

# KARBONİL DEMİR VE MANYETİT ESASLI MANYETOREOLOJİK SIVILARIN SÖNÜMLEME PERFORMANSI VE KATKI MADDESİ OLARAK SİLİKA DUMANI KULLANIMI

Turgay ERGİN<sup>a</sup>, Duran ALTIPARMAK<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Müh. Böl. Beytepe, Ankara

<sup>b</sup> Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Müh. Böl. Teknikokullar, Ankara

[tergin@hacettepe.edu.tr](mailto:tergin@hacettepe.edu.tr), [durational@gazi.edu.tr](mailto:durational@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 02.04.2013; Kabul/Accepted: 09.10.2013)

## ÖZET

Manyetoreolojik (MR) sıvılar yarı-aktif sönümlenme sistemlerinde kullanılan manyetik alan bağımlı sıvılardır. MR sıvılar genellikle taşıyıcı bir sıvı içerisinde dağılmış manyetik parçacıklardan oluşmaktadır. Bu çalışmada, karbonil demir ve manyetit esaslı beş farklı MR sıvı, çeşitli demir konsantrasyonları ile silikon yağı içerisinde hazırlanmıştır. Karbonil demir parçacıklarının çökmesini azaltmak için katkı maddesi olarak silika dumanı kullanılmıştır. MR sıvıların performansı, bir binek araç amortisörünün boyutlarına uygun olarak tasarlanıp üretilen MR amortisör prototipi kullanılarak test edilmiştir. MR sıvıların performansını etkileyen çökme kararlılığı da gözlenmiştir. Parçacık türünün, konsantrasyonun ve silika dumanının MR sıvıların sönümlenme performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, akım 2A'ye kadar arttırıldığında kütleli olarak %40 karbonil demir ve %2 silika dumanı içeren MR sıvı için sönümlenme kuvvetinin %40'a kadar arttığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Manyetoreolojik sıvı, manyetoreolojik amortisör, karbonil demir, manyetit, silika dumanı

## DAMPING PERFORMANCE OF CARBONYL IRON AND MAGNETITE-BASED MAGNETORHEOLOGICAL FLUIDS AND USAGE OF FUMED SILICA AS AN ADDITIVE

### ABSTRACT

Magnetorheological (MR) fluids are magnetic field dependent fluids used in the semi-active damping systems. MR fluids usually consist of magnetic particles dispersed in a carrier liquid. In this work, five different carbonyl iron and magnetite-based MR fluids were prepared with various iron concentrations in silicone oil. The fumed silica was used as an additive to reduce sedimentation of the carbonyl iron particles. Performance of the MR fluids was tested by using the prototype of MR damper designed and manufactured in accordance with the dimensions of a passenger car's shock absorber. Sedimentation stability which affects the performance of the MR fluids was also observed. The effects of particle type, concentration and fumed silica on the damping performance of the MR fluids were evaluated. The results showed that when the current is increased up to 2 amps, the damping force is increased by 40% for the MR fluid containing 40% carbonyl iron and 2% fumed silica by mass.

**Keywords:** Magnetorheological fluid, magnetorheological damper, carbonyl iron, magnetite, fumed silica

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Manyetoreolojik (MR) sıvılar, manyetik olmayan taşıyıcı sıvılar içerisinde dağılmış haldeki manyetik parçacıklardan (1-10 $\mu$ m) oluşan ve manyetik alana

maruz bırakıldığında reolojik özelliklerinde hızlı ve tersinir bir değişimin meydana geldiği akıllı sıvılardır [1, 2]. MR sıvılar, manyetik alan altında viskozite değişiminden dolayı sıvı halden katı ya da yarı-katı hale geçebilmektedir [3]. MR sıvıların üzerine

uygulanan manyetik alanın kontrolü ile sıvının viskozitesi ve diğer reolojik özellikleri istenilen şekilde ayarlanabilmektedir.

MR sıvılar, manyetik alan altında sergiledikleri bu viskozite değişim özelliğinden dolayı birçok alanda istenmeyen titreşimlerin sönümlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Otomotiv alanında amortisör, fren, kavrama, taşıt koltuğu ve motor takozu gibi kısımlarda kullanılırken [4-8], inşaat alanında köprü ve binaların depremlere karşı güçlendirilmesinde [9, 10], sağlık alanında ise protezlerde ve fiziksel rehabilitasyon cihazlarında yine sönümleyici olarak kullanılmaktadır [11, 12]. Ayrıca, optik imalatında yüzey parlatma işlemlerinde de MR sıvılar tercih edilebilmektedir [13].

MR sıvılar tipik olarak mineral yağ ve silikon yağı gibi organik taşıyıcı bir sıvı veya su içerisinde dağılmış manyetik parçacıklardan oluşmaktadır [14, 15]. Yapılmış çalışmalara bakıldığında, demir penta karbonilden ( $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ) ayrıştırılmış karbonil demir (Fe) [16, 17] ve manyetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) [15, 18] en yaygın kullanılan manyetik parçacıklardır. Diğer manyetik parçacıklara örnek olarak nikel, kobalt, düşük karbonlu çelik, silikon çeliği, krom dioksit, demir nitrid ve demir karpit verilebilir. Manyetik parçacık yoğunlukları ( $5,0\text{-}8,0 \text{ g/cm}^3$ ) ile taşıyıcı sıvı yoğunlukları ( $0,8\text{-}1,0 \text{ g/cm}^3$ ) arasındaki büyük farklardan dolayı MR sıvıların çökme kararlılıkları düşüktür [19]. Bu nedenle, MR sıvılara silika dumanı ( $\text{SiO}_2$ ) ve oleik asit [17, 20] gibi katkı maddeleri ilave edilmekte veya manyetik parçacıklar yüzey etken maddelerle kaplanmaktadır [18, 21]. Bu sayede MR sıvıların çökme kararlılıkları artırılmaktadır.

