

MANYETİK SIVILI DAMPERLERİN YAPISAL ANALİZİ

İ. ŞAHİN*, H. R. ÖZ**, T. ENGİN*,
A. İLHAN**, A. AKPOLAT**

Bu çalışmada kamyon, kamyonet ve traktör gibi ticari araçlara uygulanabilen manyeto Reolojik (MR) damperler üzerinde durulmuş ve mekanik davranışları araştırılmıştır. Yarı-aktif titreşim kontrol sistemleri, fazla bir güç gereksinimleri olmadan hem aktif hem de pasif kontrol sistemlerinin (avantajlarını) özelliklerini taşımalarından ötürü son 10 yıl içerisinde önemli bir ilgi odağı haline gelmiştir. MR damperlerde, damper sıvısının uygun bir manyetik alan ile aktifleştirilmesi, bu sıvıların görünür dinamik viskozitelerinde çok hızlı ve büyük artışlara neden olmaktadır. Bu tür sıvılar, buldukları durumdaki manyetik alan etkisiyle neredeyse yarı-katı durumuna sadece birkaç milisaniyede geçebilmektedirler ve manyetik alanın kaldırılmasıyla süreç ters yönde aynı hızda gerçekleşmektedir. Yüksek bir çalışma güvenilirliğine sahip bu damperler, herhangi bir nedenden ötürü aktifleşmeyi sağlayan elektrik akımının kesilmesi halinde, klasik bir damper gibi çalışmaktadırlar. Bu çalışmada, değişik çalışma koşulları altında damperde oluşan gerilmeler ve bunların damper üzerindeki etkileri sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: MR damper, yarı aktif titreşim kontrolü, MR akışkanı

In the present study, it has been focused on the magnetorheological (MR) dampers that can be used in vehicles such as truck, pickup truck, and tractor, and their mechanical behaviors have been investigated. Semi-active vibration control systems have attracted much interest last decade since they can be used in both active and semi-active vibration control without consuming much power. In the MR dampers, damper fluids change their apparent viscosity within a few millisecond, which make them almost a semi-solid material, when they are subjected to a certain magnetic field. If the magnetic field is removed, the phenomena is reversed with the same speed. These dampers have a high operating safety such that when the supplied power went out, the damper can operate as the conventional passive dampers. In this paper, the stresses that developed under various operation conditions and their effects on the damper's mechanical behavior have been analyzed using finite element method (FEM).

Keywords: MR damper, semi-active vibration control, MR fluid

* Sakarya Üniv., Makina Müh. Bölümü,

** Gaziantep Üniv., Makina Müh. Bölümü,

GİRİŞ

Yarı-aktif süspansiyon sistemleri, pasif süspansiyon sistemlerinin basitliği ile tam aktif süspansiyon sistemlerine yakın performansı ile son 15 yıldır hem bilimsel alanda hem de uygulama alanında oldukça büyük ilgi görmektedir. Yarı-aktif kontrolde temel eleman özellikleri ayarlanabilir yay ve/veya damper kullanılmaktadır. Pratikte ekseriya yaya göre ayarlanması kolay olması sebebi ile, damperin sönüm değerinin değiştirilmesi sureti ile yarı-aktif kontrol gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler ilk olarak valf kontrollü ayarlı damperler ile uygulamada görülmektedir. Daha sonradan zeki sıvının bir türü olan, ER sıvılardan (Elektro-Rheological fluid) imal edilen damperler araştırma konusu olmuş ancak ER sıvıdan yapılan damperlerin yüksek gerilim gerektirmesi, düşük alan gerilmesi gibi dezavantajları sebebi ile fazla rağbet görmemiştir. Bununla birlikte, ER sıvılara göre düşük gerilim ve akımda yüksek kayma gerilmesi vermesi, imalat vb. kirlilerden etkilenmemesi gibi üstün özellikleri bulunan MR (Magneto-Rheological) sıvıların kullanıldığı damperler kullanılmaya başlamıştır.

Manyeto Reolojik (MR) akışkanlar, bir taşıyıcı akışkan içerisine (silikon, madeni yağ vs.) belirli oranda konmuş, mikron seviyede boyutlu mıknaştırma özellikli katı taneciklerden oluşurlar. Bu tür akışkanlar dışarıdan manyetik alan uygulanmadığında normal sıvı karakteri (genellikle Newtonian akışkan davranışı) gösterirler. Bu durumda katı tanecikler sıvı içerisinde rasgele konumlarda bulunurlar. Dışarıdan manyetik alan uygulanmasıyla bu katı tanecikler düşey kolonlar (zincir yapı) oluştururlar ve tıpkı bir elek görevi görerek akışkanın manyetik alan uygulanan bölgeden geçişini zorlaştırırlar. Bu sayede sıvı haldeki akışkan sanki çok yüksek bir viskoziteye sahip bir davranış sergiler. Uygulanan manyetik alanın şiddeti süspansiyon şeklindeki akışkanın viskozitesinin kontrol edilmesini sağlar. MR akışkanlar önemli bazı avantajları sayesinde son yıllarda teknolojiye geniş uygulama alanı bulmuştur. Bu avantajları arasında hızlı cevap süresi, yüksek dinamik akma gerilmesi, düşük plastik viskozite, geniş sıcaklık bandında çalışabilme (-40 °C - 150 °C), zor çökme ve kolay ve homojen karışım

oluşturma sayılabilir. MR sıvılar manyetik veya elektrik alana maruz kaldıklarında sıvı halden yarı-katı hale birkaç milisaniyede geçebilir ve etkinin kalkmasıyla aynı hızda sıvı durumuna geri dönebilirler [1]. Ayrıca 100 kPa civarında olan maksimum kayma gerilmeleri yukarıdaki çalışma sıcaklığı bandında hemen hemen hiç değişmemektedir [2]. Ayrıca bu sıvılar imalat ve kullanımdan kaynaklanabilecek kirlenmelerden olumsuz etkilenmezler. Bunun yanında MR sıvılar zehirli olmayıp sıvı kararlılığını sağlamak üzere çeşitli katkı maddeleri güvenle kullanılabilir. 12-24 V gibi düşük voltajlar altında sadece 1-2 A akım ile çalışabildiklerinden aktif edildiklerindeki güç tüketimleri düşüktür.

