

Control of Semiactive Suspension System for Quarter Car Model

M. Göksel

Sakarya University Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering, Esentepe Campus, 54187, Sakarya, Turkey

Abstract: The purpose of this paper is to compare the performance of the semiactive suspension system using two different control strategies. The first strategy utilized the fuzzy control (mamdani, sugeno) and the second one using the linear quadratic regulator method. A quarter car model is used in the study and the performance of the controller is compared to the fuzzy control and with linear quadratic regulator and existing passive suspension system. A simulation study is performed to prove the effectiveness and robustness of the control approach.

Keywords: Semiactive suspension, fuzzy control, LQR, quarter car model

Çeyrek Araba Modeli İçin Yarı Aktif Süspansiyon Sisteminin Kontrolü

Özet: Bu çalışmanın amacı yarı aktif süspansiyon sisteminin performansının iki farklı kontrol metodu kullanarak karşılaştırmak. Kullanılacak olan kontrolstratijilerinden biri bulanık mantık denetleyicileri (Mamdani ve Sugeno farklı farklı incelenecek.) diğeri ise optimal lineer regülatör metodudur. Kontrolörlerin performanslarının karşılaştırılmasında çeyrek araba modeli kullanıldı. Bulanık mantık denetleyicilerden elde edilen sonuçlar optimal lineer regülatör metodu ile elde edilen sonuçlar ile ve pasif süspansiyon sistemi ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon uygulamalarıyla hangi kontrol yaklaşımının bu sistem için uygun olduğu tartışılmış ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yarı aktif süspansiyon, bulanık kontrol, LQR, çeyrek araba modeli

1 Giriş

Yol üzerinde seyir halinde bulunan taşıtlar, yol bozukluklarından oluşan uyarılarla titreşim yaparlar. Bunun yanında hareketli olan parçaların oluşturduğu dengesizlikler, tekerlek çevresinin düzgünlüğü titreşimlerin oluşmasına sebep olur. Yolun ve diğer etkenlerin oluşturduğu uyarılar tekerlek üzerinden aksa, yay ve sönüm elemanları vasıtasıyla da araç gövdesine iletilir. Bu etkiler sürücünün sürüş kalitesini olumsuz etkilemekte ve aracın sürüş güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. Süspansiyon sistemi titreşimlerin oluşturduğu gövde gerilmelerini, ivmeleri, tekerlek yükü salınımlarını ve sürücü rahatsızlığını minimize etmelidir[1].

Yapılan çalışmalarda aracın çeyrek veya yarım modeli dikkate alınarak yarı aktif süspansiyon sistemi uygulanmış, sınırlı relatif kontrol, sky-hook kontrol ground kontrol metotları birbiri ile karşılaştırılmış[2]. Yarı aktif süspansiyon sistemi uygulanmış yarım araba modelinde optimal kontrol teknikleri denenmiş ve karşılaştırılmaları yapılmıştır[3]. MR(Magneto-rheological) damperlerin yarı aktif süspansiyon sistemlerinde kullanımı[4] ve hidrolik, pnömatik elektrikselsel yarı aktif süspansiyon sistemlerinin kullanımı ve matematiksel modellenmesi ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir[5]. Yarı aktif süspansiyon sistemlerinin lineer bir özellik göstermemesinden ötürü sistemin kontrolünün optimal[6,7] veya bulanık mantık[8,9,10,11] yardımı ile gerçekleştirildiği uygulamalar bulunmaktadır. Modern kontrol tekniklerinden olan adaptif bulanık kontrol[12], robust kontrol[13] teknikleriyle de kontrol gerçekleştirilmiştir.

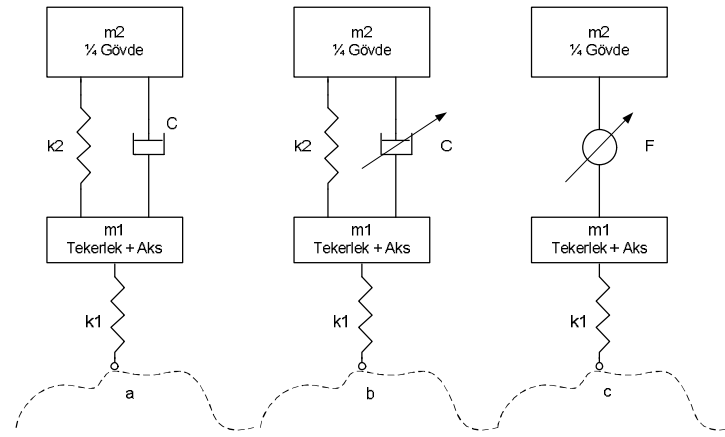
* Corresponding author; Tel.: +(90) 264 2955829, E-mail:mgoksel@sakarya.edu.tr

Sistemin matematiksel modeli çıkartıldığında sistemin derecenin yüksek ve sistemin davranışının nonlineer olduğu belirlenmiştir. Nonlineer sistemin kontrolü geleneksel algoritmalarla zordur. Bunun için bulanık mantık kullanılarak bir kontrollör tasarlanmıştır.

2 Süspansiyon Sistemleri

Taşıtlarda gövde ağırlığını tekerleklere aktarmak için yaylar kullanılır. Yaylar yoldaki oluşacak değişimi tekerlekler üzerinden alarak gövdeye iletirler. Ancak bu aktarım ani yol değişimlerinde yayın salınım yapmasına sebep olur. Yay ile beraber gövdede bu salınımdan etkilenir. Yayın bu salınımını söndürmek veya en aza indirmek için amortisörler(sönümleyiciler) yaylarla birlikte kullanılır. Sönümleyici olarak genelde hidrolik damperler, pnomatikdamperler veya bu iki tür damperin beraber kullanıldığı hibrit sistemler vardır[14].

Süspansiyon sistemleri aktif , yarı aktif ve pasif olarak oluşturulurlar. Çeyrek araba modeli için Şekil-1'de pasif , yarı aktif ve aktif sistemlerin gösterimleri verilmiştir.



