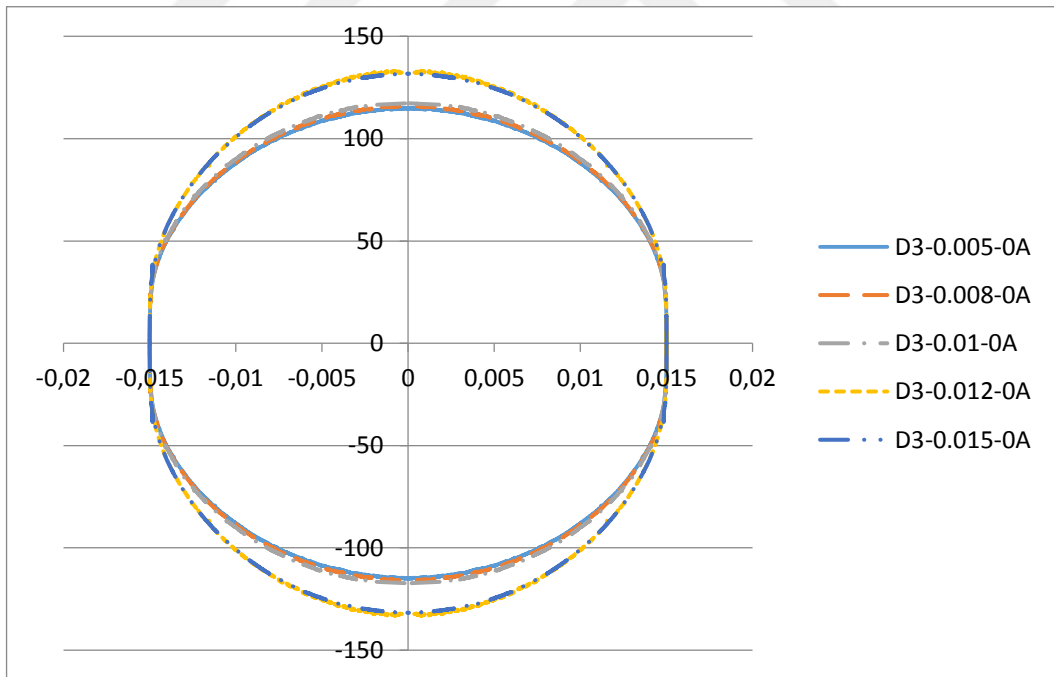


Şekil 6.14. Tasarım türlerine göre 2 amper için kuvvet konum grafikleri

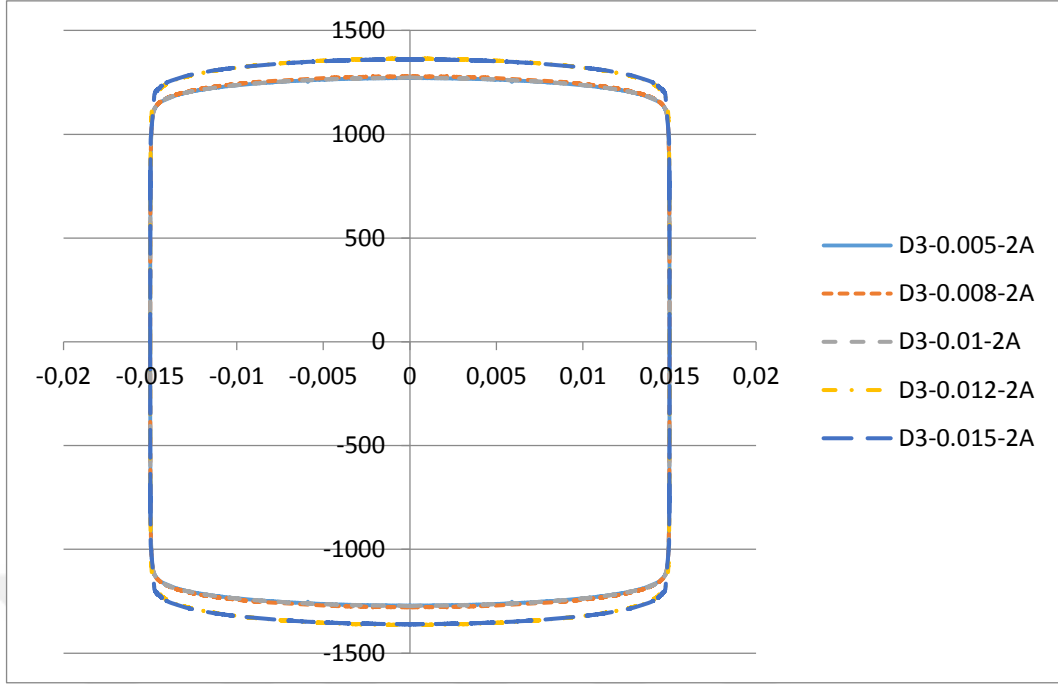
Tasarım türlerine göre kuvvet konum grafikleri incelendiği zaman 0A akım değerinde düz kanaldaki tepki kuvvetinin beklenildiği gibi en düşük çıktığı gözlenmiştir. Yalnız burada trapez kanalın en yüksek değerde çıkıp düz kanalın yaklaşık olarak 3 kat mertebelerinde çıkması oldukça önemlidir. Çünkü bu durum dinamik aralığı ciddi derece etkilemekte ve daraltmaktadır. Yuvarlatılmış tasarımın beklenenden daha düşük çıktığı gözlenmiştir. Hatta sinüzoidal tasarımdan bile ciddi derecede düşük çıkmıştır.

