



Yarı Aktif Süspansiyon Sisteminin Analizi

Hüseyin Kahraman^{1*}

¹Makina Mühendisliği /Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

*huseyink@subu.edu.tr Başlıca yazarın mail adresi

Özet – Süspansiyon sistemleri sürüş sırasında aracın konforuna ve yol tutuşuna doğrudan etki eden sistemlerdir. Günümüzde yarı römorklarda pasif süspansiyon sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarımda taşımacılık ve nakliyat işlemlerinde sıklıkla kullanılan açık kasa treyler araçları baz alınarak halihazırda kullanılan süspansiyon sisteminin incelenmesi, Matlab/Simulink ortamında analizinin yapılabilmesi için hava yastığı ve amortisörün statik indirgeme işlemleri yapılması ve elde edilen indirgenmiş modelin step cevabı, engebeli araziye temsil eden yol sinyaline karşı göstermiş olduğu tepki incelenecek, elde edilen cevaplara göre sistemi istenilen sınırlar içinde kontrolünü sağlamak için yarı aktif süspansiyon sistemi kontrol tasarımları oluşturularak sistemin performans analizleri yapılacaktır. Tasarlanacak sistemde aracın sürüş seviyesi kontrolü elektronik olarak denetlenerek sürüş esnasında veya araca yük yüklenip boşaltma işlemlerinde sürüş seviyesinin sabit kalması sağlanarak aracın teknik yapısı gereği ve kara yolu taşımacılığı yönergelerine uygun olarak seviye denetimi yapılacaktır. Seviye denetimi konvansiyonel olarak kontrol edilen eski tip hava süspansiyonlu araçlarda aracın yol boyunca en ufak bir sarsıntı veya denetimin gerekmediği durumlarda bile aracın hava yastıklarına basınçlı hava gönderir veya tahliye eder. Sürekli olarak meydana gelen bu akışkan hareketi treylere bağlı olan çekici aracın kompresörünün sürekli çalışmasına ve doğrudan yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Tasarımı yapılacak sistemin istenen limitler çerçevesinde aracın seviyesini sabit tutarak yakıt tüketimini azaltması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler – Süspansiyon Sistemleri, Aktif/Pasif Süspansiyon Sistemleri, Matlab/Simulink, Titreşim, Sönümleme

1. GİRİŞ

Süspansiyon sistemi; statik tasarıma sahip taşıt gövdesini, dinamik tekerlekler ile esnek bir şekilde birbirine bağlar. Tekerleklerle gelen yüklerin karosere yumuşatılarak iletilmesi taşıt dengesi ve konforu açısından önemlidir [1]. Süspansiyon sistemi;

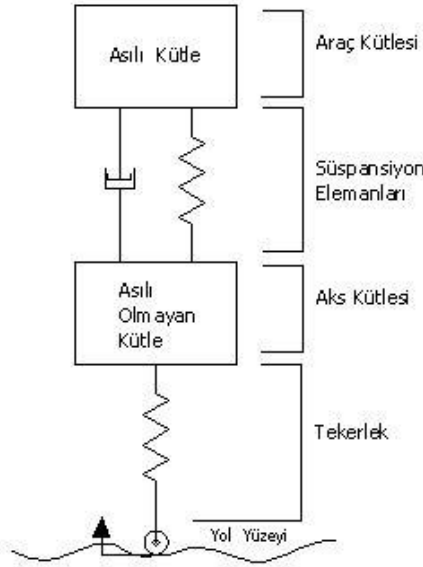
- Yol ve yük şartlarından oluşan yükleri sönümler,
- Frenlemede öne yük transferi ile oluşan dalma ve virajlarda oluşan savrulmayı da önler [2].

Yol darbelerinden gelen yükü yaylar üzerine alırlar. Amortisör; yaylanma frekansını düzenler. Klasik süspansiyon sistemleri pasif sistemlerdir ve sabit titreşim katsayıdır. Taşıt emniyeti açısından sert, konfor açısından yumuşak süspansiyon istenir.