Şekil-1 Çeyrek araba modeli için a) Pasif süspansiyon sistemi, b) Yarı aktif süspansiyon sistemi, c) Aktif süspansiyon sistemi

Aktif süspansiyon sisteminde yay veya / ve damperin sönümleme kat sayıları değiştirilebilir. Yarı aktif süspansiyon sisteminde ise sadece damperin sönümleme katsayısı değişkendir. Pasif süspansiyon sisteminde yay ve damperin sönümleme katsayıları sabittir.

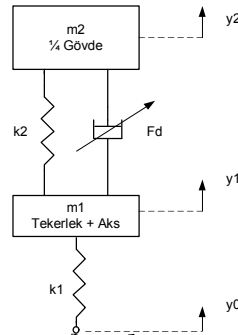
Yarı-aktif süspansiyon sistemleri, pasif süspansiyon sistemlerinin basitliği ile tam aktif süspansiyon sistemlerine yakın performansı ile son 15 yıldır hem bilimsel alanda hem de uygulama alanında oldukça büyük ilgi görmektedir. Yarı-aktif kontrolde temel eleman özellikleri ayarlanabilir yay ve/veya damper kullanılmaktadır. Pratikte ekseriya yaya göre ayarlanması kolay olması sebebi ile, damperin sönüm değerinin değiştirilmesi sureti ile yarıaktif kontrol gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler ilk olarak valf kontrollü ayarlı damperler ile uygulamada görülmektedir. Daha sonradan zeki sıvının bir türü olan, ER sıvılarından (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. Kirlere 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 mıkmatıslanma özellikli katı taneciklerden oluşurlar. Bu tür akışkanlar dışarıdan manyetik alan uygulanmadığında normal sıvı karakteri 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 çökeltme 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 [15].

3 Çeyrek Araba ve MR Sıvılı Damperin Matematiksel Modeli

3.1. Çeyrek Taşıt Modeli

Kontrol algoritmalarının koşturulacağı, arabanın 4'te birini ifade eden eşdeğer çeyrek modelidir Şekil-2.



Şekil-2 Çeyrek araba modeli

Çeyrek araba modelinde tekerlek başına düşen gövde kütlesi m2 olarak tanımlanmıştır. k1 tekerleğin yaylanma katsayısı, k2 süspansiyon yayının yaylanma katsayısı, m1 tekerlek ve aksın kütlesi, Fd MR damperin oluşturacağı kuvveti ifade etmektedir. y2 gövdenin yer değiştirme miktarı, y1 tekerleğin ve aksın yer değiştirme miktarı, y0 ise yolun sebep olduğu yer değişimi miktarı.

Şekil-2'de verilen fiziksel modelin matematiksel ifadesini bulmak için modele Newton'un 2. yasasından yararlanılır. m2 kütlesine etkiyen kuvvetler onun ivmelenmesine sebep olur.

$$\sum F_{m_2} = m_2 y_2^{**} \quad (1)$$

$$m_2 y_2^{**} = F_d + k_2 (y_2 - y_1) \quad (2)$$

$$\sum F_{m_1} = m_1 y_1^{**} \quad (3)$$

$$m_1 y_1^{**} = -F_d - k_2 (y_2 - y_1) + k_1 (y_1 - y_0) \quad (4)$$

Sistemin modellenmesinde kullanılacak olan denklemler bunlardır. Fd'nin yerine eşitliğini yazabilmek için damperin matematiksel modeli incelenmelidir.

3.2. MR Sıvılı Damperin Matematiksel Modeli

Yarı-aktif damperin oluşturduğu kuvvetin sürekli olarak pasif ve aktif bileşenleri vardır. Pasif bileşen sadece damperin uçları arasındaki hıza bağlı olan ve sıvının kontrol olmaksızın gösterdiği kuvvettir.

$$F_{pasif} = c_v abs(y^*_2 - y^*_1)^b sign(y^*_2 - y^*_1) \quad (5)$$

5 nolu denklemde C_v damperin pasif kısmının sönümlenme oranı olmaktadır. Aktif kısım ise dampere uygulanacak olan akım miktarına ve damperin iki ucu arasındaki hız değişimine bağlı olarak oluşur. MR sıvılı damperlerde histerisis ve doyma etkisi sebebiyle akımla doğru orantılı olarak kuvvet elde edilemez. Bu sebepten dolayı ki sistemimiz nolineer bir sistem özelliği gösterir. Bu etkilerin tam olarak modelde de gözlemlenebilmesi için Bingham model kullanılır[6].

$$F_{aktif} = \alpha I^\beta sign(y^*_2 - y^*_1) \quad (6)$$

MR sıvılı damperin oluşturduğu kuvvet 7'nolu ifade ile verilir.

$$F_d = c_v abs(y^*_2 - y^*_1)^b sign(y^*_2 - y^*_1) + \alpha I^\beta sign(y^*_2 - y^*_1) \quad (7)$$

Sönümlenme kuvveti genellikle 0 ile 3A aralıkta akım değerleri ile kontrol edilir.7 nolu ifade 2 ve 4 nolu ifadelerde yerine konursa ve tablo-1'de verilen sabit değerleri kullanılarak çeyrek araba modeli elde edilir.