MR sıvılarının keşfi 1940'lara dayanmakla birlikte [3, 4] genellikle bu konudaki araştırmaların çoğu 1990 ve sonrasında gerçekleşmiştir. Günümüzde MR akışkanların kavrama, fren, kilitleme, servo-valf, titreşim sönümlenme (süspansiyon), şok emme sistemlerinde kullanımına yönelik yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bunda şüphesiz bu sistemlerin hem aktif hem de pasif kontrol sistem özelliklerini bir arada bulundurması önemli rol oynamıştır. MR sıvılı süspansiyon sistemlerine yönelik çalışmalar önemli ölçüde otomotiv endüstrisine [5-7], uzay çalışmalarına [8, 9], köprü ve yapıların deprem sarsıntularından korunmasına [10-13] yönelmiş durumda olup hızla gelişmektedir. Bu durum, Mekatronik disiplini içerisinde son yıllarda önemli araştırmaların yapıldığı Mikro-Elektro-Mekanik-Sistemler (MEMS) alanında da kendisini göstermeye başlamış olup bu konuda yapılan önemli iki çalışmaya [14, 15] başvurulabilir.

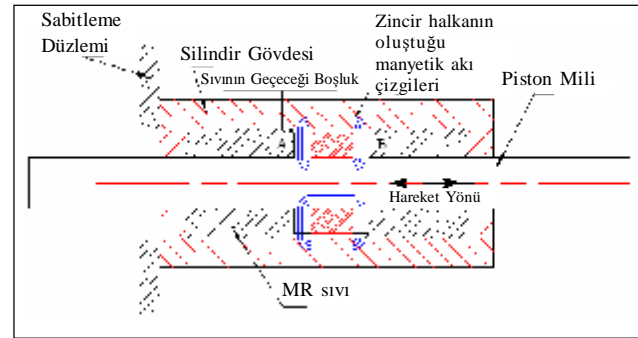
Ülkemizde bu konuda yapılmış deneysel ve teorik bir çalışma bulunmamaktadır. Özellikle bu tür sistemlerin tasarım kriterleri ve prosedürü taşıdıkları yüksek ticari değerlerden ötürü literatürde yer almamaktadır. MR sıvılarının imal edilmesi ve karakterizasyonu ise sadece birkaç şirket veya kurumun tekelindedir. Lord firması [16] ile yine ABD'de bulunan Nevada Üniversitesi Reno [17], bu tür sistemleri ve MR sıvısını tasarımdan prototip

üretimine kadar götürebilen sayılı kurumlardandır. Yine de bu konuda önemli bir çalışma Pittsburgh Üniversitesi'nde (ABD) doktora tezi olarak yapılmıştır [18]. Bütün bunların yanında MR damperleri için tasarım prosedürü ve optimizasyonu konularında literatürde tatminkar bir bilgiye ulaşmak mümkün değildir ve bu konular yeterince incelenmemişlerdir. Özellikle belirlenmiş bir uygulama için bir MR damperin sıfırdan başlanarak nasıl ürün haline getirileceği, tasarıma etki eden değişkenler kullanılarak nasıl parametrik optimizasyon yapılacağı ve elde edilen sistemin hangi testlerden ne koşullarda geçmesi gerektiği konuları bu projede sistematik olarak araştırılıp ortaya konulması şu anda kabul edilen TÜBİTAK projesinin konusudur.

Bu çalışmada ise söz konusu projede ele alınacak problemlerden birisi olan, değişik çalışma şartları altında damperde oluşan gerilmeler ve bunların damper üzerindeki etkileri sonlu elemanlar analizi ile incelenecektir.

MR DAMPERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Şekil 1'de MR damperin basitleştirilmiş kesit görünüşü verilmiştir. Ayrıntılı ölçülendirmeler ise apendiste verilmiştir.



Şekil 1. MR Damperin Basitleştirilmiş Kesit Görünüşü

Silindir bir taraftan sabitlenmiş durumdadır. Silindir ortasına yataklanmış olan mil sağa ve sola hareket edebilmektedir. A ve B ile gösterilen kısımlarda MR sıvı bulunmaktadır. Çalışmada birbirinin aynı iki durum söz konusudur. Milin sağa veya sola hareketine göre, A veya

B bölmesinde bulunan MR sıvı, piston kutbunun etkisi ile hacmin azaldığı (basıncın attığı) kısımdan hacmin attığı (basıncın azaldığı) bölme doğru hareket eder. Bir MR damperin çalışması manyetik alanın var olması ve yok olması durumuna göre değişir (Şekil 2):

Manyetik alan yok ise:

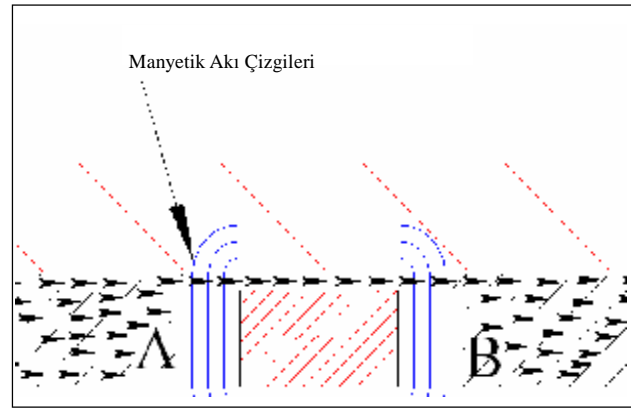
- 1- Pistonun sol tarafa hareket etmesi durumunda A bölümündeki basınç artar ve bu bölmeden çıkmaya çalışır.
- 2- Sıvı A ve B bölgelerindeki tek bağlantı olan dairesel kesitli boşluktan akmaya başlar.
- 3- Manyetik alan oluşturulmamıştır.
- 4- Sıvı geçişine sadece MR sıvısının viskoz özelliklerinden kaynaklanan bir tepki kuvveti oluşur. Bu tepki kuvveti, piston hareket hızı ile ilişkili olarak bir sönüm kuvveti oluşturur.