Aktif süspansiyon sistemleri değişken yaylanma ve sönümleme işlevi görebilirler. Sistem, taşıtın tekerleklerine gelen titreşimlerin büyüklüğünü ve aks başlarındaki farklı yük transferlerini hissedip, taşıtın dengesini bozmadan bu titreşimleri veya yük transferini sönümler. Bu işlem amortisör içindeki basınç değiştirilerek yapılır. Bilgisayar tarafından denetlenen bu sistem birkaç mili saniye içerisinde mevcut sürüş durumunun özelliklerine uyarlanabilmektedir. Bütün tekerleklerin amortisörlerinin farklı seviyelerle ayarlanabildiği sistemde sensörler tekerleklerin ve aracın hızı direksiyon açısı ve yük durumuna ilişkin bilgileri sağlamakla görevlidirler. Konfor veya sert sürüş arasında seçim yapan elektronik işlemcinin

gönderdiği kontrol sinyalleri ile hidrolik sistemdeki selenoid supaplar amortisörleri en iyi duruma getirmekte ayrıca seviye kontrolü de yapmaktadır [3-7].

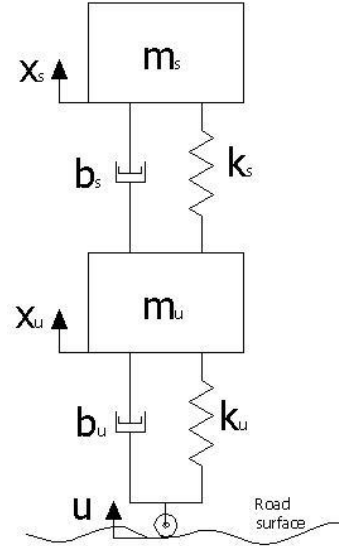
Pasif süspansiyon sistemleri araçlarda en yaygın kullanılan süspansiyon sistemidir. Bu sistemler istenen ölçütlerde yol tutuş özellikleri ve konfor için araç değişkenleri ve yol şartları göz önüne alınarak seçilen süspansiyon elemanlarından oluşturulmaktadır. Pasif sistemlerde kullanılacak elemanların karakteristiklerini belirlemek için birçok çalışmalar yapılmıştır. Araştırmaların çoğunda çeyrek araç modeli olarak adlandırılan bir model kullanılmıştır. Bu sistem araç gövde kütesini temsil eden bir asılı kütle, aks ağırlığını temsil eden bir asılı olmayan kütle, tekerleği temsil eden bir yay ve süspansiyon özelliklerini sağlayan bir damper yay ikilisinden oluşturulmuştur. Çeyrek araç modeli Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çeyrek Araç Modeli

II. MATERYAL VE YÖNTEM

İki serbestlik dereceli çeyrek araç modeli tekerlek dinamiğini de içeren bir süspansiyon modelidir. Sistem araç ağırlığını temsil eden bir kütle (asılı kütle), aks ağırlığını temsil eden bir kütle (asılı olmayan kütle), süspansiyon ve tekerlekleri temsil eden ayrı iki adet yay-sönümleyici ikilisinden oluşmuştur. Şekil 2 sistemi göstermektedir.



Şekil 2. İki Serbestlik Dereceli Çeyrek Araç Modeli

Sistemin dinamik denklemleri aşağıdaki gibi oluşturulabilir;

$$m_s \ddot{x}_s = -k_s(x_s - x_u) - b_s(\dot{x}_s - \dot{x}_u) \quad (1)$$

$$m_s \ddot{x}_s + b_s \dot{x}_s + k_s x_s = b_s \dot{x}_u + k_s x_u \quad (2)$$

$$m_u \ddot{x}_u - k_s(x_s - x_u) - b_s(\dot{x}_s - \dot{x}_u) = -k_u(x_u - u) - b_u(\dot{x}_u - \dot{u}) \quad (3)$$

$$m_u \ddot{x}_u + (b_s + b_u) \dot{x}_u + (k_u + k_s) x_u = k_u u + b_u \dot{u} + b_s \dot{x}_s + k_s x_s \quad (4)$$