Tablo-1 Modelde kullanılan sabit değerler

k_1	250000 N/m	β	0.75
k_2	25000 N/m	α	1000
m_1	65 kg	c_v	3850 Ns/m
m_2	455 kg		

4 Yarı Aktif Süspansiyonun Kontrolü

4.1. Klasik Kontrol Yöntemleri

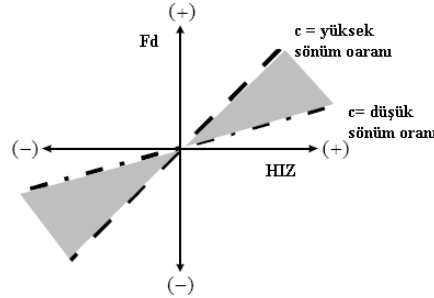
4.1.1. Sky-Hook Kontrol

Sky-hook kontrolde damperin sönüm oranı 2 değer arasında tutulmaya çalışılır. Bu değerler yüksek sönüm oranı (sert)ve düşük sönüm oranıdır(yumuşak). Gövdenin sürekli olarak sabit kalması isteğine göre tanımlanır. gövdenin sabit tutulması esasdır.İyi bir titreşim izolasyonu sağlamak için taşıt gövdesine gelen süspansiyon kuvvetini minimize etmek gerekir.Şekil-3Te çalışma aralığı gösterilmiştir. Burada ki HIZ ifadesi damperin 2 ucu arasındaki hız farkını ifade eder. Bazen taşıt gövdesindeki F_d sönüm kuvveti ve yay kuvveti F_k bazı durumlarda farklı yönlerde olabilir. Eğer bu iki kuvvetin yönü aynı iken sönüm kuvveti düşük seçilirse gövdeye etkiliyecek olan kuvvette bir azalma vardır. Yönleri farklı ise sönüm kuvveti yüksek seçilerek yay kuvvetiyle eşleştirilerek toplam gövdeye etki eden kuvvet azaltılmış olunur. Şayet gövdenin düşey hızıyla, damperin iki ucu arasındaki hızların (gövde ve tekerleğin) farkının çapımları sıfır veya pozitif ise yay kuvveti ile damperin kuvveti zıt yönlüdür. O halde sönüm oranı yüksek olmalıdır. Çarpım negatif ise aynı yöndedirler ve sönüm oranı küçük olmalıdır.

$$m_2 y_2^{**} = F_d + F_k = \min \quad (8)$$

$$y_2^* * (y_2^* - y_1^*) \geq 0 \quad c = \text{Yüksek değer} \quad (9)$$

$$y_2^* * (y_2^* - y_1^*) \leq 0 \quad c = \text{Düşük değer} \quad (10)$$



Şekil-3 Sky-hook kontrol için çalışma aralığı

4.1.2. Ground-Hook Kontrol

Sky-hook kontrolün tam ters mantıktan yaklaşımıdır. Sky-hook kontrolde gövdeye uygulanan kuvvetlerin minimum yapılması amaçlanırken, burada tekerlek ve aks kısmına uygulanan kuvvetlerin toplamının en aza indirilmesi amaçlanır. Şayet gövde ve tekerlek aksamının hızları arasındaki fark ile gövde hızının çarpımı sıfır veya pozitif ise damperin sönüm oranı düşük , çarpımları negatif ise büyük sönüm oranı seçilmelidir.

$$y_2^* * (y_2^* - y_1^*) \geq 0 \quad c = \text{Düşük değer} \quad (11)$$

$$y_2^* * (y_2^* - y_1^*) \leq 0 \quad c = \text{Yüksek değer} \quad (12)$$

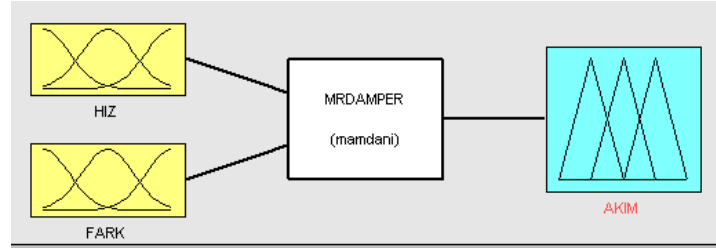
Şekillere metin içinde atıf yapılmalı. Şekiller ve Şekil başlık ve açıklamaları aşağıdaki gibi ortalanmalı. Şekil başlık ve açıklamaları şeklin altında olacak şekilde düzenlenmelidir.

4.2. Modern Kontrol Yöntemleri

4.2.1. Bulanık Mantık Kontrolü(Mamdani)

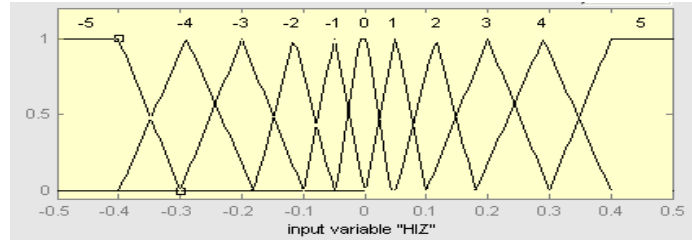
Yarı-aktif süspansiyon sisteminin bulanık mantık kontrolü bir önceki kısımda anlatılan temel kontrol stratejilerinin sürekli zamandaki uygulamasıdır. Temel kontrol uygulamalarında sönüm oranının belirlenme kriterleri gövde yer değişim hızı (y_2^*) ve gövde ile tekerlek yer değişim hızları arasındaki fark ($y_2^* - y_1^*$) idi. Bulanık mantık uygulamalarında da bu iki değişim bizim girdilerimiz olacaktır. Kontrolcünün çıkışı ise MR damperine uygulayacağımız akım miktarı olacaktır.

Kontrolcü girdileri belirtildiği gibi gövdenin yer değişim hızı ve bu hızın tekerlek yer değişim hızı ile olan farkıdır. çıkış ifadesi olarakta MR damperin sönümleme katsayısını etkileyecek olan akım çıkışı alınmıştır. Şekil-4'teki HIZ ifadesi gövdenin yer değişimi hızını FARK ifadeside gövde ve tekerleğin yerdeğişim hızları arasındaki farkı ifade eder.

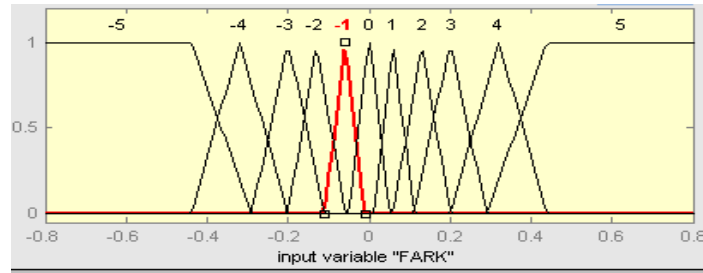


Şekil-4 Mamdani tipi bulanık mantık kontrolcüsünün ara yüzü

Şekil-5'te gövde yerdeğişim hızının üyelik fonksiyonu gösterilmektedir. Yatay eksenin birimi m/sn'dir.

