

Bulanık Mantık Denetleyici ile Aktif Otomobil Süspansiyon Denetimi

Emre Özkop¹

İsmail. H. Altaş²

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

¹ e-posta: eozkop@ktu.edu.tr

² e-posta: ihaltas@ktu.edu.tr

Özetçe

Pasif süspansiyon sistemlerinin sürüş konforu, iyi tutuş veya iyi yol tutuşu gibi özellikleri yeteri kadar sağlayamaması, aktif süspansiyon sistemlerinin gün geçtikçe araçlarda kullanımının artmasını ve bu süspansiyon sistemlerinin kontrolünün önem kazanmasını sağlamıştır. Bu çalışmada 1/4 aktif süspansiyon sistemi MATLAB/SIMULINK programı kullanılarak modellenmiş, bu sistemin denetimi için bulanık mantık denetleyici tasarlanmış, oluşturulan denetleyici ile süspansiyon sistemi birleştirilmiş ve SIMULINK ortamında bulanık mantık denetleyici ile denetim gerçekleştirilmiştir.

1. Giriş

Yıllar ilerledikçe insanların araçlardan beklentileri değişim göstermektedir. Bir kısım insan araçta hız beklerken, başka bir grup ise daha az yakıt tüketmesi, iç aksamının daha donanımlı veya dış yapısının daha farklı bir tarzda olması beklentileri içindedir [1]. Bütün insanların araçlardan ortak beklenti ise titreşim ve yolun pürüzlülüğünden kaynaklanan sarsıntıdan yalıtılması (sürüş konforu), tekerleklerin kesintisiz ve sabit bir şekilde yola temas edecek biçimde tekerlek atlamalarının bastırılması (iyi tutuş veya iyi yol tutuşu), süspansiyon pistonlarını izin verilebilir maksimum değer aralığı içinde tutulması ve araç motoru tarafından sağlanan kısıtlı güç sebebiyle aktif kuvvetin sınırlandırılmasıdır [2]. Tabii ki bu beklentilerin hepsinin bir arada, tam olarak gerçekleştirilmesi karışıktır.

Yıllardan beri otomobil süspansiyonları, sargı veya yaprak yay ile viskoz amortisörün paralel bağlanmasından oluşmaktadır. Pasif sistemlerin özünde olan sürüş konforu ile yol tutuş karakteristiği arasında bir seçim doğaldır. Yumuşak yaylar, pürüzlü yollarda artan dinamik lastik yüklerindeki değişimi ve tekerlek hareketi pahasına iyi sürüş özelliğini kolaylaştırmaktadır. Diğer taraftan, iyi yol tutuş özelliği ve daha küçük tekerlek hareketi, daha geniş yay çeşitlerinin niteliğidir. Bu yüzden yay boyutları, tekerlek hareketini ve dinamik lastik değişimlerini sınırlandırmak için yeteri kadar geniş seçilmelidir [3]. Bu tür pasif süspansiyon sistemleri günümüzde yaygın olarak kullanılmakta ve performans kriterlerinin bir çoğunun geri plana itilmesine sebep olmaktadır [4]. Bundan dolayı, süspansiyon sistemlerinin daha fazla geliştirilmesi için aktif elemanlar sisteme dahil edilmelidir [5-7]. Bu çalışmada aktif süspansiyonun kontrolü ele alınmaktadır. Beklentileri yerine getirmek için bir çok denetleme yöntemi ve bu sistemi ifade eden modeller üzerine çalışmalar yapılmıştır [8-12].

İlk defa 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından ortaya koyulan bulanık mantığın başarılı bir çok denetim uygulamaları

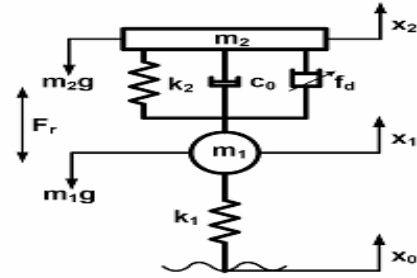
mevcuttur [13]. Bulanık mantık, modern bilimsel ve teknolojik aygıtlar ve sokaktaki sade insan arasındaki boşluğu doldurur. Bulanık mantık teknolojisi sadece karmaşık endüstriyel projelerde değil aynı zamanda günlük beyaz eşyalarda da karşımıza çıkmaktadır. Çamaşır makinelerinde, mikrodalga fırınlarında, vakumlu temizleyicilerde gibi bir çok tüketici ürünlerinde, asansör, tren, vinç, otomotiv, trafik kontrolü gibi çok sayıda sistemde ve teşhis, güvenlik veri sıkıştırma gibi yazılımda bulanık mantık denetleyiciler (BMD) kullanılmaktadır [14-15].