2A akım değerinde ise düz kanal ile kare kanal arasında ciddi bir fark olduğu gözlenirken Yuvarlatılmış Trapez ve Sinüzoidal kanalların neredeyse üst üste oturduğu birbirine çok yakın değerler verdiği görülmektedir.

6.2.2. Sinüzoidal kanalın genliğine göre kuvvet-konum grafikleri



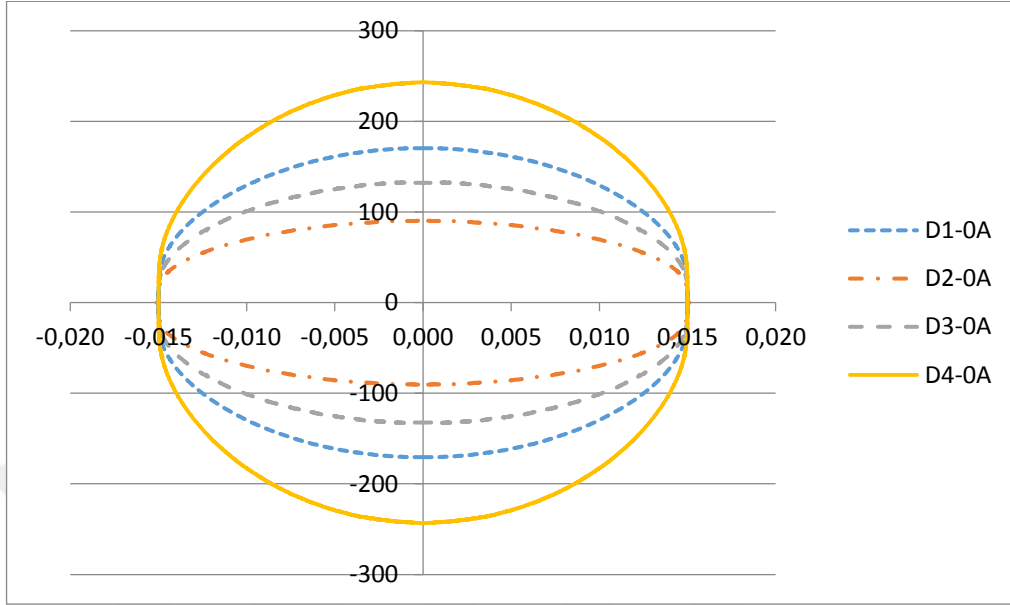
Şekil 6.15. Sinüzoidal kanalın genliğine göre 0 amper için kuvvet konum grafikleri



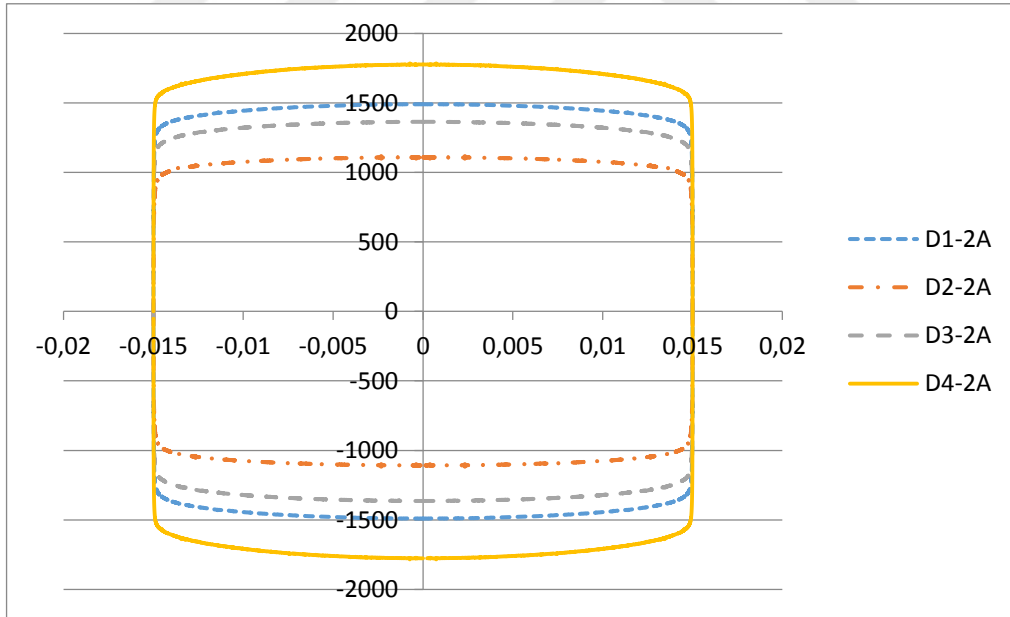
Şekil 6.16. Sinüzoidal kanalın genliğine göre 2 amper için kuvvet konum grafikleri