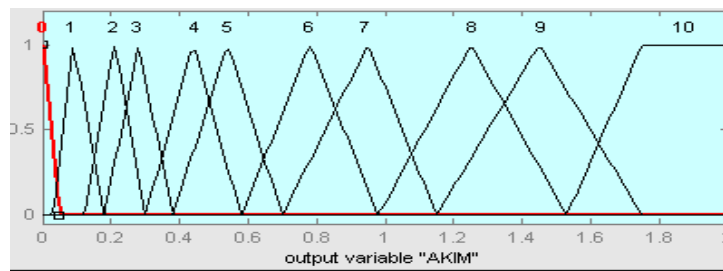


Şekil-5 HIZ girişinin bulanıklaştırılması ve üyelik fonksiyonları



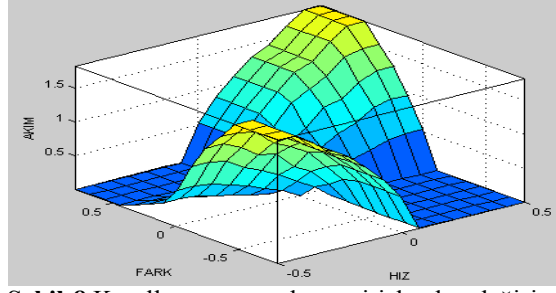
Şekil-6 FARK girişinin bulanıklaştırılması ve üyelik fonksiyonları

Şekil-6'da fark girişine ait üyelik fonksiyonları belirtilmiştir. Çıkış olarak akım 0 ile 2A arasında sınırlandırılmıştır.

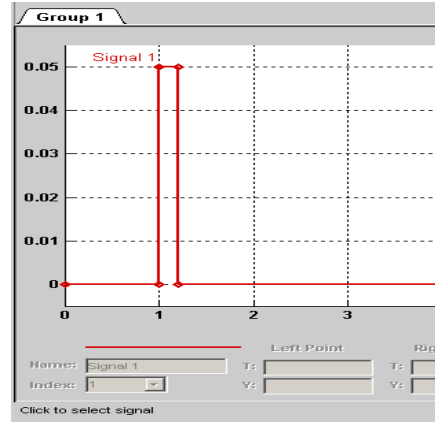


Şekil-7 Akım çıkışının üyelik fonksiyonları

Bulanıklaştırma işleminden sonra kuralların oluşturulması yarı aktif sönümleyicinin temel kontrol teorileri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Hız ve fark girişleri 11 tane üyelik fonksiyonu içerdiğinden toplam 121 tane kural meydana gelmiştir. Çıkışın girişlere göre değişimi Şekil-7 de verilmiştir.

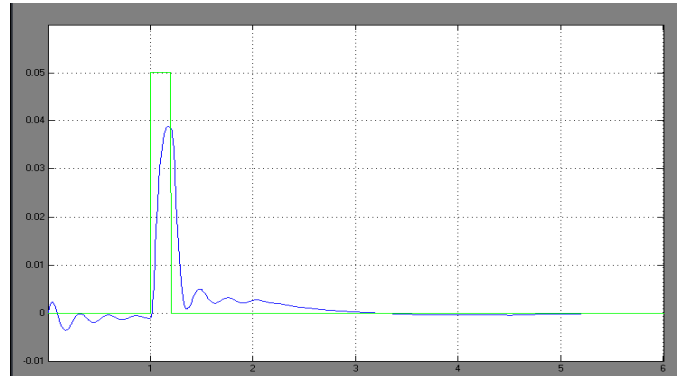


Şekil-8 Kurallar sonucu çıkışın girişle olan değişimi



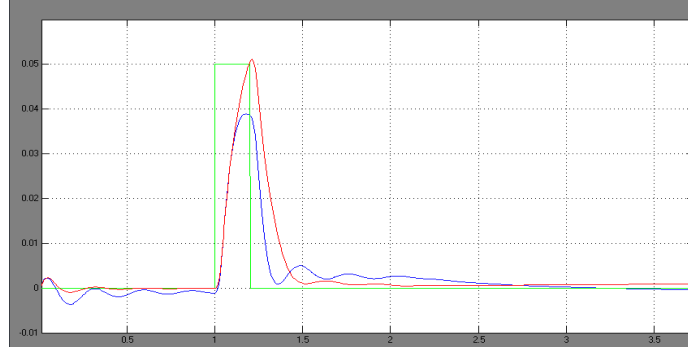
Şekil-9 Yoldaki değişimin kabulü

Şekil-8’de gösterilen giriş oluşturduğumuz sistemin matematiksel modeline uygulanmıştır. 0.05m ‘lik bir yoldaki değişimin gövdeye ve tekerleğe olan etkisi incelenmiştir. Fuzzy kontrolcüsü ve pasif damper davranışları karşılaştırılmıştır.



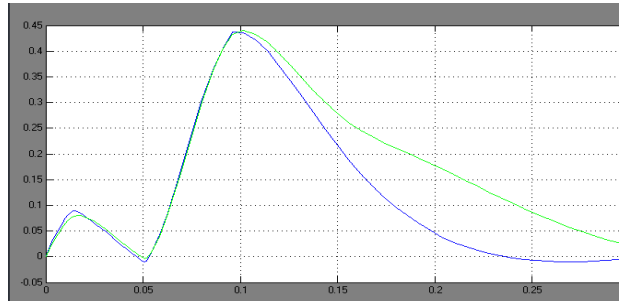
Şekil-10 Yoldaki değişim ve araç gövdesindeki yer değişimin zamana göre ifadesi

Şekil-10 yoldaki değişimleri ve fuzzy kontrolü ile kontrol eden yarı aktif süspansiyon sistemine sahip araç gövdesinin davranışı gözlenmektedir.