(2) ve (3) denklemlerinin başlangıç koşulları sıfır olarak alınıp Laplace dönüşümü yapılırsa (5) ve (6) denklemleri elde edilir [8].

$$X_s(s)(m_s s^2 + b_s s + k_s) = X_u(s)(b_s s + k_s) \quad (5)$$

$$X_u(s)(m_u s^2 + (b_s + b_u)s + (k_s + k_u)) = X_s(s)(b_s s + k_s) + U(s)(b_u s + k_u) \quad (6)$$

(5) ve (6) denklemleri kullanılarak sistemin giriş yol düzgünlüğü u ve çıkışı asılı kütle konumu olacak şekilde transfer fonksiyonu (7) deki gibi oluşturulabilir [9].

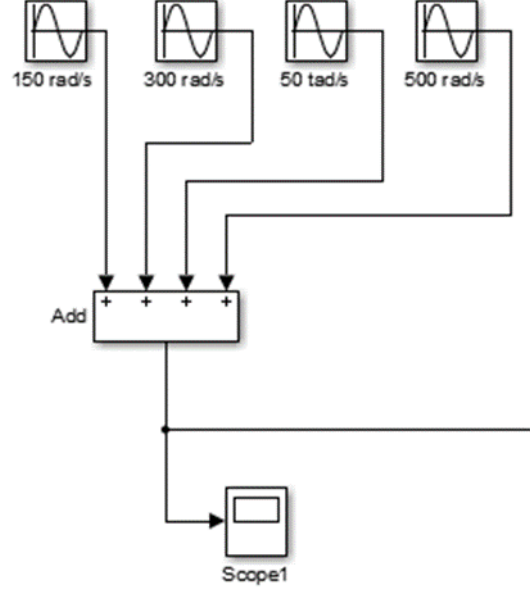
$$\frac{X_s(s)}{U(s)}$$

$$= \frac{b_s b_u s^2 + b_s k_u s + b_u k_u s + k_s k_u}{m_u m_s s^4 + (m_u b_s + m_s b_u + m_s b_s) s^3 + (m_u k_s + m_s k_u + m_s k_s + b_s b_u) s^2 + (k_s b_u + b_s k_u) s + k_u k_s} \quad (7)$$

MATLAB®, temel olarak nümerik hesaplama, grafiksel veri gösterimi ve programlamayı içeren teknik ve bilimsel hesaplamalar için yazılmış yüksek performansa sahip bir yazılımdır. Matlab programının tipik kullanım alanları: Matematik ve Hesaplama İşlemleri / Algoritma Geliştirme / Modelleme, Simülasyon (benzetim) ve Ön Tipleme / Veri Analizi ve Görsel Efektlerle Destekli Gösterim / Bilimsel ve Mühendislik Grafikleri / Uygulama Geliştirme şeklinde özetlenebilir.

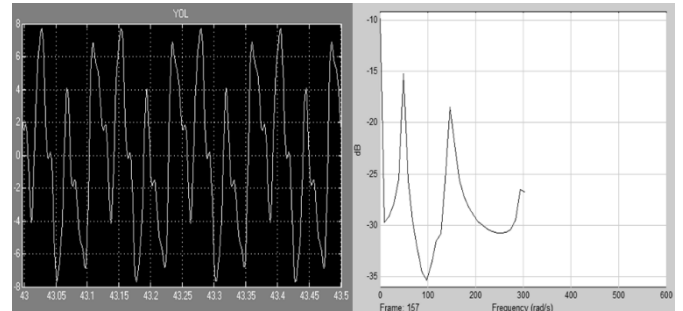
MATLAB adı, MATrix LABoratory (Matrix Laboratuvarı) kelimelerinden gelir. MATLAB, ilk olarak Fortran Linpack ve Eispack projeleriyle geliştirilen ve bu programlara daha etkin ve kolay erişim sağlamak amacıyla 1970'lerin sonlarında yazılmıştır. İlk başlarda bilim adamlarına problemlerin çözümüne matris temelli teknikleri kullanarak yardımcı olmaktadır. Bugün ise geliştirilen yerleşik kütüphanesi ve uygulama ve programlama özellikleri ile gerek üniversite ortamlarında (başta matematik ve mühendislik olmak üzere tüm bilim dallarında) gerekse sanayi çevresinde yüksek verimli araştırma, geliştirme ve analiz aracı olarak yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Ayrıca işaret işleme, kontrol, fuzzy, sinir ağları, wavelet analiz gibi birçok alanda ortaya koyduğu Toolbox adı verilen yardımcı alt programlarla da özelleştirilmiş ve kolaylaştırılmış imkanlar sağlamış ve sağlamaya da devam etmektedir [10].