Sinüzoidal tasarımlarda genlik farkı incelendiği zaman değerin artması yada azalması tepki kuvvetlerini çok etki etmemiştir. Yalnızca kanal genişliği 0.01-0.012 arasında akım hem 0A hem de 2A iken sıçrama görülmüştür.

6.2.3. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre kuvvet-konum grafikleri



Şekil 6.17. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre 0 amper için kuvvet konum grafikleri

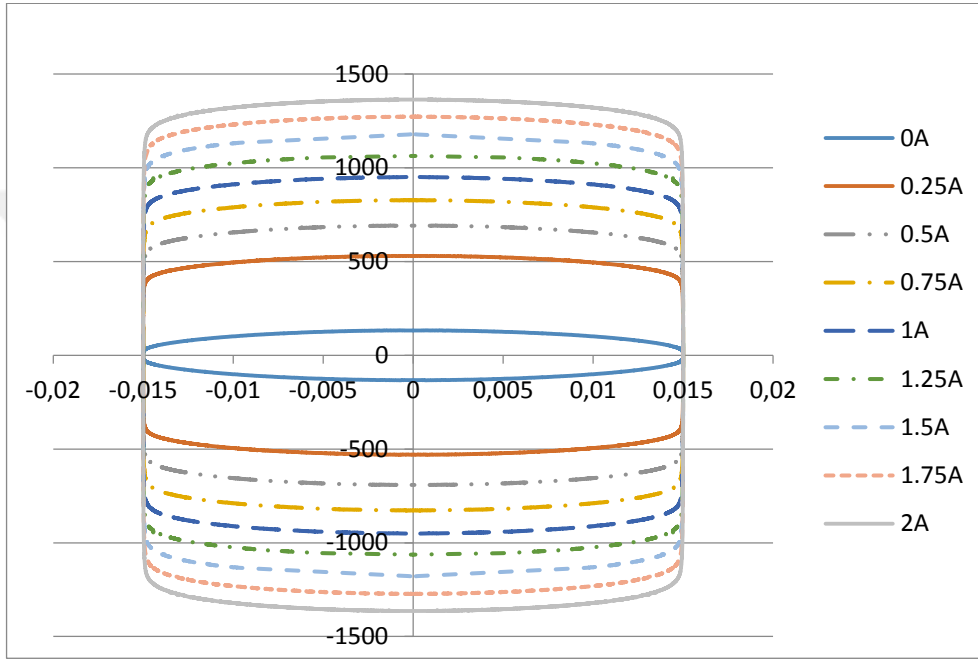


Şekil 6.18. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre 2 amper için kuvvet konum grafikleri

Sinüzoidal tasarımlarda genlik farkı incelendiği zaman akım 0A iken genlik arttıkça tepki kuvveti beklenildiği gibi ivmeli olarak artmaktadır. Şiddetin artması kanalda esas

kriter olduğu için artışlar birbirinin katı mertebelerine çıkmaktadır. 2A deki değerler ise şiddetin her artışıyla birlikte kanal uzunluğu yatayda arttığı için manyetik şiddetin etki ettiği akış hacmi miktarı artmakta buda tepki kuvvetini sürekli olarak arttırmakta bu artışlar ise ciddi derece fark oluşturmaktadır.