Manyetik alan varsa:

- 1- Pistonun sol tarafa hareket etmesi durumunda A bölümündeki basınç artar ve bu bölmeden çıkmaya çalışır.
- 2- Sıvı A ve B bölgelerindeki tek bağlantı olan dairesel kesitli boşluktan akmaya başlar.
- 3- Manyetik alan oluşturulduğu için, MR sıvı içinde bulunan mıknatıslanabilen parçacıklar, manyetik akı çizgileri boyunca ve MR sıvının akış yönüne dik olarak dizilirler.
- 4- Pistonun hızı ile orantılı olarak, bu zincir yapıya bir basınç kuvveti uygulanır.
- 5- Basınç yeterince büyük olursa, zincir yapının gösterdiği tepki kuvveti aşılarak, kuvvetin büyüklüğü ile orantılı olarak MR sıvı A bölümünden B bölümüne akar.
- 6- Oluşturulan manyetik alanın malzeme özelliklerine

göre en yüksek değeri vardır. Bu en yüksek değerde gösterilen tepki kuvveti, damperin en yüksek kuvvetini göstermektedir.

- 7- Geçiş bölgesindeki basınç kuvveti kaldırılır kaldırılmaz, zincir yapı tekrar oluşur.



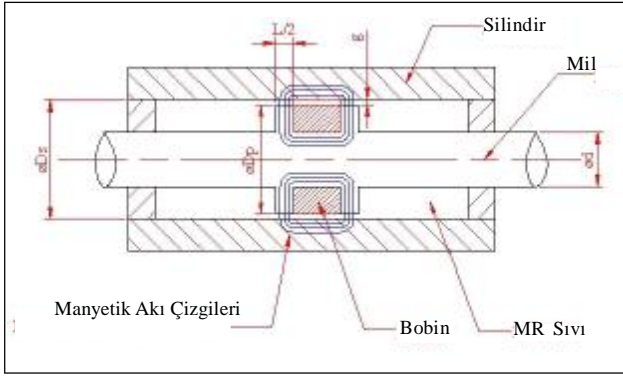
Şekil 2. MR Damper Çalışma Prensipleri

MR DAMPER TEORİK MODELİ

MR damperin davranışını anlayabilmek için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Özellikle MR¹ sıvının lineer olmayan davranışının damper içindeki kanallardan akışı ve bu akış esnasında ne ölçüde basınç düşmesine sebep olduğu önemli bir araştırma konusudur. MR damperlerde, sıvı üzerinde oluşturulan manyetik alanın sebep olduğu demir tozlarının zincir biçimli yapı oluşturması, akışa karşı ek bir direnç kuvveti oluşturur. Doğal olarak MR sıvının geçmeye çalıştığı ve aynı zamanda manyetik alanın oluşturulduğu bölgenin geometrik yapısı önem kazanmaktadır (Şekil 3 de "g" boşluğu ve "L/2" uzunluğundaki kutup başlarından manyetik akı çizgilerinin geçtiği bölge).

Şekil 1'de de görüleceği üzere, MR damperlerde iki tür akışa karşı direnç oluşur. Birincisi sıvının dar bir kanal kesitinden geçerken, sürtünme kuvveti (F_h). İkincisi ise manyetik alan oluşturulması ile MR sıvının akmaya karşı

1 MR Sıvı: Normal şartlarda Newtoniyen benzeri davranış özelliği gösteren, ancak üzerine manyetik alan uygulandığında özellikleri değişerek yarı-katı hale gelen ve newtoniyen olmayan bir davranış gösteren zeki malzemelerin bir çeşidi.



Şekil 3. MR Damper ve Temel Boyutları

gösterdiği direnç ile oluşan tepki kuvvetidir (F_t) Bu iki kuvvete ek olarak sürtünme kuvveti dikkate alınırsa toplam kuvvet,

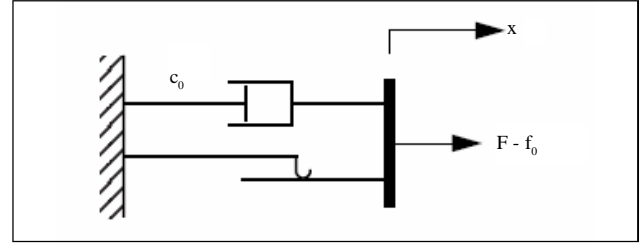
$$F_T = F_f + F_h + F_t \quad (1)$$

MR damperin tepki kuvvetini oluşturur. Bu eşitlikte F_f ve F_h MR damperin geometrik yapısı ve akışkanın normal şartlardaki özellikleri ile bağıntılıdır ve imal edildikten sonra sabit değerdedirler. Ancak F_t sıvı üzerine uygulanan manyetik alan şiddeti ile lineer olmayan bir ilişki gösterir.

Literatürde MR sıvısının davranışını tanımlayabilmek için çeşitli modeller araştırılmıştır. Basitliği sebebi ile yaygın olarak kullanılan Bingham plastik model, non-lineer sıvıları tanımlamada uzun yıllardır kabul görmüş bir modeldir. Bu modelde kayma gerilmesi;

$$\tau = \tau_y + \mu_0 \dot{\gamma} \quad (2)$$

olarak verilmektedir. Bu denklemde τ_g manyetik alan şiddetine bağlı akma gerilmesi, μ_0 görünür viskozite ve $\dot{\gamma}$ ise incelenen bölgedeki deformasyon hızını belirtmektedir. Bingham plastik modeli paralel yerleştirilmiş bir damper ve sürtünme elemanından (Şekil 4) oluşmaktadır.



Şekil 4. Bingham Plastik Modeli Şematik Gösterimi

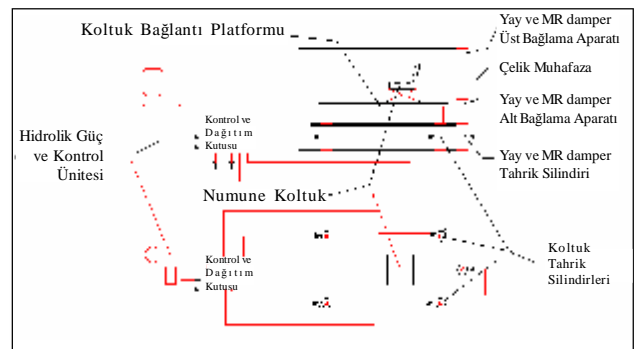
Bu modelde, sıfırdan farklı hızlarda üretilen tepki kuvveti,

$$F = f_c \operatorname{sgn}(\dot{x}) + c_0 \dot{x} + (f_0) \quad (3)$$

olarak verilmektedir. Denklemdeki c_0 sönüm katsayısı, f_c sürtünme katsayısı, ve f_0 ise eğer akümülatör var ise, akümülatör içindeki basınçlı gaz sebebi ile etkiyen kuvvettir. Ancak Bingham plastik bünye denklemi MR sıvılarda görülen kayma incelmesi (shear thinning) veya kayma kalınlaşması (Shear thickening) durumlarında MR damperi tam olarak modelleyememektedir. Bu olgu, Herschel-Bulkley Modeli ile ifade edilebilmektedir.