Sistem girişine yol durumunu simule etmek için farklı frekans ve genlikte sinüs sinyalinin toplamı uygulanacak şekilde sistem modellenir. Sisteme Şekil 3.'te de görüldüğü gibi 4 farklı sinüs değeri verilerek sistemin girişi oluşturulmuştur.



Şekil 3. Sistemin Giriş Sinyalleri

Verilen giriş sinyallerinin sistemden okunan değerleri frekans cevabına dönüştürüldüğünde Şekil 4'te olduğu gibi değerler elde edilmektedir.



Şekil 4. Giriş Sinyali Zaman ve Frekans Cevabı

Sistemin modellenmesinde kontrolsüz, kısmi rölatif kontrolle ve sürekli anahtarlamalı rölatif kontrolle gerçekleştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Bu modeller Matlab/Simulink ile modellendiğinde 3 alt başlık oluşur;

- Sistemin kontrolsüz modellenmesi
- Sistemin kısmi rölatif kontrolle modellenmesi
- Sistemin sürekli anahtarlamalı rölatif kontrolle modellenmesi

Treylerin sahip olduğu süspansiyon sisteminin yay ve sönüm katsayılarının elde edilmesi için

yapılan lineerleştirme işlemi ve sistem dingil merkezine indirgindikten sonra elde edilen yeni sönüm ve yay katsayıları için Matlab/Simulink programında uygun toollar kullanılarak aracın çeyrek araç modeli için ölçülen lastik ve asılı kütlelerini temsil eden uygun kütle girişleri(mass) de eklenerek sistemin asılı kütlesi için çıkış cevabı zaman ve frekans domeninde elde edilmiştir.

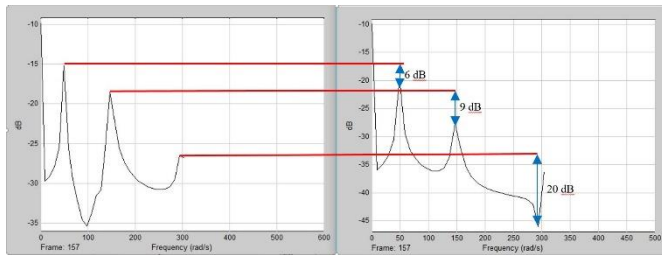
Matematiksel modeli çıkartılan sistemin rölatif kontrol stratejisinde de anlatıldığı gibi sönümleyici (amortisör) elemanın lastik ve asılı kütlelerin rölatif yer değiştirme ve hızlarının oluşturduğu değere göre amortisörün sahip olduğu maksimum ve minimum iki değer arasında anahtarlama kontrol teorisi (on-off controll) kullanılarak asılı kütlelerin salınımlarını minimize etmektedir. Bunun için sistemde amortisör kontrolü için uygun toollar kullanılarak sistem modellenmiştir. Modelde asılı kütlelerin yer değiştirmesinin cevabı frekans domeninde elde edilmiştir.