6.2.4. Seçilen sinüzoidal kanalın farklı amperlerdeki kuvvet -konum grafiği

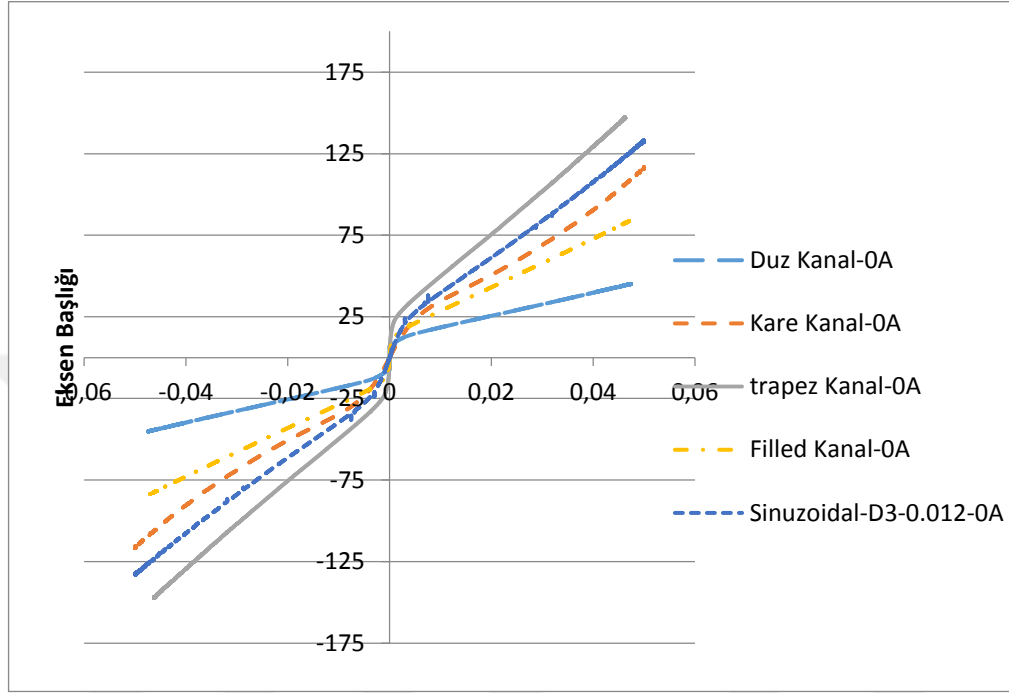


Şekil 6.19. Seçilen sinüzoidal kanalın farklı akım şiddetindeki kuvvet konum grafikleri

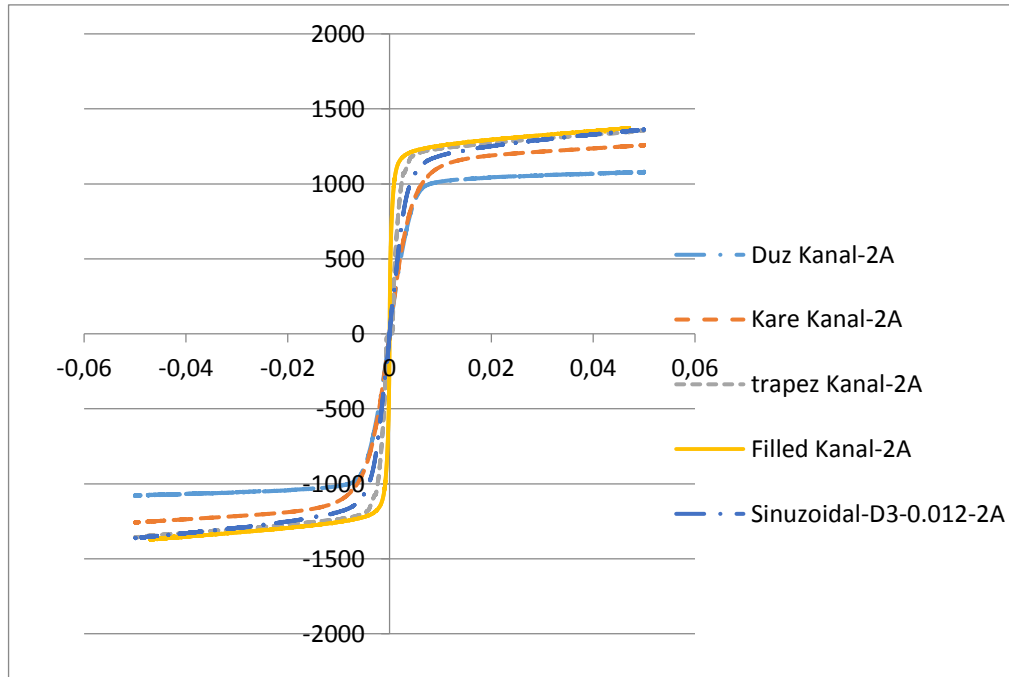
Şekil 6.49.'da görüldüğü gibi seçilen tasarımın tepki kuvveti istenildiği gibi düz kanaldakine benzer bir davranış sergilemiş olup akım şiddeti yükseldikçe artmaktadır. Bu artış akım şiddeti arttıkça kuvvetin artış ivmesi düşmektedir.