Şekil-11 Yoldaki değişim, fuzzy kontrolülü sistemin davranışı ve pasif süspansiyon sistem cevabı

Şekil-11 bize pasif süspansiyon sistemiyle fuzzy kontrollü sistemin yer değişim davranışı gözlenmektedir. Görüldüğü gibi kontrolsüz sistem yüksek bir ivme ile yer değiştirirken kontrollü sistemin hem yer değişiminin hem de ivmelenmesinin düşük olduğu gözlenmektedir. Şekil-12 iki sistemin yer değişim hızlarını göstermektedir. Yer değiştirme hızı ne kadar düşük olursa ve kısa sürede sıfır düzeyine oturursa araç gövdesinin ve yolcunun etkilenmesi o kadar az olmaktadır. Bu dikkate alınırsa yeşil olarak belirtilen pasif süspansiyon sistemi, mavi ile gösterilen bulanık kontrollü sisteme oranla daha geç sıfır konumuna oturmuştur. Buda daha uzun süre araç gövdesi ve yolcuların yol değişiminden etkileneceğini gösterir.

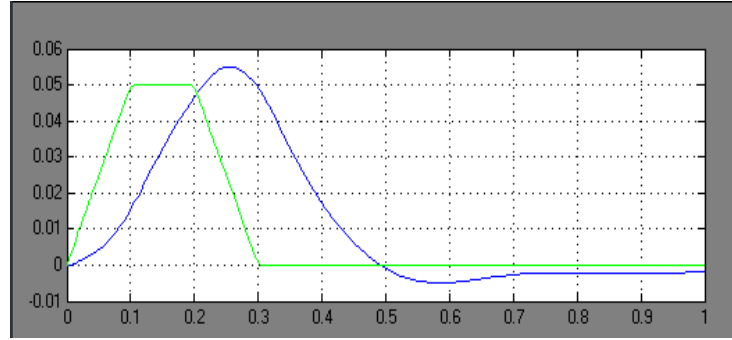


Şekil-12 Fuzzy kontrolülü sistemin ve pasif süspansiyon sisteminin yerdeğişim hızları

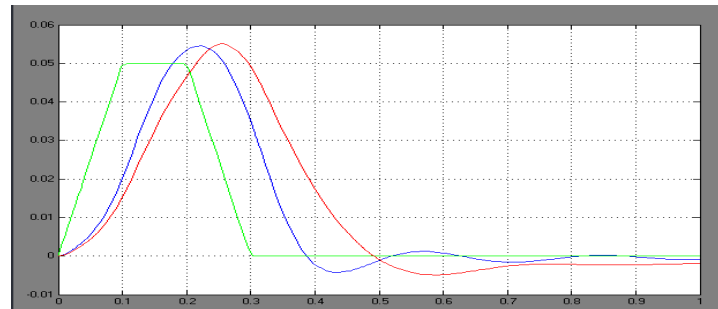
4.3. Sistemin Lineer Geribeslemeli Olarak Optimal Kontrolü

Lineer geri beslemeli sistem nonlineer davranan sistemlerin optimal olarak kontrolünü sağlamaktadır. Kontrol algoritması sistemin karakteristik denkleminde elde edilen değişkenleri geri besleme olarak ve bu değerleri ortalama olarak hesaplanan katsayılar ile çarpar. Elde edilen sonuçların toplamları sonucu elde edilen verilerin sisteme geri besleme olarak verilmesiyle sağlanan bir kontrol yöntemidir.

LQR kontrol yapılırken kullandığımız yarı aktif süspansiyon sistemi için geri besleme değişkenleri olarak gövdenin yer değişim hızı ve ivmelenmesi ile tekerlek ve aksın yer değişim hızı ve ivmelenmesi alınmıştır. Sistemin karakteristik denkleminde yararlanarak elde edilen geri besleme çarpanı $K[-0.15 \ 0.8 \ 15.289 \ 0.565]$ olarak hesaplanmıştır. Matlab-Simulink programında bulanık mantık kontrolcü ile oluşturduğumuz optimal kontrolcüye aynı yol değişimi uygulandığında gövdenin yer değişimi ve hızlanması gözlenmiştir.

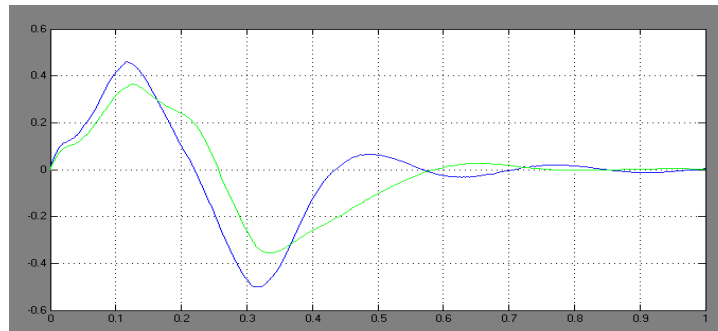


Şekil-13 LQR kontrollü sistemin(mavi) ve yoldaki(yeşil) zamana göre konum değişimi



Şekil-14 LQR kontrollü sistemin, bulanık mantık kontrollü sistemin, yoldaki yer değişiminin zamana göre gösterimi

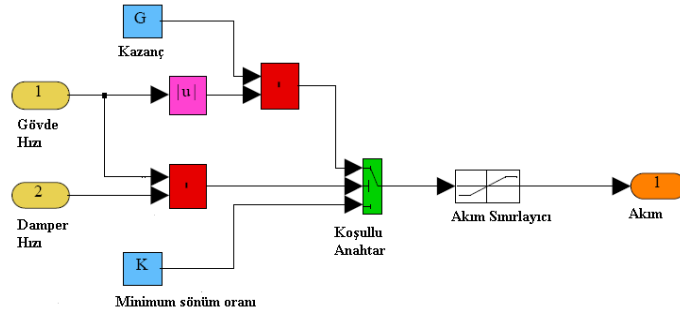
Şekil-14'de yolun değişimine karşılık bulanık mantık temelli kontrollü sisteme ait araç gövdesinin ve optimal kontrollü sisteme ait araç gövdesinin yer değişim grafiği gözlenmektedir. Bu değişim görüldüğü gibi her iki kontrol mantığında da hemen hemen aynı yer değişim miktarları oluşmaktadır. Ancak gövdenin yer değişim hızlarına baktığımızda (Şekil-15)optimal kontrollü sistemin daha düşük pozitif ve negatif hızlarda daha düşük hızlara ulaşarak bulanık mantık temelli olan sistemden daha konforlu bir sürüş sağlamış olmaktadır.