MR damperleri klasik damperlerden farklı kılan özellik, dinamik çalışma bölgesinin geniş bir alan içinde olmasıdır. Daha sonra deneylerin yapılacağı test standı şematik olarak Şekil 5'de verilmiştir.

Test standının iki ayrı işlevi vardır. Birincisi süspansiyon sistemlerinin temel elemanları olan yay ve damperin karakteristik özelliklerinin tespit



Şekil 5. Koltuk Süspansiyonu ve Yay/Damper Test Platformu

edilmesine yarayan kısımdır. Alt kısımda, oransal valf ile kontrol edilen bir çift etkili silindir bulunmaktadır. Hidrolik silindirin baş kısmında ve aynı ekseninde üst kısımda yay veya damperin bağlanabilmesine olanak sağlayan bağlantı aparatları bulunacaktır. Bu bağlantı elemanlarına gerekli ölçümleri alabilmek için kuvvet ölçüm algılayıcısı, hız ölçüm algılayıcısı, ivme ölçer ve konumu ölçmek amacı ile Doğrusal konum ölçer (Lineer Variable Distance Transducer-LVDT) için bağlama kısımları bulunacaktır.

İkinci kısım, süspansiyon sistemini bire bir modelleyerek, bir bütün olarak davranışını inceleyecek şekilde tasarlanmıştır. Yine taban kısmında uyarıları verecek olan 4 adet çift etkili hidrolik silindir ve bağlama aparatları bulunacaktır. Bağlama platformu üzerine, test edilecek koltuk mekanizması monte edilecektir. Tüm ekipmanlar sistemi güvenli bir şekilde muhafaza edecek, sarsıntıyı vb. durumları engelleyecek bir çelik konstrüksiyon iskelet içine rijit bir şekilde yerleştirilecektir. 4 adet tahrik silindiri ile koltuk süspansiyon sistemi sadece dik hareketleri değil, hidrolik silindirler farklı kurs boylarında hareket verilmesi ile platformda açılı konumlarda oluşturulacaktır. Bu sayede yanal ivmelenmeler de ölçülerek, bu hareketin komple sisteme olan etkileri de araştırılabilecektir.

Platformun tahrik kısmı hidrolik sıvı deposu, yüksek basınçlı pompa ve motoru, kumanda vanaları, basınç ve sıcaklık göstergeleri, hidrolik silindir ve oransal valf kontrollü bir güç ünitesinden oluşmaktadır. Bu sistem deney platformuna yerleştirilen çift etkili hidrolik silindirleri tahrik etmek için kullanılacaktır.

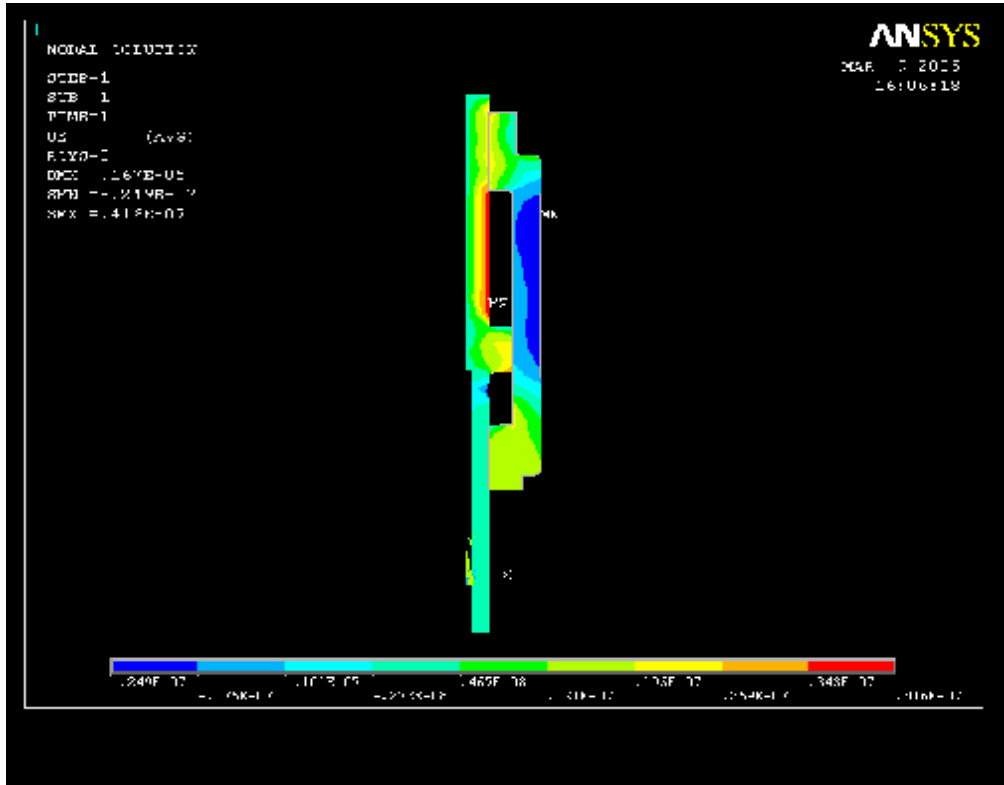
Deney düzeneği her türlü test işlemlerinin PC tabanlı kontrol ve kumanda edildiği (HIL) bir sistemdir. Sistemde mevcut tüm veri alış verişleri bu kontrol donanımı yardımı ile sisteme verilip toplanmaktadır. Bu kontrol sistemi son derece esnek olduğu için, sisteme istenilen uyarı tipi verebilecektir (Step, rampa, sinüs, rast gele vb.).