6.3. Kuvvet-Hız Grafikleri

6.3.1. Tasarım türlerine göre kuvvet-hız grafikleri

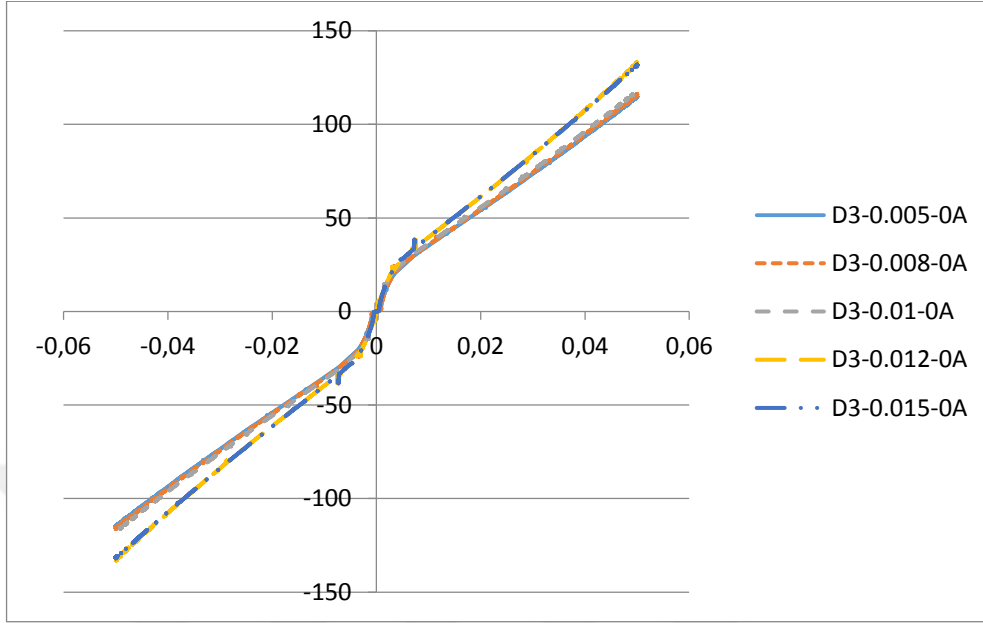


Şekil 6.20. Tasarım türlerine göre 0 amper için kuvvet hız grafikleri

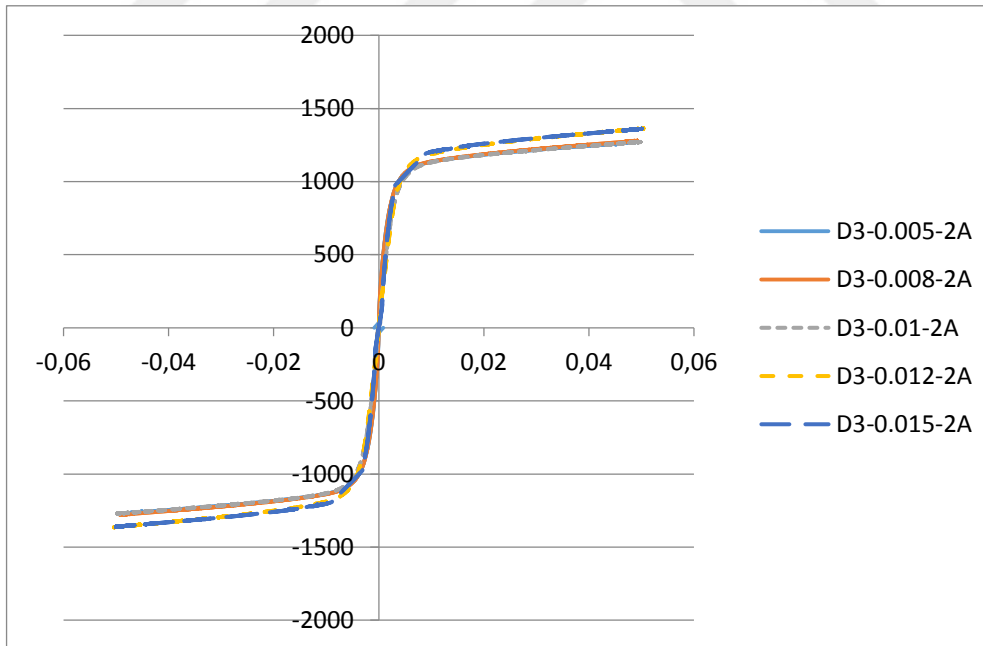


Şekil 6.21. Tasarım türlerine göre 2 amper için kuvvet hız grafikleri

6.3.2. Sinüzoidal kanalın genliğine göre kuvvet- hız grafikleri

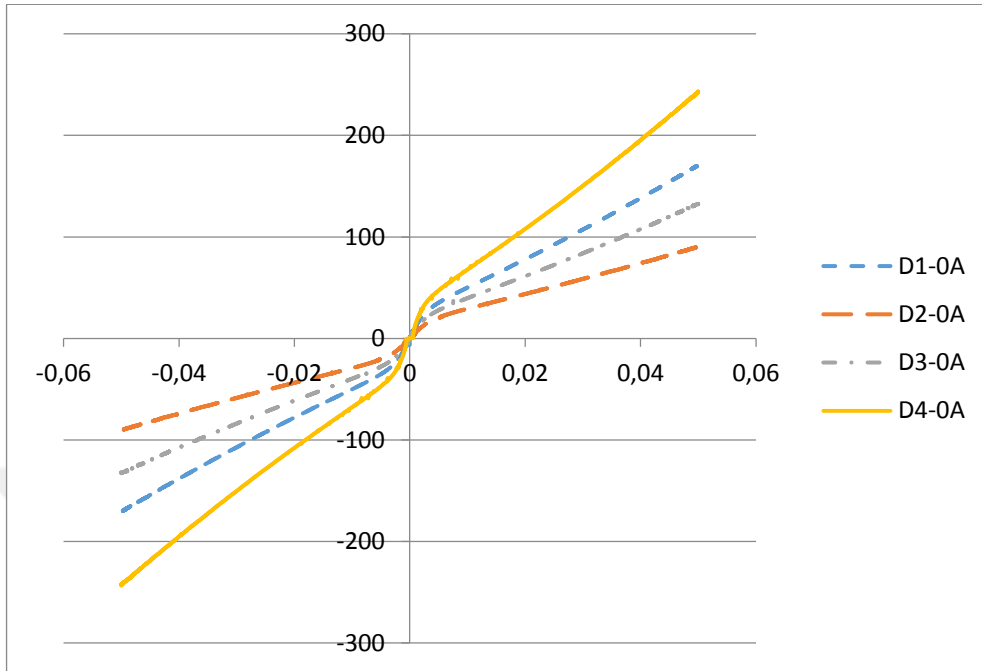


Şekil 6.22. Sinüzoidal kanalın genliğine göre 0 amper için kuvvet hız grafikleri

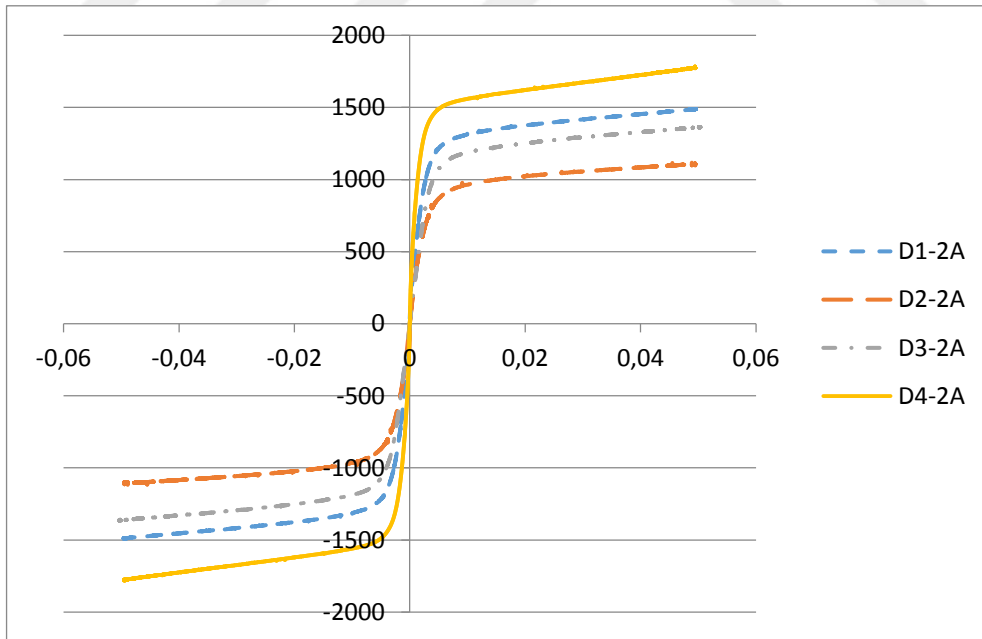


Şekil 6.23. Sinüzoidal kanalın genliğine göre 0 amper için kuvvet hız grafikleri

6.3.3. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre kuvvet-hız grafikleri



Şekil 6.24. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre 0 amper için kuvvet hız grafikleri



Şekil 6.25. Sinüzoidal kanalın dalga boyuna göre 2 amper için kuvvet hız grafikleri

Kuvvet-Hız grafikleri incelendiği zaman kuvvet-konum grafikleri ile benzer davranışlar sergilediği görülmektedir. Tasarım türlerine göre incelendiğinde hızın artışıyla birlikte trapez kanaldaki tepki kuvveti maksimum çıkarken diğer tasarımlardaki değerler kuvvet-konum grafiğindeki gibi benzer şekilde sıralanmıştır.

Sinüzoidal kanalların genliğine göre incelediğimizde kuvvet-hız grafiklerinin de üst üste bindiği birbirlerine çok yakın davranışlar sergilediği görülmektedir.

Sinüzoidal kanalların dalga boyuna göre incelediğimizde dalga boyunun artması ile beklendiği gibi benzer hızlarda tepki kuvvetlerinin arttığı gözlenmektedir.