Literatüre bakıldığında, çalışmaların MR sıvılı cihaz tasarımı, matematiksel model geliştirme, kontrolcü tasarımı, MR sıvı sentezi ve MR sıvıların karakterizasyonu gibi konular üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Araştırmalarda genellikle hazırlanan MR sıvılar reometre kullanılarak karakterize edilmektedir. MR sıvıların, kullanılacakları cihazlar üzerinde test edilerek dinamik davranışlarının belirlenmesi de bir o kadar önem arz etmektedir. Bu çalışmada, iki farklı manyetik parçacık ve bir katkı maddesi kullanılarak değişik konsantrasyonlarda beş farklı MR sıvı hazırlanmıştır. Hazırlanan MR sıvıların çökme kararlılıklarına bakılmıştır. Daha sonra MR sıvılar, bir binek taşıtın orijinal arka amortisörü dış boyutlarında tasarlanıp üretilen bir prototip MR amortisöre [22] doldurularak performans testleri gerçekleştirilmiştir. Farklı tip manyetik parçacık, konsantrasyon ve katkı maddesi olarak silika dumanı kullanımının MR sıvıların sönümleme performansları ve çökme kararlılıkları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, MR sıvıların dinamik kuvvet aralığı değerleri değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. MR Amortisör (The MR Damper)

Hazırlanan MR sıvıların sönüm performanslarının incelenebilmesi için orijinal bir binek taşıt arka amortisörünün dış boyutlarına sadık kalınarak, iç yapısı tamamen farklı olacak şekilde tasarlanıp bir prototip MR amortisör üretilmiştir. Şekil 1'de MR amortisör görülmektedir [22]. MR amortisör silindiri ve piston malzemesi olarak manyetik geçirgenliği yüksek olan düşük karbonlu çelik kullanılmıştır. Amortisör pistonu üzerine gerekli manyetik alanı sağlamak için bir bobin yerleştirilmiştir. Manyetik bobin, 0,4mm çapında emayeli bakır telden 700 tur sarılarak oluşturulmuş ve toplam direnci  $3,3\Omega$ 'dur. Amortisör mili olarak, sertleştirilmiş krom kaplı mil kullanılmıştır. Amortisör mili içersine, bobini beslemek üzere bir ucu bobine bağlı diğer ucu güç kaynağına bağlanmak üzere açıkta bırakılmış elektrik kablosu yerleştirilmiştir. MR amortisör 180mm strok değerine sahiptir. MR amortisörün kapanma hareketi esnasında, amortisör milinin amortisör silindiri içersine girmesinden dolayı oluşan hacim değişimini tolere etmek amacıyla 0,05lt'lik hidrolik akümülatör kullanılmıştır. Akümülatör içersinde 10bar'lık ön basıncı oluşturan kuru azot gazı kullanılmıştır.



Şekil 1. MR amortisörün fotoğrafı (Photograph of the MR damper)

### 2.2. MR Sıvıların Hazırlanması (Preparation of the MR Fluids)

MR sıvılar hazırlanırken manyetik parçacık olarak toz haldeki demir tanecikleri kullanılmıştır. Taşıyıcı faz olarak silikon yağı ve katkı maddesi olarak ise silika dumanı tercih edilmiştir. Taşıyıcı sıvının seçiminde kaynama noktası, buhar basıncı, çalışma sıcaklığı ve donma noktası önemli rol oynamaktadır [16]. Bu nedenle, taşıyıcı sıvı olarak silikon yağı tercih edilmiştir. MR sıvılarda kullanılan manyetik taneciklerin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. MR sıvıların hazırlanmasında kullanılan manyetik taneciklerin özellikleri (Properties of the magnetic particles used in preparing the MR fluids)

Tanecik Kodu	Tanecik Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Demir İçeriği (m/m,%)	Tanecik Adı	Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )
D1	<5	98	Manyetit, $\text{Fe}_3\text{O}_4$	5170
D2	4,5-5,2	$\geq 97$	Karbonil demir, Fe	7860

MR sıvılarda kullanılan silikon yağının yoğunluğu  $1000\text{kg/m}^3$ , viskozitesi  $10\text{mPas}$  ( $25^\circ\text{C}$ ) ve rengi şeffaftır. Silika dumanının yoğunluğu  $35,24\text{kg/m}^3$ , tanecik boyutu  $0,007\mu\text{m}$  ve rengi beyazdır. Tüm bu kimyasal malzemeler kütsel olarak çeşitli oranlarda kullanılarak beş farklı MR sıvı hazırlanmıştır. Hazırlanan MR sıvılar Tablo 2’de görüldüğü gibi çeşitli kodlarla isimlendirilmiştir.

MR sıvılar hazırlanırken, belirli kütsel oranlara göre malzemeler hassas terazi ile tartılarak önce elle karıştırılmış, daha sonra ise  $620\text{ d/dk}$  da 2 saat süreyle homojen bir karışım elde edinceye kadar karıştırıcıda karıştırılmıştır.