Manyetik sıvılı damperler, pratikte karşılaşılan pek çok uygulamada yarı-aktif bir titreşim kontrolünün yapılabilmesini teknolojik olarak mümkün kılmaktadır. Özellikle arazi şartlarında çalışan traktör, kamyon, kamyonet ve otobüs benzeri ağır araçlar için kontrol edilebilir bir süspansiyon sistemi son derece önem arz etmektedir. Bu durum ülkemiz açısından MR damperleri incelemeyi ve teknolojisini geliştirmeyi önemli kılmaktadır. Çünkü ülkemizdeki yol şartları gelişmesini tamamlamış ülkelere oranla çok bozuktur. Dolayısıyla gerek yollarda seyreden araçların, gerekse bunların sürücülerinin sürüş konforunun sağlanması önemli ölçüde kontrol edilebilir bir titreşim kontrolünü gerektirmektedir.

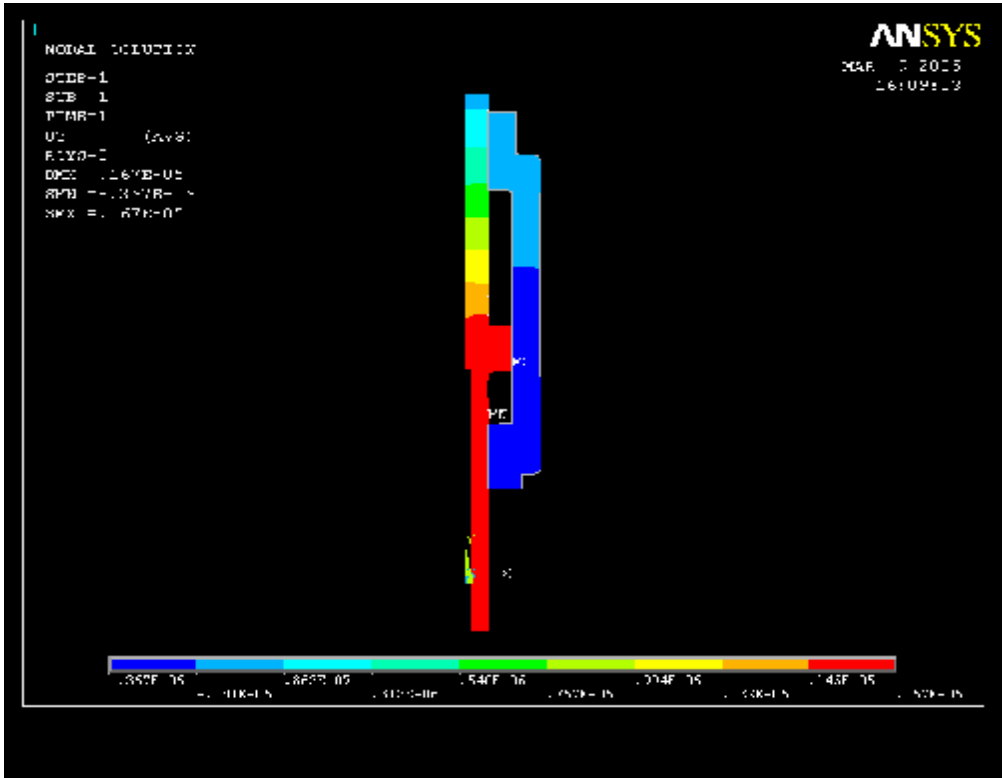
SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

MR Damper ANSYS programı ile analiz edilmiştir. Analizde kuadratik eleman, düzlem 182, 2 boyut, 4 düğümlü yapısal katı, simetri eksenli çözümü, $E = 200$ GPa, $\nu = 0.3$ değerleri kullanılmıştır. İç basınç 14 bara yaklaşık olarak tekabül eden 1400 kPa alınmıştır. Ayrıca bu iç basıncı sağlayacak olan kuvvet düşey olarak pistonu uygulanmıştır. Sistem statik olarak incelenmiştir. Bundan dolayı sistem sadece statik basınca maruz ve ayırık elemanlar olarak ele alınabilir. Pistonun alt noktadan 5 ve 35 mm yukarıda olduğu durumlarda 1400 kPa'lık basınçtan kaynaklanan yerdeğiştirmeler ve şekil değiştirmeler incelenmiştir. Bu sonuçlar Şekil 6-13'te verilmiştir.

Şekil 6'da pistonun alt noktadan 5 mm yukarıda olduğu durumda yatay yönde yerdeğiştirmeler ve Şekil 7'de ise düşey yerdeğiştirmeler gösterilmektedir. Yatay yönde dıştaki silindirin daha fazla şekil değiştirdiği görülebilmektedir. Yukarı kısımda eğilme momentinden gelen etkiler vardır. Mavi bölgeler bası türü gerilmedir. Kırmızılar ise çeki türüdür. Bu aynı zamanda pistondaki burkulmadan gelen durumu göstermektedir. Düşey yöndeki değerler daha büyüktür.



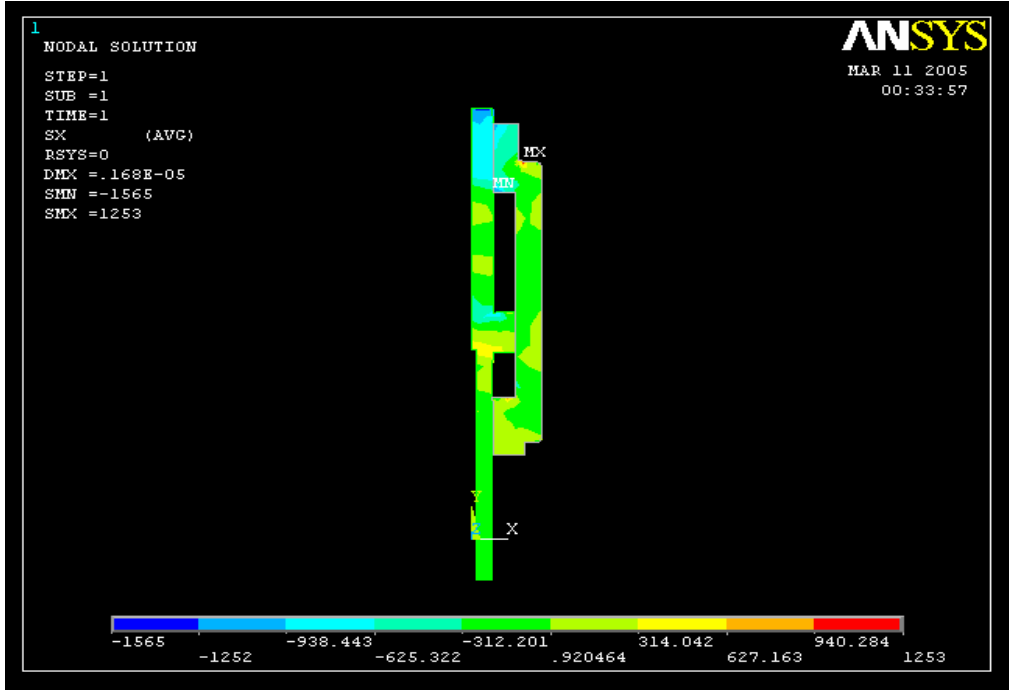
Şekil 6. Tabandan 5 mm Yukarıda İken ve 1400 kPa'lık Basınç Etkisi Altında X Yönündeki (Yatay) Yerdeğiştirmeler