Matematiksel model kullanılıp tasarlanan sistem kısmi rölatif kontrol stratejisinden farklı olarak maksimum ve minimum amortisör sönüm katsayısı için bu iki değer arasında sistemi uygun sönüm değeri için sürekli olarak anahtarlayıp asılı kütlelerin salınımlarını minimum olmasını sağlamaktadır.

Bu stratejide eğer hesaplanan değer amortisörün sahip olduğu fiziksel sönüm değerinden büyükse sistem girişine maksimum sönüm değeri, eğer minimum değerinden küçük bir değer hesaplanırsa sisteme minimum sönüm değerini vermektedir. Bu iki değer arasında istenen bütün sönüm değeri hesaplanıp amortisör sönümü değiştirilerek asılı kütlelerin salınımlarını minimize edilmeye çalışılmıştır.

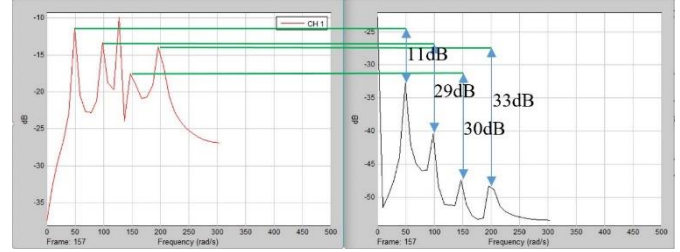
III. BULGULAR

Sistem girişi için oluşan çıkış cevabında asılı kütlelerin değişen frekanslara nasıl bir sönüm karakteristiğine sahip olduğu incelendi. Asılı kütlelerin giriş ile arasındaki sönüm farkı dB cinsinden gösterilmiştir.



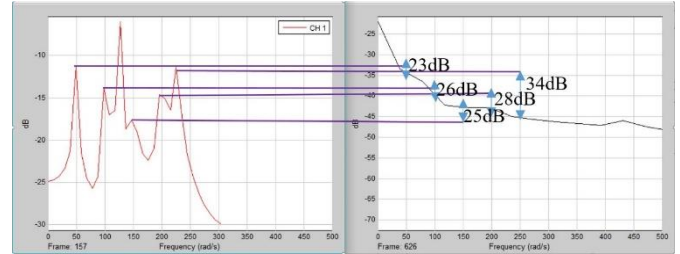
Şekil 5. Sistemin Kontrolsüz Modellenmesine Ait Sonuçlar

Kontrolsüz modellenen sistemde Şekil 5'te görüldüğü üzere 50rad/s'de 6dB, 150rad/s'de 9dB, 300 rad/s'de 20dB lik bir sönümleme elde edilmiştir. Bu sönümleme değerlerini diğer modellerle karşılaştırıldığında aradaki farkın ne kadar olduğu gözlenmek istenmektedir.



Şekil 6. Sistemin Kısmi Rölatif Kontrolle Modellenmesine Ait Sonuçlar

Kısmi olarak kontrollenen bir sistemde ise sönümleme oranlarında gerçekleşen artış Şekil 6'daki gibi 50rad/s'de 11dB, 100rad/s'de 29dB, 150rad/s'de 30dB ve 200rad/s'de 33dB lik bir sönümleme oranlarına tekabül eder. Kısmi olarak kontrol edilen bir sistem kontrolsüz bir sisteme göre daha stabil ve daha iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 7. Sistemin Sürekli Anahtarlama Rölatif Kontrolle Modellenmesine Ait Sonuçlar

Sürekli anahtarlama bir sistemde ise Şekil 7.'deki sonuçlar elde edilir. Daha stabil daha yüksek kararlılıkta bir sistem oluşmaktadır. Sistemlerde kontrol stratejisi geliştirildikçe sistemin yüksek frekanslarda (yani aracın yüksek hızlarda) sönüm miktarının geliştiği gözlemlenmiştir.

IV. TARTIŞMA

Bu Süspansiyon sistemi binek araç, treyler gibi bütün karayolları araçları için konfor ve güvenlik açısından büyük öneme sahiptir. Sürekli olarak gelişen kontrol stratejileri ve süspansiyon elemanları ile her geçen gün optimizasyonu sağlanmaktadır.