Şekil-15 LQR kontrollü sistemin (yeşil) , bulanık mantık kontrollü sistemin (mavi) zamana göre araç gövdelerinin yer değişim hızları

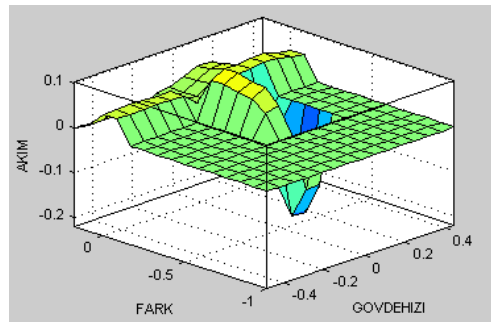
4.4. Adaptiv (uyarlamalı) Sinirsel – Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS)

ANFIS bulanık çıkartım sisteminin gerçekleştirilmesi için sistemin giriş ve çıkışları arasında ki ilişkisini gösteren bir veri kaynağının olması gereklidir. Giriş olarak gövdenin yer değişim hızı ve damperin uçları arasındaki yer değişim hızı alınmıştır. Bu girişler ve çıkış akım arasındaki ilişkiyi gösteren verileri oluşturmak için yarı aktif süspansiyon kontrol stratejilerinden olan sky-hook kontrol teorisine dayalı bir kontrollör tasarlanmıştır.

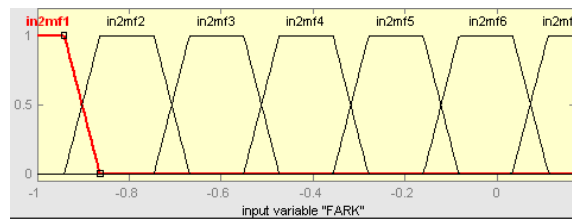


Şekil-16 Girişler ve çıkış arasındaki ilişkiyi elde etmek için kullanılan Sky-hook kontrollör

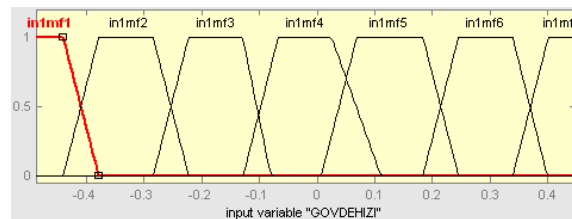
Şekil-16’da verilen kontrollör yardımı ile (2),(4),(7) denklemlerinden yararlanılarak oluşturulan sky hook kontrolcü temelli yarı aktif süspansiyon sisteminin sinüzoidal ($0.05\sin(2\pi ft)$ cm, $f=2.5\text{Hz}$) yol değişimi uygulanmıştır. Giriş değişkenleri olarak gövdenin dikey yer değiştirme hızı yani gövde hızı ve tekerleğin yer değiştirme hızı ile gövde hızının farkı olan damper hızı dikkate alınmıştır. Bu giriş değişkenlerine karşılık kontrolcü çıkışı olan akım miktarı izlenmiştir. Alınan bu giriş ve çıkış verileri kayıt edilerek ANFIS tasarımı için data dosyası oluşturulmuştur. Epoks sayısı yani eğitim sayısı 60 seçilerek backpropagasyon yöntemi ile ağ eğitilmiştir. Eğitim sonucu oluşturulan kuralların oluşturduğu arayüz Şekil-17’de belirtilmiştir. Şekil -18 ve 19’da eğitim sonucu oluşturulan giriş değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil-17 Eğitim sonucu oluşan kuralların arayüzü

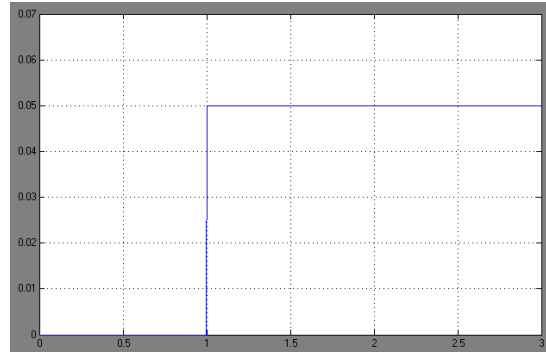


Şekil-18 Eğitim sonucu oluşan hızların farkının üyelik fonksiyonu



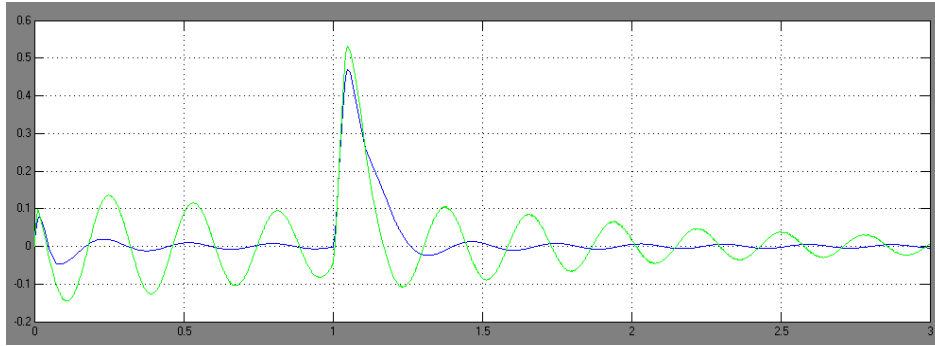
Şekil-19 Eğitim sonucu oluşan gövde hızının üyelik fonksiyonu

ANFIS yardımı ile oluşturulan Sugeno tipi bulanık mantık denetleyicisi tabanlı yarı aktif süspansiyon sistemi ve pasif (kontrolsüz) sistemine Şekil-20’de gösterilen yol değişimi uygulanmıştır.