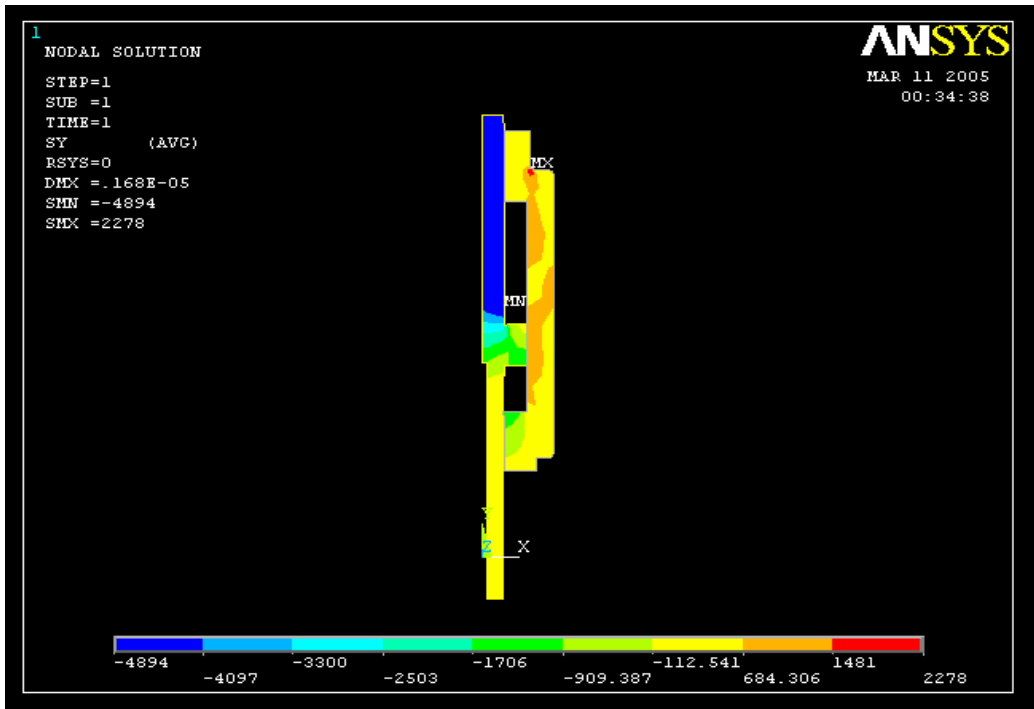
Şekil 7. Tabandan 5 mm Yukarıda İken ve 1400 kPa'lık Basınç Etkisi Altında Y Yönündeki (Düsey) Yerdeğiştirmeler

Şekil 8 ve 9 aynı şartlar altında gerilmeleri göstermektedir. Aynı şekilde iç basınçtan dolayı yatay yönde gerilmeler daha büyük çıkmaktadır. Ayrıca dıştaki

silindirin üst tarafında kırmızı ile gösterilen noktada daha yüksek gerilme oluşmaktadır. Pistonun üst tarafında da aynı şekilde gerilmeler yüksek olmaktadır.



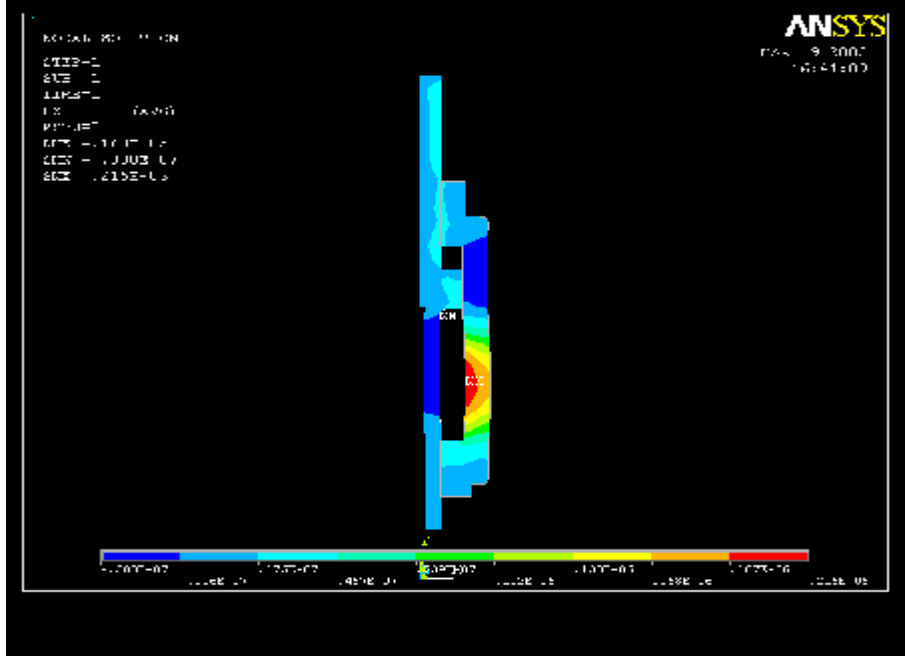
Şekil 8. Tabandan 5 mm Yukarıda İken ve 1400 kPa'lık Basınç Etkisi Altında X Yönündeki (Yatay) Gerilmeler