**Tablo 2.** Hazırlanan MR sıvılar (The MR fluids prepared)

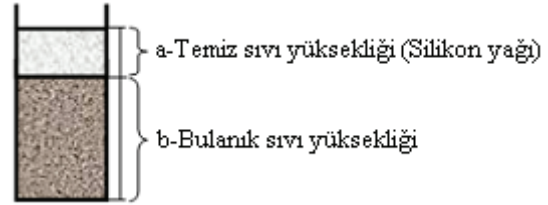
MR Sıvı Kodu	Tanecik Tipi	Tanecik Oranı (m/m,%)	Silikon Yağı Oranı (m/m,%)	Silika Oranı (m/m,%)
MRF-1	D1	25	75	-
MRF-2	D2	25	75	-
MRF-3	D2	25	74	1
MRF-4	D1	40	60	-
MRF-5	D2	40	58	2

### 2.3. Çökme Kararlılığı (Sedimentation Stability)

Hazırlanan MR sıvılar silindirik cam tüplere (uzunluk  $250\text{mm}$ , çap  $30\text{mm}$ ) doldurularak çökme kararlılıklarına bakılmıştır. Burada kullanılan ölçüm tüplerinin taban kısımları düzdür. MR sıvı numuneleri

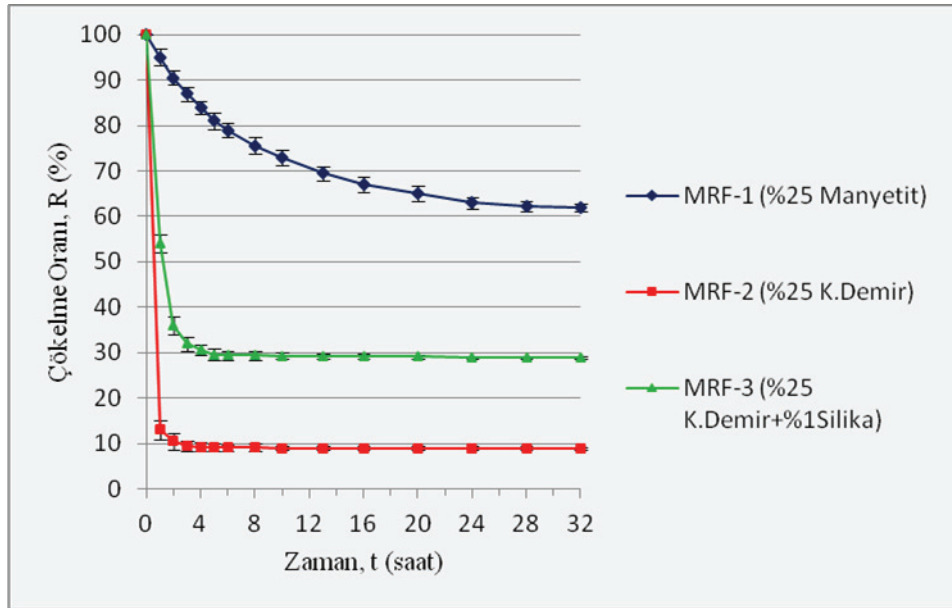
oda sıcaklığında 5 gün süreyle bekletilmiştir. MR sıvıların çökme oranları (R, %) Eş. 1’den yararlanılarak hesaplanmıştır [16]. MR sıvıda meydana gelen çökme şematik olarak Şekil 2’de gösterilmiştir.

$$R = \frac{b}{a + b} \times 100 \quad (1)$$

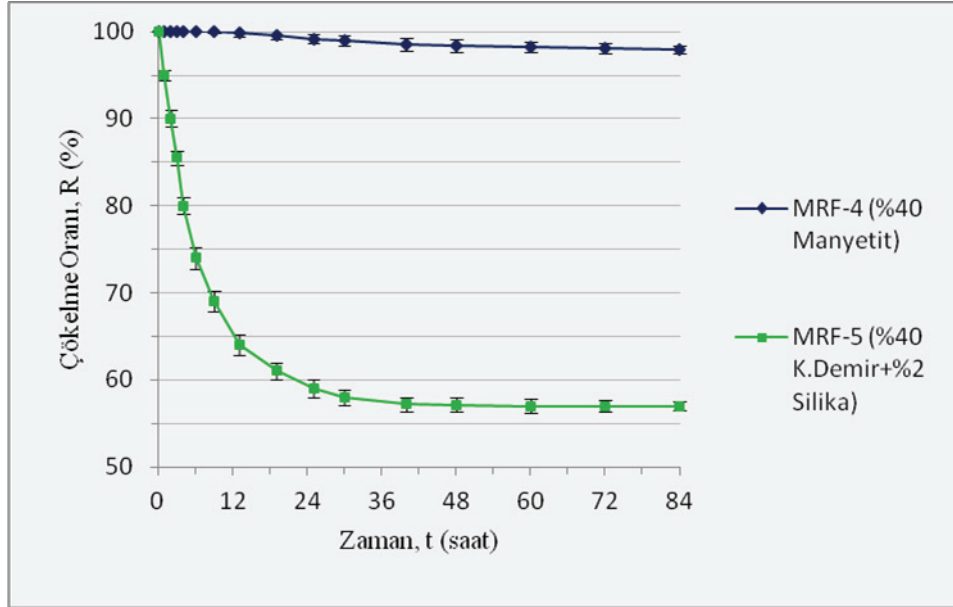


**Şekil 2.** Çökmenin şematik görünümü (Schematic view of the sedimentation)

Hazırlanan MR sıvıların zamana bağlı çökme oranları grafiklerle gösterilmiştir. Şekil 3’teki grafikte %25 demir içerikli MR sıvıların çökme oranları verilmiştir. Görüldüğü gibi %25 manyetit içeren MRF-1, %25 derişime sahip sıvılar içerisinde en iyi çökme kararlılığına sahiptir. MRF-2 ve MRF-3 derişim olarak aynı oranda karbonil demir içermelerine rağmen, MRF-3 içersine katkı maddesi olarak eklenen %1 silika dumanı MRF-3’ün çökme kararlılığını MRF-2’ye göre büyük oranda arttırmıştır. Her iki sıvının 32 saat sonunda çökme oranları arasındaki fark %20 olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 3.** %25 demir içerikli MR sıvıların çökme oranları (Sedimentation ratios of the MR fluids with iron concentration of 25%)