Çalışmada treyler için elde edilen çeyrek araç modeli dikkate alındığında aracın süspansiyon sistemini sertliği ve bu sistemin şase ile bağlantısını sağlayan makas kulağının rijit yapısı sisteme yoldan gelen tepkileri taşıdığı yüke çok iyi bir sönüm değerine sahip olmadığı için direkt olarak iletmektedir. Bu durum özellikle hassas yük taşımacılığında (cam, elektronik cihazlar vb.) istenmeyen bir durumdur.

Sistemin asılı kütle salınıminin optimizasyonunu sağlamak için anahtarlama kontrol stratejisi kullanıldı. Bu kontrol sistemi ile asılı kütle yüksek frekanslarda (yüksek hızlarda) yoldan gelen tepkileri absorbe ederek salınımı azalttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki kontrol sistemi geliştirilerek aracın virajlardaki dingillerde oluşan kütle dengesizliği azaltılıp lastik aşınması azaltılarak dolaylı olarak yakıt tasarrufu elde edilir ve aracın devrilmesi önlenip trafik güvenliği sağlanabilir.

V. SONUÇLAR

Treylerler göz önüne alındığında aracın süspansiyon sisteminin sertliği ve şase ile sistemin bağlantısını sağlayan kulakların yapısı sisteme yoldan gelen titreşimleri taşıdığı yüke iyi bir sönüm değerine sahip olmadığı için direkt olarak iletmektedir. Özellikle hassas yük taşımacılığında istemediğimiz bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan çalışma sönüm değerini iyileştirme yönünde büyük gelişme sağlamıştır. Ancak tasarımda daha farklı çalışmalar ile ekleme çıkarmalar yapılarak sistem üzerinde oynamalar yapılabilir. Maliyet artacağından ötürü aktif süspansiyon kullanmak yerine yarı aktif ile aktif süspansiyon arası farklı çalışmalar üzerine yoğunlaşılabilir.

Tabi ki sistemdeki bu tasarım değişiklikleri birçok açıdan maliyete etki edecektir. Bu yüzden yapılacak olan değişimlerin ya da ekleme çıkarmaların maliyet analizi çok iyi bir şekilde yapılması gereklidir.

KAYNAKLAR

[1] Chantranuwathana, S., Peng ve H., «Practical Adaptive Robust Controllers for Active Suspensions Proceedings,» %1 içinde 2000 ASME International Congress and Exposition (IMECE), Orlando, Florida., 2000.

[2] T. Nguyen , Nguyen V. G ve Kim S. B, *Control of Active Suspension*, 2000.

[3] Elmadany, M. M. ve Abduljabbar Z. S, *Linear Quadratic Gaussian Control of a Quarter-Car Suspension*, 1999.

[4] Thompson, A.G. ve Pearce ve C. E. M, *Vehicle System Dynamics*, cilt No. 1, 2001, pp. 55-66.

[5] M. ULUKAPI, «AKTİF VE YARI AKTİF SÜSPANSİYON,» İSTANBUL, 2005.

[6] R. E. Mansvelders ve P. Nijmaier , «The Dynamic Behaviour and Stability Control of a Truck/full-trailer combination,» Eindhoven, 2006.

[7] W. D. Robinson, «A pneumatic semi-active control methodology for vibration control of air spring based suspension systems,» Ames , 2012.

[8] H. EREN, «ABS Kontrol Algoritmasında Tahrik Kuvveti Uygulamsı,» İstanbul, 1999.

[9] N. S. Kurulay, M. Günal, M. U. Karaoğlan, A. Yenice ve C. Olguner , «Yönlendirilebilir İlave Dingil,» %1 içinde 7.Otomotiv Teknolojileri Kongresi, BURSA, 2014.

[10] E. Guglielmino , T. Sireteanu, C. W. Stammers, G. Ghita ve M. Giuclea, *Semi-active Suspension Control*, LONDON: Springer .