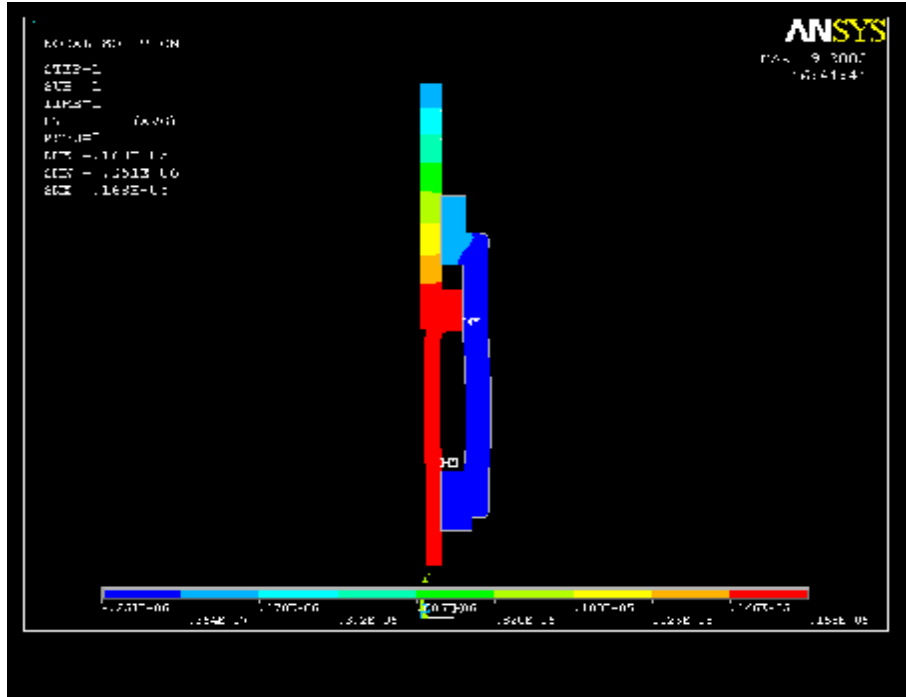
Şekil 9. Tabandan 5 mm Yukarıda İken ve 1400 kPa'lık Basınç Etkisi Altında Y Yönündeki (Düşey) Gerilmeler

Şekil 10 ve 11'de pistonun alt noktadan 35 mm yukarıda olduğu durumda yatay ve düşey yönde yerdeğiştirmeler gösterilmiştir. Yatay yönde dış silindirin iç yüzeyinde yer değiştirmeler yüksek değerdedir. Pistonda ise yer değiştirmeler basınca maruz yüzeyde

yüksektir. Ayrıca silindirin üst kısmında momentle ilgili olarak yer değiştirmeler vardır. Düşey yönde ise yüksek yer değiştirmeli bölgeler rahatlıkla görülmektedir. 5 mm'lik aralıktaki yer değiştirme değerlerine göre daha büyük farklar vardır.



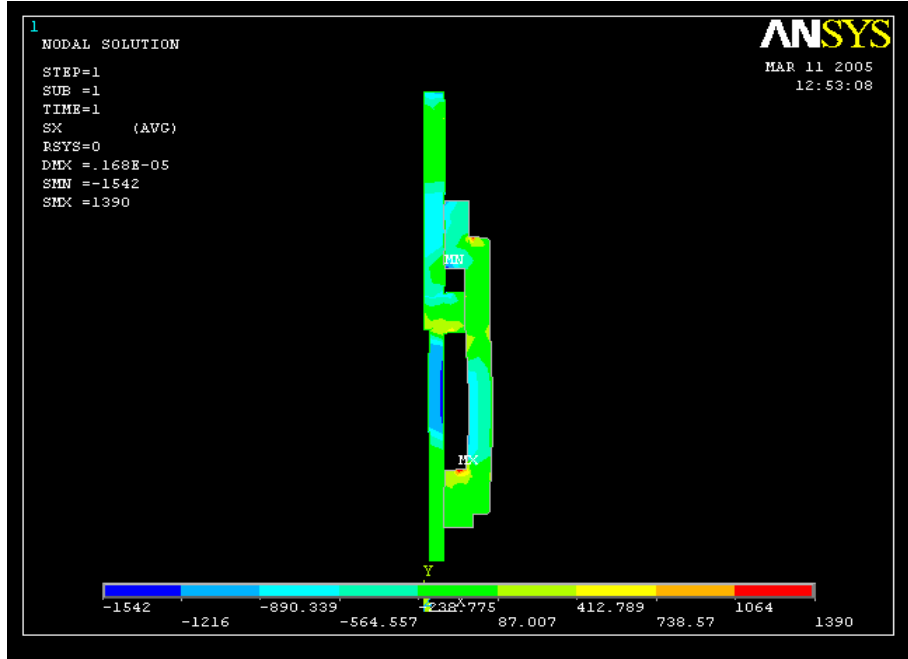
Şekil 10. Tabandan 35 mm Yukarıda İken ve 1400 kPa'lık Basınç Etkisi Altında X Yönündeki (Yatay) Yerdeğiştirmeler



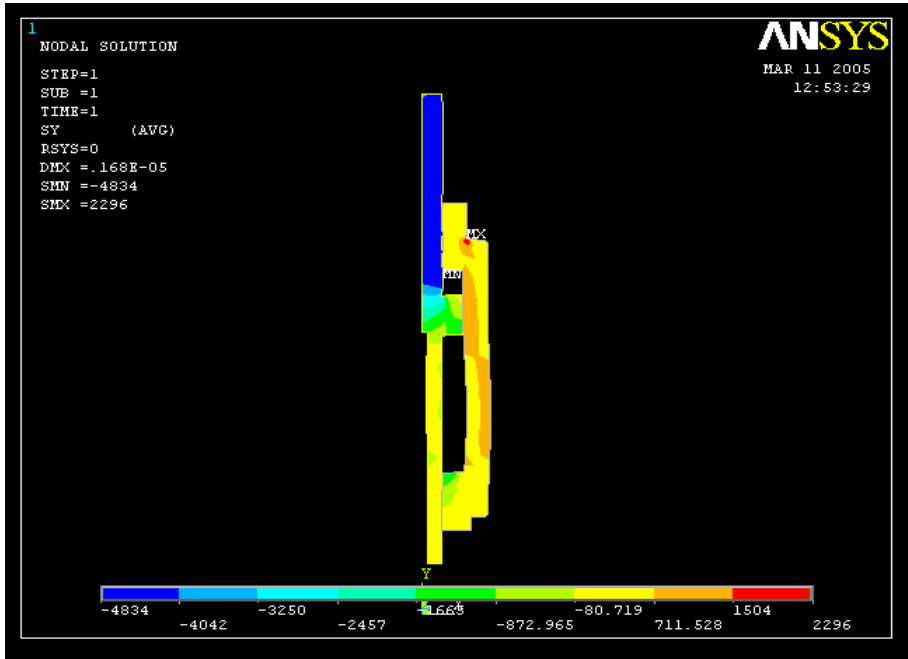
Şekil 11. Tabandan 35 mm Yukarıda İken ve 1400 Kpa'lık Basınç Etkisi Altında Y Yönündeki (Düşey) Yerdeğiştirmeler