Şekil-20 Yolun(metre cinsinden) zamana göre değişimi

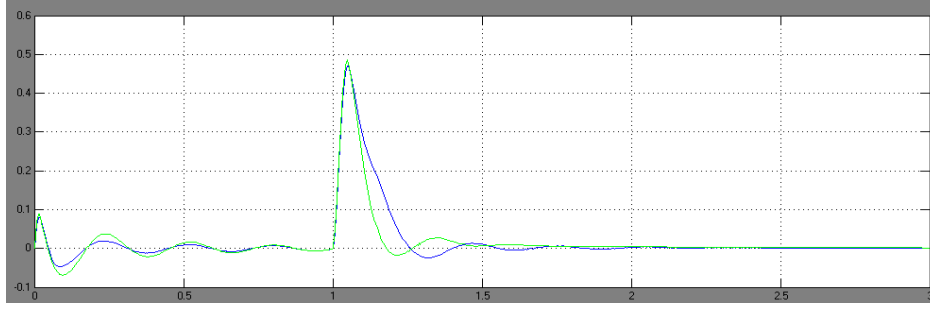
Bir basamak girişi uygulandıktan sonra her iki sistemin araç gövdesinde oluşturduğu yer değişimleri Şekil-21’de verilmiştir. Mavi çizgi ile gösterilen Sugeno tipi kontrolcünün kontrolettiği süspansiyon sisteminin bağlı olduğu araç gövdesinin yer değişim hızını göstermektedir.



Şekil-21 Yol değişimi sonucu Sugeno tipi kontrollü sistem (mavi) ile kontrolcüsüz sistem (yeşil) gövdelerine ait yer değişim hızlarının zamana göre değişimi

Görüldüğü gibi yeşil renkli olan kontrolcüsüz süspansiyon sistemine ait araç gövdesinin yer değişim hızı yolda ki değişiklik olduğu anda diğer sistemden daha yüksek hıza ulaşmıştır ve bulanık kontrol mantığı ile kontrol edilen sistem sıfır noktasına daha küçük salınımlar ile otururken kontrolcüsüz (pasif) sistem büyük salınımlar ile sıfır noktasına oturur. Bu salınımların büyüklüğü araç güvenliğini ve sürüş konforunu olumsuz etkilemekte. Görüldüğü gibi ANFIS yardımı ile oluşturulan bulanık mantık denetleyicisi pasif sisteme göre daha güvenli ve konforlu bir sürüş sunmuştur.

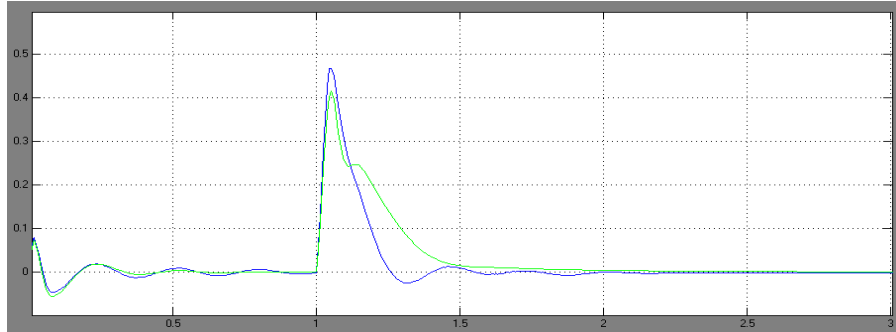
Aynı yol değişimine karşılık Anfis tabanlı sistem ile bir önceki bölümde kullanılan Mamdani tipi bulanık mantık denetleyicinin davranışları incelenmiştir. Yapılan simülasyon sonucunda elde edilen gövdesel hız değişimi sonuçları Şekil-22’de gösterilmiştir.



Şekil-22 Yol değişimi sonucu Sugeno tipi kontrollü sistem (mavi) ile Mamdani tipi kontrollü sistem (yeşil) gövdelerine ait yer değişim hızlarının zamana göre değişimi

Grafikte görüldüğü gibi her iki sistemde hemen hemen aynı hızlar ile hızlanmıştır. Ancak sugeno tipi kontrolcüye sahip sistemin hızı mamdani tipi kontrolcüye oranla daha önce sıfır seviyesine oturmuştur. Buda kontrolcünün daha kararlı olarak kontrolünün gerçekleştirildiğini gösterir. Anfis yardımı ile oluşturulan kontrolcü sistemi daha kararlı bir kontrol sağlamaktadır.

Yoldaki değişim oranı aynı karlarak Sugeno tipi bulanık mantık denetleyicili sistem ile 4.3. bölümde tasarlanan LQR kontrolcü tabanlı sistemlere ait gövde yer değişim hızları Şekil-23'te gösterilmiştir.



Şekil-23 Yol değişimi sonucu Sugeno tipi kontrollü sistem (mavi) ile LQR kontrollü sistem (yeşil) gövdelerine ait yer değişim hızlarının zamana göre değişimi

Şekil-22' de de görüldüğü gibi yoldaki değişim araç gövdelerini etkilediği anda her iki sistemde ortalama aynı ivmesel hızlar ile hızlanmıştır. Ancak görüldüğü üzere lineer geri beslemeli (LQR) kontrollü sistem çok fazla hızlanmadan sönüme geçmiştir. Bunun etkisi yoldaki değişimin yolcuya ve araç gövdesindeki etkisinin, sugeno tipi bulanık denetleyicili sisteme oranla daha az olduğunu gösterir. Durağan hale ulaşma bakımından ise LQR daha az salınım ile durağan hale geçmektedir. Bu da değişimin da az oranda hissedilmesine sebep olur.