**Şekil 4.** %40 demir içerikli MR sıvılarının çökeltme oranları (Sedimentation ratios of the MR fluids with iron concentration of 40%)

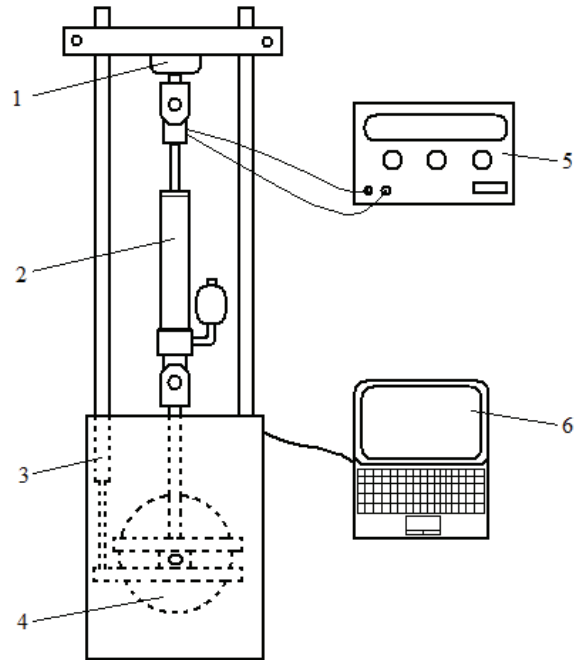
Şekil 4'teki grafikte ise %40 demir içerikli MR sıvılarının çökeltme oranları verilmiştir. MRF-4 çok iyi bir çökeltme kararlılığına sahiptir. MRF-1 ile karşılaştırıldığında çökeltme kararlılığının daha iyi olduğu görülmektedir. MRF-1'in 30 saat sonunda çökeltme oranı %62 iken, MRF-4'ün çökeltme oranı aynı süre sonunda %99'dur. Benzer ilişki MRF-3 ile MRF-5 arasında da vardır. MRF-3'ün 30 saat sonraki çökeltme oranı %29 iken, MRF-5'te bu değer %58'dir. MRF-5'in çökeltme kararlılığı MRF-3'e göre daha yüksektir. MR sıvılar içerisindeki demir tozu konsantrasyonunun artması ile manyetik parçacıklar arasındaki mesafeler azalmıştır. Bu mesafelerin azalmasıyla Lennard-Jones enerji potansiyeli diyagramına göre çekme kuvvetlerinin yerini itme kuvvetleri almakta ve çökeltme kararlılıkları artmaktadır [23].

Manyetik tanecik tipleri yönünden bakıldığında ise, aynı derişime sahip iki farklı tanecik tipinin kullanıldığı MRF-1 ve MRF-2 arasında çökeltme kararlılığı açısından büyük fark olmuştur. Şekil 3'te görüldüğü üzere, 32 saat sonunda MRF-1 ve MRF-2'nin çökeltme oranları arasındaki fark %50 olarak gerçekleşmiştir. MRF-2'nin çökeltme kararlılığı MRF-1'e göre çok daha düşüktür. Bunun sebebi, karbonil demirin yoğunluğunun manyetite göre daha fazla olmasıdır.

#### 2.4. MR Sıvılarının Sönümlenme Performansı (Damping Performance of the MR Fluids)

MR amortisör prototipi performans testleri öncesinde kararlı çalışma şeklini alması için düşük hızlardan başlayarak yüksek hızlara doğru alıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu sayede birbirine sürtünerek çalışan parça ve yatakların uyumlu ve düzgün bir

şekilde çalışması sağlanmıştır. Testler Şekil 5'te şematik görünüşü verilen amortisör test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 5.** Test düzeneğinin şematik görünüşü 1.Kuvvet sensörü, 2.MR amortisör, 3.Yer değişimi sensörü, 4.Elektrik motoru, 5.Güç kaynağı (DC), 6.Kontrol bilgisayarı (Schematic view of test setup 1.Force sensor, 2.MR damper, 3.Displacement sensor, 4.Electric motor, 5.Power supply (DC), 6.Control computer)

Testlerde  $\pm 25$ mm genliğe sahip sinüs dalga şeklinde giriş uyarıtımı kullanılmıştır. Test ortamı sıcaklığı  $20^{\circ}\text{C}$ 'dir. Test işlemlerinde verilerin toplanmasından

önce amortisör 10s süreyle 0,2m/s hızda çalıştırılarak sürekli durum şartları sağlanmıştır. Hazırlanan MR sıvılar MR amortisöre doldurularak test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Testlerde Tablo 4'te görülen hız, akım ve frekans değerleri kullanılmıştır.

**Tablo 4.** Performans testlerinde kullanılan hız, akım ve giriş frekansı değerleri (The values of velocity, current and input frequency used in the performance tests)

Amortisör piston hızı (m/s)	Bobin Akımı (A)	Giriş Frekansı (Hz)
0,1	0	0,63
0,2	0,2	1,27
0,3	0,8	1,90
0,4	1,4	2,53
0,5	2	3,17

### 3. TEST SONUÇLARI VE TARTIŞMA (TEST RESULTS AND DISCUSSION)

Performans testleri sonucunda her bir MR sıvı için MR amortisörün dinamik davranışını gösteren sönümlenme kuvveti-hız ve sönümlenme kuvveti-yer değişimi grafikleri elde edilmiştir. Şekil 6'da 3,17 Hz sabit frekans değerindeki farklı akımlar için MR sıvılara ait sönümlenme kuvveti-hız ve sönümlenme kuvveti-yer değiştirme grafikleri verilmiştir.