Şekil 12 ve 13 aynı şartlar altında gerilmeleri göstermektedir. Aynı şekilde iç basınçtan dolayı yatay yönde gerilmeler daha büyük çıkmaktadır. Ayrıca dıştaki silindirin üst tarafında kırmızı ile gösterilen noktada daha yüksek

gerilme oluşmaktadır. Pistonun üst tarafında da aynı şekilde gerilmeler yüksek olmaktadır. Pistonun tabandan 35 mm yukarı kalkması yatay yöndeki gerilme değerlerini arttırmıştır ancak düşey yönde daha düzgün bir gerilme dağılımı vardır.



Şekil 12. Tabandan 35 mm Yukarıda İken ve 1400 Kpa'lık Basınç Etkisi Altında X Yönündeki (Yatay) Gerilmeler



Şekil 13. Tabandan 35 mm Yukarıda İken ve 1400 kPa'lık Basınç Etkisi Altında Y Yönündeki (Düşey) Gerilmeler

SONUÇLAR

Bu çalışmada kamyon, kamyonet ve traktör gibi ticari araçlara uygulanabilen manyetik sıvılı (manyeto reolojik: MR) yarı aktif bir süspansiyon sistemi üzerinde durulmuş ve mekanik davranışları araştırılmıştır. Sistem iç basınç ve iç basınca yol açan dış kuvvet altında statik olarak incelenmiştir. İç basınç 1400 kPa olarak alınmıştır. Pistonun alt noktasının 5 mm ve 35 mm yukarıda olduğu durumlar ele alınmıştır. Gerilme ve yer değiştirmeler yatay ve düşey yönlerde elde edilmiştir. Daha sonra deneysel sonuçlarla karşılaştırmalar yapılacaktır. Ayrıca akışkan eleman modellemesi ve dinamik analiz konuları eklenecektir.

KAYNAKÇA

1. **B.F. Spencer, S.J. Dyke, M.K. Sain and J.D. Carlson**, "Phenom Enological Model of a Magnetorheological Damper", J. of Engineering Mechanics-ASCE, cilt 123 No.3, 1996, s.230-238.
2. **J.D. Carlson and K.D. Weiss**, "A Growing Attraction To Magnetic Fluids", Machine Design, Ağu.1994, s.61-64.
3. **W.M. Winslow**, "Method and Means For Translating Electrical Impulses Into Mechanical Force", 1947, US Patent No: 2,417,850.
4. **J. Rabinow**, "The Magnetic Fluid Clutch", AIEE Transactions, Cilt 67, 1948, s. 1308-1315.
5. **S.B. Choi, H.S. Lee, S.R. Hong, and C.C. Cheong**, "Control and Response Characteristics of a Magnetorheological Fluid Damper For Passenger Vehicles", Smart Structures and Integrated Systems, Proc. of the SPIE Conference on Smart Materials and Structures, Ed. By Norman M. Wereley, Cilt 3985, 2000, s. 438-443.
6. **J.D. Carlson, D.M. Catanzarita, K.A. StClair**, "Commercial Magnetorheological Fluid Devices", Int. J. of Modern Physics B, Cilt 10, No. 23-24, 1996, s. 2857-2865.
7. **F. Gordaninejad and S.P. Kelso**, "Fail-safe Magnetorheological Fluid Dampers For Off-Highway, High-Payload Vehicles", J. of Intelligent Material System and Structures, Cilt 11, No. 5, 2001, s. 395-406.
8. **G.M. Kamath, N.M. Wereley, and M.R. Jolly**, "Characterization of Magnetorheological Helicopter Lag Dampers", J. of the American Helicopter Society, Cilt 44, No. 3, 1999, s. 234-248.
9. **S. Marathe, F. Gandhi, and K.W. Wang**, "Helicopter Blade Response And Aeromechanical Stability With a Magnetorheological Fluid Based Lag Damper", J. of Intelligent Material and Structures, Cilt 9, No. 4, 1998, s. 272-282.
10. **F. Gordaninejad, M. Saiidi, B.C. Hansen, and F.K. Chang**, "Magnetorheological Fluid Dampers For Control Of Bridges", Proc. of the 2nd World Conference on Structural Control, Ed. By Kobori et al., Wiley, 1998, s. 991-1000, Kyoto-Japonya.
11. **S. Nagarajaiah, S. Sahasrabudhe, and R. Iyer**, "Seismic Response of Sliding Isolated Bridges With MR Dampers", Proc. of the 2000 American Control Conference ACC (IEEE Cat. No: 00CH36334), 2000, s. 4437-4441.
12. **S.J. Dyke, B.F. Spencer, M.K. Sain, and J.D. Carlson**, "Modeling and Control Of Magnetorheological Dampers For Seismic Response Reduction", Smart Materials & Structures, Cilt 5, No. 5, 1996, s. 565-575.
13. **M.D. Symans and M.C. Constantinou**, "Experimental Testing and Analytical Modeling of Semi-Active Fluid Dampers For Seismic Protection," J. of Intelligent Material Systems and Structures, Cilt 8, No. 8, 1997, s. 644-657.
14. **T. Engin, C. Evrensel, and F. Gordaninejad**, "Numerical Simulation of Laminar Flow of Water-Based Magneto-Rheological Fluids in Microtubes with Wall Roughness Effect", International Communications in Heat and Mass Transfer (baskıda).
15. **T. Engin, Ü. Doğruer, C. Evrensel, S. Heavin and F. Gordaninejad**, "Effects of Surface Roughness on Flow Characteristics of Laminar Bingham Plastics Flow in Microtubes", ASME Journal of Fluids Engineering (baskıda).
16. <http://www.lord.com>
17. <http://www.ciml.unr.edu>
18. **S. Genc**, "Synthesis and Properties of Magnetorheological (MR) Fluids", Ph.D Thesis, University of Pittsburgh, Pittsburg, 2002.

Ek