5 Sonuç ve Öneriler

Otomatik kontrol tekniklerindeki gelişmeler pasif süspansiyon sistemleri olarak adlandırılan sabit katsayılı yay ve sönümleyiciden oluşan sistemlerin yerine yarı aktif süspansiyon sistemleri olarak adlandırılan sönümleme katsayısı kontrol altında tutulan sistemlere geçişi hızlandırmıştır.

Seyir konforunda iyileşme sağlanırken sürüş emniyetini azaltmayan süspansiyon davranışı yarı aktif süspansiyon sistemlerinin en önemli avantajıdır.

Yapılan teorik hesaplamalardan görülmüyor ki, çeyrek taşıt modeli üzerine kurulmuş yarı aktif süspansiyon sistemi, çeşitli yol değişimleri altında bulanık mantık temelli yarı aktif süspansiyon sisteminin klasik kontrol yöntemi ve pasif süspansiyon sistemine oranla daha konforlu ve

güvenli bir sürüş sağlamaktadır. Ancak optimal kontrol temelli lineer geri beslemeli (LQR) kontrollü yarı aktif süspansiyon sistemi ile bulanık mantık kontrol temelli yarı aktif süspansiyon sisteminden daha düşük bir ivmelenme ve hız ile araç gövdesinin yer değişiminin sağlanması araç güvenliği ve konforu açısından daha iyi sonuçlar alınmıştır.

ANFIS yardımı ile oluşturulan sugeno tipi bulanık mantık kontrolcüsü yarı aktif süspansiyon sistemi pasif sistemve mamdani tipi kontrolcüye sahip sisteme oranla daha düşük ivmelenme ve hız ile yer değişimi oluturarak daha konforlu ve güvenli sürüş sağlamıştır. Ancak LQR kontrollü yarı aktif süspansiyon sistemi ile ANFIS yardımı ile oluşturulan sugeno tipi bulanık mantık kontrol temelli yarı aktif süspansiyon sisteminden daha düşük bir ivmelenme ve hız ile araç gövdesinin yer değişiminin sağlanması araç güvenliği ve konforu açısından daha iyi sonuçlar vermiştir.

Mamdani tipi bulanık mantık uygulamasında giriş değişkenlerine araç gövdesinin düşey eksendeki anlık ivmelenmede ilave edilebilir. Böylelikle ivmedeki değişimde dikkate alınarak kontrol daha sağlıklı yapılabilir. Girişteki üyelik fonksiyonlarıda arttırılarak daha kararlı bir kontrol sağlanılabilir.

References (Referanslar)

1. M.Şengirgin ,Pasif ve yarı aktif süspansiyon titreşim yalıtım performansının incelenmesi UMTİK2000, ODTÜ, Ankara, Türkiye , September(2000).
2. Y.Shen, M.F.Golnaraghi, G.R.Heppler, “Semi-active Vibration Control Schemes for Suspension Systems Using Magnetorheological Dampers”, Journal of Vibration and Control 12(1) 3-24,Canada,(2006) .
3. J. A. Main, and N. P. Jones “Free Vibrations of Taut Cable with Attached Damper. II: Nonlinear Damper” Journal of Engineering Mechanics, Vol.128, No. 10, October 1, (2002).
4. M.Ahmadian, “Study of Semiactive Adaptive Control Algorithms with Magneto-Rheological Seat Suspension “,Visteon Corp., Virginia (2004).
5. Y. Zhang, G. Alleyne, “A New Approach to Half-Car Active Suspension Control”,American Control Conference, Denver,Colorado, June(2003).
6. N.Ahmad, M.Sam, “LQR Controller for Active Car Suspension” , IEEE Proc.on Control Applications, Italy,(1998).
7. E. Esmailzadeh, H.D. Taghrirad, “Active Vehicle Suspensions with Optimal State-Feedback Control ”, International Journal of Mechanical Science, pg 1-18,(1996).
8. N. Holou, T. Lahdhiri, D. Joo, “ Sliding Mode Network Inference Fuzzy Logic Control for Active Suspension System ”, IEEE Transactions on Fuzzy System Vol.10, No. 2, April, (2002) pg 234 - 246
9. S.Wu, T.Lie, “Optimal Fuzzy Control Design for Half-Car Active Suspension Systems”, International Conference on Networking. Sensing & Control,Taipei, Taiwan, March 21-23, (2004)

10. R. Li, W.M. Chen, M. Yu, D.K. Liu, “ Fuzzy Intelligent Control of Automotive Vibration via Magneto-rheological Damper”, Conference on Cybernetics and Intelligent Systems Singapore, December(2004)
11. B.Cai, D.Konik, “Intelligent Vehicle Active Suspension Control Using Fuzzy Logic ”, IFAC WorldCongress, Sydney, Vol.2,pg. 231-236,(1993)
12. S. Huang, W. Lin,“Adaptive Fuzzy Controller With Sliding Surface for Vehicle Suspension Control”,IEEE Transactions on Fuzzy System Vol.11, No. 4, August, (2003) pg. 550 – 568
13. K.Hayakava,K. Matsumoto,“Robust H -Output Feedback Control of Decoupled Automobile Active Suspension Systems”, IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL, VOL. 44, NO. 2, FEBRUARY (1999), pg. 392- 396
14. C. Kaddissi, J.P. Kenne, M. Saad,“Drive by Wire Control of an Electro-Hydraulic Active Suspension a Backstepping Approach” , 2005 IEEE Conference on Control Applications Toronto, Canada, August , (2005)
15. İ. Şahin, H. R. Öz, T. Engin, A. İlhan, A. Akpolat, “Manyetik Sıvılı Damperlerin Yapısal Analizi”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası IX. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, Mayıs, (2005).