MR amortisör bobinine uygulanan akım arttıkça elde edilen sönümlenme kuvveti artmıştır. Bu tüm MR sıvılar için her test hızında geçerlidir. Eş. 2'den anlaşılacağı üzere, amortisör piston hızı arttıkça elde edilen sönümlenme kuvveti de artmaktadır. Burada, "F<sub>d</sub>" sönümlenme kuvvetini, "c" sönümlenme katsayısını ve "ẋ" ise amortisör piston hızını ifade etmektedir. MR amortisörün sönümlenme katsayısı (c), amortisöre uygulanan akımla birlikte MR sıvının viskozitesi değiştiğinden dolayı farklı değerler alabilmektedir. En büyük sönümlenme kuvveti MRF-5'te 2A akım değerinde elde edilmiştir. En düşük sönümlenme kuvveti değeri ise MRF-1'de elde edilmiştir.

$$F_d = c\dot{x} \quad (2)$$

Manyetik parçacık oranının %25 olduğu MRF-1 ve MRF-2 karşılaştırıldığında, MRF-2'den MRF-1'e göre kapanma stroğunda %23,2 ve açılma stroğunda ise %42,8 daha fazla sönümlenme kuvveti elde edilmiştir. Aynı konsantrasyonda hazırlanmalarına rağmen, karbonil demir içerikli MRF-2'den, manyetit içerikli MRF-1'e göre daha fazla sönümlenme kuvveti elde edilmiştir.

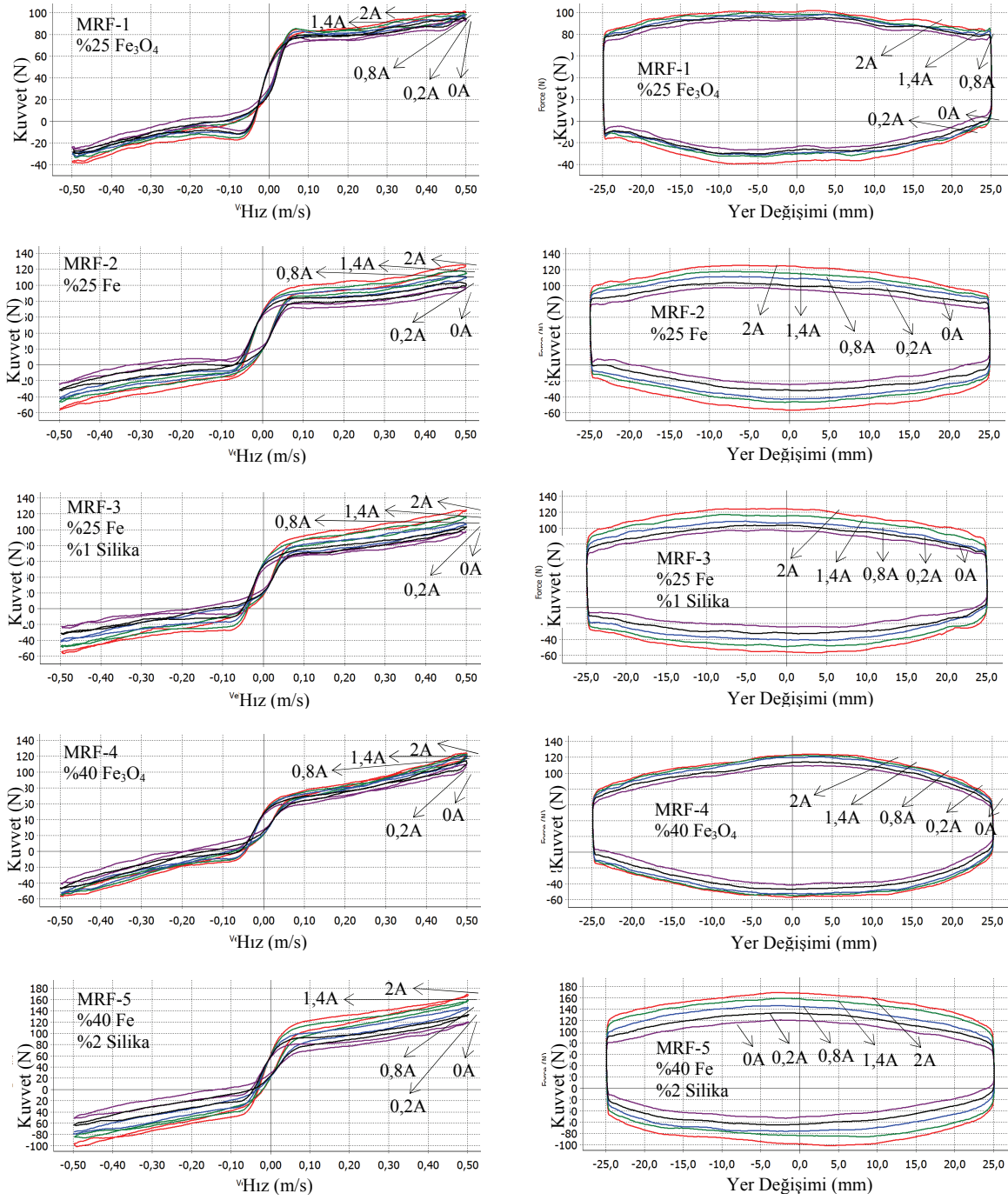
MR sıvılarda manyetik parçacık konsantrasyonunun artmasıyla sönümlenme kuvvetleri de artmıştır. MRF-1 ve MRF-4'e bakıldığında, %40 oranında hazırlanan MRF-4'ün %25'lik MRF-1'e göre kapanma ve açılma stroğundaki sönümlenme kuvvetlerinde sırasıyla %22,8 ve %44 artış söz konusudur. Aynı şekilde MRF-5'in MRF-3'e göre sönümlenme kuvvetlerindeki artış kapanma ve açılma stroğunda sırasıyla %35,4 ve %76,8 olarak gerçekleşmiştir. Bunun sebebi, konsantrasyonun artmasıyla manyetik parçacıklar arasındaki mesafelerin kısalması ve daha güçlü bir MR etkinin oluşmasıdır.