6.4. Tüm Tasarımların Yapılan Tüm Koşullardaki Tepki Kuvvetleri ve Dinamik Aralıkları

Tablo 6.1. Yapılan Tüm Analizlerde Oluşan Tepki Kuvvetleri ve Dinamik Aralık

Tasarım İsmi	KUVVETLER (N)			Yüzde Fark(%)
	0A	2A	Dinamik Oran	
Düz	45	1085	9.32	0
Trapez	142.5	1355	6.45	69
Kare	116.5	1258	6.81	73
Yuvarlatılmış	88.1	1371.5	8.63	93
S_B2_A4	90	1108	6.99	75
S_B3_A4	133	1366	6.79	73
S_B1_A4	171	1489.5	6.25	67
S_B4_A4	243	1776.5	5.75	62
S3-B3-A1	115	1271	6.93	74
S3-B3-A2	116.5	1278.5	6.91	74
S3-B3-A3	118.5	1272.5	6.81	73
S3-B3-A5	132	1360.5	6.79	73

Tablo 6.2. Seçilen sinüzoidal tasarımın farklı akım değerlerindeki tepki kuvvetleri

S_B3_A4 - 0 A	133
S_B3_SA4 - 0.25 A	529,5
S_B3_A4 - 0.5 A	691,5
S_B3_A4 - 0.75 A	827,2
S_B3_A4 - 0.1 A	951
S_B3_A4 - 1.25 A	1063
S_B3_A4 - 1.5 A	1180
S_B3_A4 - 1.75A	1273
S_B3_A4 - 2 A	1366



BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- 1- MR damperin manyetik – akışkan eşlenik çözümü kuvvet konum ve kuvvet hız denklemleri incelendiği zaman damper davranışının yüksek derecede gerçekçi ve kararlı olarak çözülebilmesi başarılmıştır.
- 2- MR damper kanal modellerinin 2A akım değerinde farklı kanal tasarımlarına göre tepki kuvvetlerinin %10 ila %30 arasında değiştiği ortadadır.
- 3- Düz kanal tasarımı yerini daha kıvrımlı yapılara bıraktıkça aynı yükseklikte fazla mesafe gideceği için kıvrımlı yapılar yüksek kuvvet için avantajken , bu mesafe arttıkça bobin ile kanalı dışında kalan metal bölgenin arası açılacağı için akışkan üzerindeki manyetik etki azalmaktadır. Ayrıca viskoz ve basınç kayıplarda artmaktadır.
- 4- Diğer tasarımların dinamik oranı incelendiği zaman hiçbirinin düz kanallı tasarımın üstüne çıkamadığı görülmüştür.
- 5- Sinüzoidal tasarım da dalga boyu arttıkça maksimum akımdaki tepki kuvveti artmakta yalnız buna karşılık dinamik oran düşmektedir.
- 6- Çalışmalarda analizi yapılan tüm arasından dinamik oranı en yüksek çıkan model yuvarlatılmış kanaldır. Yalnız 2A deki tepki kuvveti daha aşağıda kaldığı için S_B3_A4 no lu model bu çalışma için en ideal damper modeli seçilmiştir.
- 7- Sinüzoidal kanal tasarımında geometriyi farklı genliklere göre incelendiği zaman modeller arasında maksimum %5 lik bir değişim gözlenmiştir. Bunun nedeni birim mesafede akışkanın aldığı yol artarken , aynı zamanda önceki maddelerde bahsedildiği gibi bobin ile akışkan bölgenin dışında kalan metal bölgenin arasındaki mesafenin artmasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Parlak, Z., Engin, T., and Sahin, I. (2013). Optimal magnetorheological damper configuration using the taguchi experimental design method. *Journal of Mechanical Design*, Vol 135, 081008-1.
- [2] Parlak, Z., Engin, T., and Calli I. (2012). Optimal design of MR damper via finite element analyses of fluid dynamic and magnetic field. *Mechatronics*, (22), 890-903.
- [3] Case, D., Taheri, B., and Richer, E.(2013). Multiphysics modeling of magnetorheological dampers. *International Journal of Multiphysics*, (7), 1-2013.
- [4] Rashid, M., M., Ferdous., M., Hasan., H., M., and Rahman., A. (2015). ANSYS finite element design of an energy saving magneto-rheological damper with improved dispersion stability. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29(7), 2793-2802.
- [5] Case., D., Taheri., B., and Richer., E. (2002). Dynamical modeling and experimental study of a small-scale magnetorheological damper. *IEEE/ASME Transactions of Mechatronics*, 1083-4435.
- [6] Yazid., I., I., M., M., S., A., Kikuchi., T., Zamzuri., H., and Imaduddin., F. (2013). Design og magnetorheological damper with a combination of shear and squeeze modes. *Materials and Design* (54), 87-95.
- [7] Nam., Y., J., and Park., M., K. (2009). Electromagnetic design of a magnetorheological damper. *Journal of Intelligent Material Systems ans Structures*, (20), 1045-389X/09/02 0181-11.
- [8] Gedik., E., Kurt., H., Recebli., Z., and Balan., C. (2012). Two dimentional CFD simulation of magnetorheological fluid between two fixed parallel plates applied external magnetic field. *Computers & Fluids*, (63), 128-134.
- [9] Gedik., E., Kurt., H., Recebli., Z., and Kecebas., A. (2012). Unsteady flow of two-phase fluid in circular piper under applied external magnetic and electrical fields. *International Journal of Thermal Sciences*, (53), 156-165.
- [10] Khedkar., Y., M., Joshi S., B., Pawar., P., M., and Ronge., B., P. (2014). Modeling and simulation of MR damper using comsol. *Comsol Conferance in Bangalore*. 2014.