MR sıvılarda, akım verilmediği durumda minimum sönümlenme kuvvetleri elde edilirken, en yüksek akım değeri olan 2A akım değerinde maksimum sönümlenme kuvvetleri elde edilmektedir. Bu 2A'lık akım değeri, MR amortisör prototipi tasarlanırken yapılan manyetik analiz neticesinde belirlenmiş bir değerdir. Maksimum (F<sub>max</sub>) ve minimum sönümlenme kuvvetleri (F<sub>min</sub>) arasındaki kuvvet farkı dinamik kuvvet aralığını (F<sub>din</sub>) vermektedir. Bu ilişki Eş. 3 ile verilebilir. Dinamik kuvvet aralığı değeri, kontrol edilebilen kuvvet miktarı anlamına gelmektedir. Bu nedenle, bu değer yüksek olması istenmektedir. Şekil 7'de farklı hızlarda MR sıvılara ait dinamik kuvvet aralığı grafikleri verilmiştir.

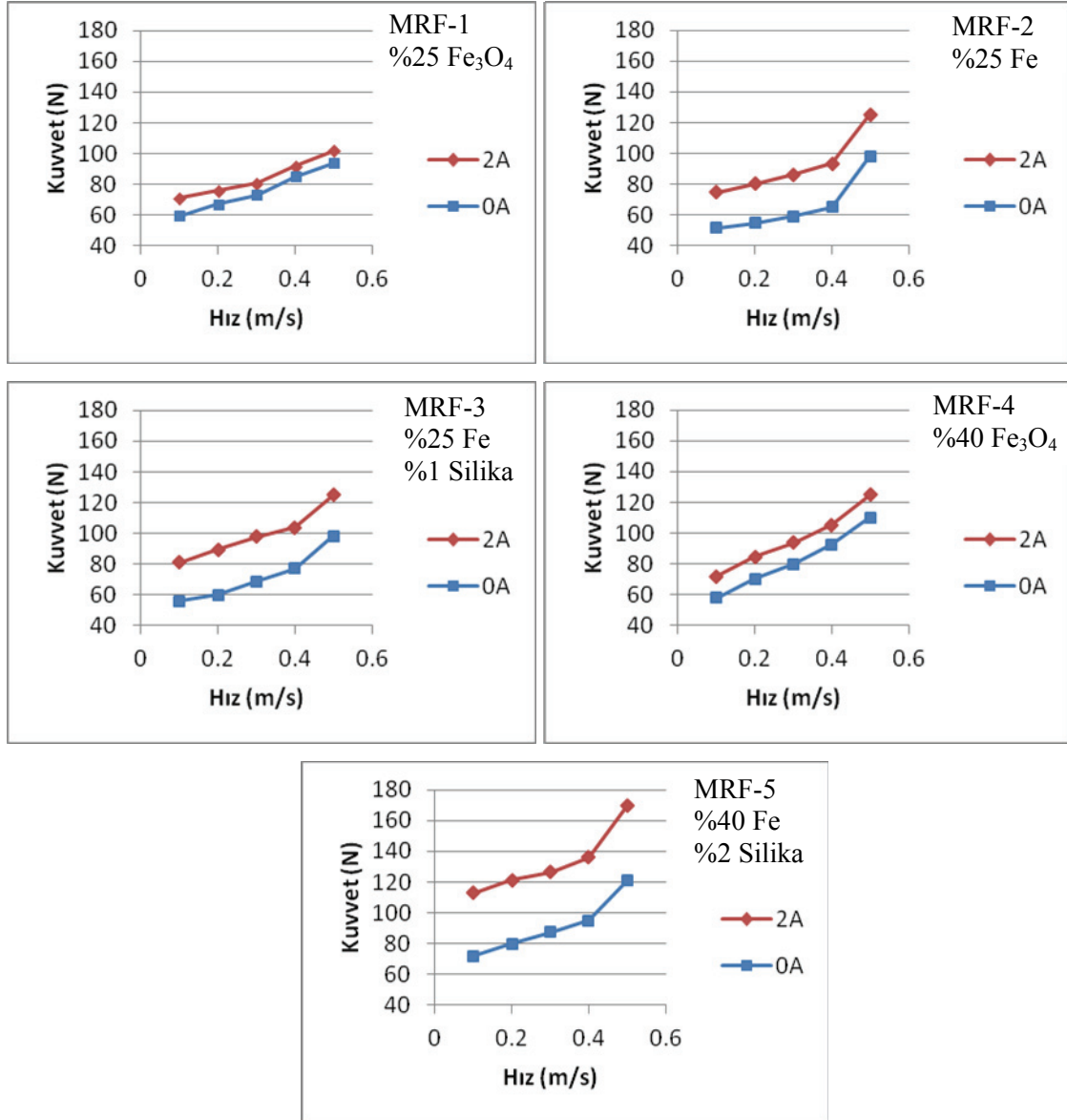
$$F_{din} = F_{max} - F_{min} \quad (3)$$

Dinamik kuvvet aralığı değerlerine bakıldığında, en yüksek değer 48N olarak MRF-5'in iken en düşük değer yaklaşık 8N ile MRF-1'in değeridir. Karbonil demir ile hazırlanan MR sıvıların dinamik kuvvet aralığı değerleri manyetit ile hazırlananlara oranla daha yüksektir. Silika dumanı ilavesi bu değer yaklaşık %5 civarında yükselmesini sağlamıştır. Bunun sebebi, silika dumanı ilavesi ile daha homojen bir karışım elde edilip çöken manyetik parçacık oranının azalmasıyla daha güçlü bir MR etkinin oluşmasıdır.



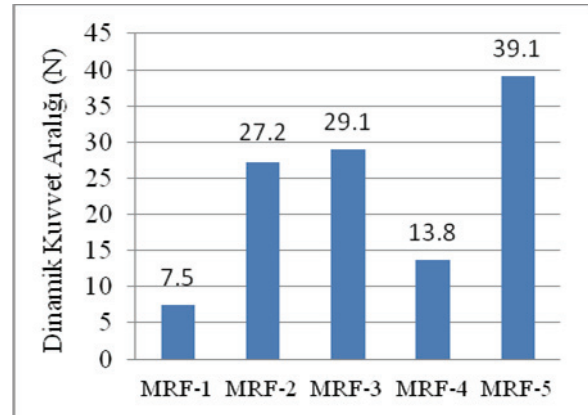


**Şekil 6.** MR sıvıların sabit 3,17 Hz giriş frekansındaki sönümlenme kuvveti-hız ve sönümlenme kuvveti-yer değiştirme grafikleri (The graphics of damping force vs velocity and damping force vs displacement of the MR fluids at the constant input frequency 3,17 Hz)



Şekil 7. MR sıvıların dinamik kuvvet aralıkları (Dynamic force ranges of the MR fluids)

Ayrıca, Şekil 7'de görüldüğü üzere, hız arttıkça tüm MR sıvılar için geçerli olarak iki eğri arasındaki alan daralmaktadır. Bu alanın daralması, dinamik kuvvet aralığının azalması anlamına gelmektedir. Şekil 8'de ise 0,3m/s test hızında MR sıvılara ait dinamik kuvvet aralığı değerleri sütun grafiğiyle gösterilmiştir. Şekil 8'e bakıldığında, %25 karbonil demir içeriğiyle hazırlanan MRF-2 ve MRF-3'ün dinamik kuvvet aralıkları 27-29 N civarında iken, %40 manyetit içeriğiyle hazırlanan MRF-4'te bu değer yaklaşık 14 N'dur. MRF-4'e göre daha düşük manyetik parçacık konsantrasyonuna sahip olmalarına rağmen MRF-2 ve MRF-3, daha büyük dinamik kuvvet aralığı değerlerine sahiptirler. Bunun yanında, MRF-3'e katılan silika dumanından dolayı dinamik kuvvet aralığı değeri MRF-2'ye göre yaklaşık %7 artmıştır.



Şekil 8. MR sıvıların 0,3m/s hızda dinamik kuvvet aralığı değerleri (The values of dynamic force range of the MR fluids at velocity of 0,3m/s)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Tüm hazırlanan MR sıvılarda ve tüm test hızlarında, akım arttıkça elde edilen sönümlenme kuvvetleri dolayısıyla absorbe edilen enerji miktarları artmıştır. Akımın artmasıyla MR sıvıların sönümlenme kuvvetlerindeki artış oranlarına bakıldığında, MRF-1'de %9, MRF-2'de %27, MRF-3'te %28, MRF-4'te %13 ve MRF-5'te ise %40'luk bir artış söz konusudur. Benzer şekilde; MR sıvılar içerisindeki manyetik parçacık konsantrasyonu artırıldığında MR sıvıların sönümlenme kuvvetleri, dinamik kuvvet aralıkları ve çökeltme kararlılıkları artmıştır. Buna karşılık, amortisör piston hızı artırıldığında ise tüm MR sıvıların dinamik kuvvet aralığı değerleri azalmaktadır.

Manyetik parçacık olarak karbonil demirin kullanıldığı MR sıvılardan manyetit ile hazırlanan MR sıvılara göre daha fazla sönümlenme kuvvetleri elde edilmiştir. Ayrıca, karbonil demir ile hazırlanan MR sıvıların dinamik kuvvet aralığı değerleri manyetit ile hazırlananlara oranla çok daha yüksektir. Dinamik kuvvet aralığı değerlerinin 0.3m/s hızdaki değişimine bakıldığında, karbonil demir ile hazırlanan MR sıvıların dinamik kuvvet aralığı değerleri manyetit içerikli MR sıvıların dinamik kuvvet aralığı değerlerinin üç katına eşittir.

Bunun yanında, manyetit esaslı MR sıvıların çökeltme kararlılıkları karbonil demir esaslı MR sıvılara oranla daha yüksektir. Tanecik tipi açısından bakıldığında, manyetit ve karbonil demir ile hazırlanan MR sıvıların çökeltme oranları arasında yaklaşık %50 fark meydana gelmiştir. Konsantrasyon açısından ise, her iki tanecik tipi için de çökeltme oranları arasında yaklaşık %30'luk bir fark oluşmuştur. Karbonil demir esaslı MR sıvılara eklenen silika dumanı, çökeltme kararlılığını büyük oranda arttırmıştır. Silika dumanı ilavesiyle çökeltme oranları arasında olumlu yönde %20'lik bir fark meydana gelmiştir. Ayrıca, silika dumanı ilavesi dinamik kuvvet aralığı değerlerini küçük de olsa pozitif yönde etkilemiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından doktora projesi (Proje No: 07/2010-29) kapsamında maddi olarak desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Chin, B.D., Park, J.H., Kwon, M.H., Park, O.O., "Rheological Properties and Dispersion Stability of Magnetorheological (MR) Suspensions", *Rheologica Acta*, Cilt 40, 211-219, 2001.
2. Genç, S., Phulé, P.P., "Rheological Properties of Magnetorheological Fluids", *Smart Mater. Struct.*, Cilt 11, 140-146, 2002.