- [11] Costa., E., Branco., P., J., C. (2009). Continuum electromechanics of a magnetorheological damper including the friction force effects between the MR fluid and device walls: Analytical modelling and experimental validation. *Sensors and Actuators A.*, (155), 82-88.
- [12] Wilson., N., L., and Wereley., N. M. (2010). Analysis of a magnetorheological fluid damper incorporating temperature dependence. 2010 AIAA SDM Student Semposium.
- [13] Zhu., X., Jing., X., and Cheng., L. (2012). Magnetorheological fluid dampers: A review on structure design and analysis. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, doi: 10.1177/1045389X12436735.
- [14] Zhou., Y., F., and Chen., H., L. (2006). Study on damping properties of magnetorheological damper. *Front Mech. Eng. China*, (4), 452-455.
- [15] Nukulchai., W., K., and Tam., B., T. (1999). Structure –fluid interaction model of tuned liquid dampers. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, (46), 1541-1558.
- [16] Kim., J., Yoon., G., H., Noh., J., Lee., J., Kim., K., Park., H., Hwang., J., and Lee., Y. (2013).
- [17] Development of optimal diaphragm-based pulsation damper structure for high-pressure GDI pump systems through design of experiment. *Mechatronics*, (23), 369-380.
- [18] Yang., L., Duan., F., and Eriksson., A. (2008).
- [19] Yang., L., Duan., F., and Eriksson., A. (2007). Analysis of the optimal design strategy of a magnetorheological smart structure. *Smart Materials and Structures*, (17), 015047.
- [20] Poynor., J. Innovative designs for magneto-rheological dampers. (Tarih ve yayınlanan yeri paper da göremedim)
- [21] Hu., G., Long., M., Yu., L., and Li., W. (2014). Design and performance evaluation of a novel magnetorheological valve with a tunable resistance gap. *Smart materials and structures*, (23), 127001.
- [22] Khan., S., A., Suresh., A., and Ramaiah., N., S. (2013). Performance evolution of magnetic circuit for M.R. fluit damper using F.E.M. *AMAE Int. J. On Production and Industrial Engineering*, (4), 1.
- [23] Sun., S., Yang., J., Li., W., Deng., H., Du., H., and Alici., G. (2015). Development of a novel variable stiffness and damping megnetorheological fluid damper. *Smart materials and Structures*, (24), 085021.
- [24] Sapinski., B. (2009). Magnetorheological dampers in vibration control of mechanical structures. *Mechanics*, (28), 1.

[25] LORD CORPORATION, MRF-132DG Magneto-Rheological Fluid.
<http://www.lordfulfillment.com/upload/DS7015.pdf>. 2010.

[26] STAR-CCM+ User Guide 13.06



EKLER

EK A. Analizlerde Piston Hareketini Tanımlanan Denklemler

Hareketli pistonun açısal hızı maksimum hız ve strok'tan elde edilmiştir. Sonrasında açısal hız ile frekans değeri bulunmuştur.

$$\omega = \frac{V_{mak}}{S_{mak}} \quad (A.1)$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (A.2)$$

Pistonun bir tam stroğu bitirmesi için geçen süre aşağıdaki gibidir.

$$t_{tam} = \frac{1}{f} \quad (A.3)$$

Piston sinüzoidal bir hareket yaptığı için aşağıdaki S ifadesi yazılmıştır. Burada t zaman adımı ve analiz t am zamanına ulaşana kadar her bir zaman adımı için ayrı ayrı yapılır. Yaptığımız analizlerin tamamında $t = 0.005 s$ olarak alınmıştır. Analizler

$S_{mak} = 0.015 m$ değeri için yapılmıştır.

$$S = S_{mak} - S_{mak} \cdot \cos(\omega t)$$

(A.4)

Aynı şekilde piston hızı, u_{mak} in $0.05 m/s$ değeri için de aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$u_p = u_{mak} \cdot \sin(\omega t)$$

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Kocaeli'nde doğan Ceren Genç, ilk, orta ve lise eğitimini de aynı şehirde tamamladı. Kocaeli Üniversitesi'nde 2005–2010 yılları arasında Makina Mühendisliği okudu. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi'nde Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. Yüksek lisansı sırasında iki yıl süren 115m363 no'lu TÜBİTAK projesinde yardımcı araştırmacı olarak görev yaptı.