3. Klingenberg, D.J., "Magnetorheology: Applications and Challenges", *AICHE Journal*, Cilt 47, No.2, 246-249, 2001.
4. Nguyen, Q.H., Choi, S.B., "Optimal Design of MR Shock Absorber and Application to Vehicle Suspension", *Smart Mater. Struct.*, Cilt 18, 1-11, 2009.
5. Park, E.J., Luz, L.F., Suleman, A., "Multidisciplinary Design Optimization of An Automotive Magnetorheological Brake Design", *Computers and Structures*, Cilt 86, 207-216, 2008.
6. Kieburg, C., Oetter, G., Lochman, R., Gabriel, C., Laun, H.M., Pfister, J., "High Performance Magnetorheological Fluids Tailored for A 700 Nm Automotive 4-Wheel-Drive Clutch", *The 10th International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions*, University of Nevada, ABD, 101-107, 18-22 Haziran 2006.
7. Yao, H.J., Fu, J., Yu, M., Peng, Y.X., "Semi-Active  $H_\infty$  Control of Seat Suspension With MR Damper", *The 13th International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, Journal of Physics: Conference Series*, Cilt 412, 1-16, 2013.
8. Barber, D.E., Carlson, J.D., "Performance Characteristics of Prototype MR Engine Mounts Containing LORD Glycol MR Fluids", *The 11th International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, Journal of Physics: Conference Series*, Cilt 149, 1-4, 2009.
9. Huang, H., Sun, L., Jiang, X., "Vibration Mitigation of Stay Cable Using Optimally Tuned MR Damper", *Smart Structures and Systems*, Cilt 9, No.1, 35-53, 2012.
10. Xu, Z.D., Sha, L.F., Zhang, X.C., Ye, H.H., "Design, Performance Test and Analysis on Magnetorheological Damper for Earthquake Mitigation", *Structural Control and Health Monitoring*, Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com), 2012.
11. Gudmundsson, K.H., Jonsdottir, F., Thorstiensson, F., "A Geometrical Optimization of A Magneto-Rheological Rotary Brake in A Prosthetic Knee", *Smart Mater. Struct.*, Cilt 19, 1-11, 2010.
12. Avraam, M.T., *MR-Fluid Brake Design and Its Application to A Portable Muscular Rehabilitation Device*, Doktora Tezi, Université Libre De Bruxelles, Faculté De Sciences Appliquées, 2009.
13. Kordonski, W., Golini, D., "Progress Update in Magnetorheological Finishing", *International Journal of Modern Physics B*, Cilt 13, No.14-15, 2205-2212, 1999.



14. Phulé, P.P., Ginder, J.M., Jatkar, A.D., "Synthesis and Properties of Magnetorheological (MR) Fluids for Active Vibration Control", **Materials Research Society Symposium Proceedings**, Cilt 459, 99-104, 1997.
15. Rwei, S.P., Lee, H.Y., Yoo, S.D., Wang, L.Y., Lin, J.G., "Magnetorheological Characteristics of Aqueous Suspensions That Contain Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles", **Colloid Polym. Sci.**, Cilt 283, 1253-1258, 2005.
16. Kciuk, M., Kciuk, S., Turczyn, R., "Magnetorheological Characterisation of Carbonyl Iron Based Suspension", **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, Cilt 33, No.2, 135-141, 2009.
17. Lim, S.T., Cho, M.S., Jang, I.B., Choi, H.J., "Magnetorheological Characterisation of Carbonyl Iron Based Suspension Stabilized by Fumed Silica", **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, Cilt 282, 170-173, 2004.
18. Hong, M.K., Park, B.J., Choi, H.J., "Preparation and Physical Characterisation of Polyacrylamide Coated Magnetite Particles", **Physica Status Solidi (A)**, Cilt 204, No.12, 4182-4185, 2007.
19. Pu, H., Jiang, F., Yang, Z., "Preparation and Properties of Soft Magnetic Particles Based on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and Hollow Polystyrene Microsphere Composite", **Materials Chemistry and Physics**, Cilt 100, 10-14, 2006.
20. López-López, M.T., Vicente, J., González-Caballero, F., Durán, J.D.G., "Stability of Magnetizable Colloidal Suspensions by Addition of Oleic Acid and Silica Nanoparticles", **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, Cilt 264, 75-81, 2005.
21. Shen, R., Shafrir, S.N., Miao, C., Wang, M., Lambropoulos, J.C., Jacobs, S.D., Yang, H., "Synthesis and Corrosion Study of Zirconia-Coated Carbonyl Iron Particles", **Journal of Colloid and Interface Science**, Cilt 342, 49-56, 2010.
22. Ergin, T., **Manyetoreolojik (MR) Sıvılı Yarı-Aktif Bir Amortisörün Tasarımı ve Prototip İmalatı**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
23. Yu, N., Polycarpou, A.A., "Adhesive Contact Based-on The Lennard-Jones Potential: A Correction to the Value of the Equilibrium Distance As Used in the Potential", **Journal of Colloid and Interface Science**, Cilt 278, No.2, 428-435, 2004.