Geleneksel denetleyicilerdeki sınırlamalar, bulanık mantık denetimin tercih edilmesini sağlamaktadır. Bulanık mantık denetleyicilerin birkaç faydasından bahsetmek gerekirse: BMD, geleneksel denetleyicilere göre daha esneklerdir [16]. BMD, günümüzde endüstride en çok tercih edilen geleneksel denetleyicilerden biri olan PID denetleyiciye göre daha geniş çalışma koşullarını ihtiva edebilir [17]. Bir işi yapmak için BMD'yi geliştirmek modele dayalı veya diğer denetleyicileri geliştirmeye göre daha ucuzdur. Kolaylıkla kuralları anlaşılabilir ve düzenlenebilir için BMD ihtiyaca göre düzenlenebilir.

Bu çalışmada aktif süspansiyon sistem kontrolü BMD ile gerçekleştirilmiştir. Yol durumu, rasgele beyaz gürültü olarak alınmıştır. Benzetim, MATLAB dinamik sistem benzetim yazılımı olan SIMULINK kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. Model

Yıllar süren deneyler ve testler sonrasında pasif süspansiyonun ayırıcı özelliklerini en iyi şekilde kullanılmasını sağlayan lineer olmayan yay ve amortisörler geliştirilmiştir. Sürüş konforu ve yol tutuşunu daha fazla geliştirmek için aktif süspansiyon parçalarını incelemek gerekmektedir [18]. 1/4 aktif süspansiyon modeli Şekil 1'de gösterilmiş ve Newton'un ikinci kanununu kullanarak oluşturulan modele ait dinamik denklemler denklemler (1) ve (2) verilmiştir [19,20].



Şekil 1: 1/4 aktif süspansiyon modeli.

$$m_1 \ddot{x}_1 = -c_0(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_2(x_1 - x_2) - k_1(x_1 - x_0) + f_d + m_1 g \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = -c_0(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k_2(x_2 - x_1) - f_d + m_2 g \quad (2)$$

Bu modele ait parametre değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

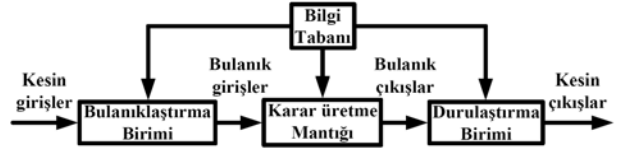
Tablo 1. 1/4 Aktif Süspansiyon Model Parametreleri [21]

Açıklama	Sembol	Değer
Taşıt gövdesinin kütlesi	m_2	240 kg
Tekerlek ve aks kütlesi	m_1	36 kg
Süspansiyon sönüm katsayısı	c_0	980 Ns/m
Süspansiyon yay katsayısı	k_2	16000 N/m
Tekerlek yay katsayısı	k_1	160000 N/m
Yer çekimi	g	9.8 m/s ²

Bu model, pasif sistemin yüksek frekans cevabını bulunduran ve aktif parça arızası olduğu takdirde yedekleme gibi davranan statik yüklemeye esnasında araç modelini destekler. 1/4 aktif süspansiyon sisteminin yukarıdaki denklem takımlarından faydalanarak oluşturulan SIMULINK modeli Şekil 2'de gösterilmiştir.

3. Bulanık Mantık Denetleyici

İlk bulanık mantık denetim küçük bir buhar makinesinin kontrolü olarak Mamdani ve Assilian tarafından gerçekleştirilmiştir. Sezgisel denetim kurallar kümesinden oluşmaktadır ve dilsel terimleri ifade etmek için bulanık kümeler ve kuralları değerlendirmek için bulanık mantık kullanılmaktadır. BMD sistem temel yapısı dört ana parçadan oluşur: bulanıklaştırma birimi, bilgi tabanı, karar üretme mantığı ve durulaştırma birimi [22]. Bulanık mantık denetim sistemi Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3: Bulanık mantık denetleyici sistemi.

Bulanıklaştırma operatörü, veriyi belirli grup içinde bir değere ve bu değer dışındaki bütün noktalarda sıfır olan üyelik fonksiyonuna haline getirir. Bilgi tabanı, denetlenecek sistemle ilgili bilgilerin toplandığı bir veri tablosundan ibarettir [23]. Karar üretme mantığı, önceden bilinen sistemin denetime verdiği cevap kararını oluşturan referans bilgisidir. Durulaştırma birimi ise çıkışın değişken değerlerini evrensel küme düzeyine getirmek için ölçeklendirme yaptığı yerdir. Sistemin çalışması esnasında meydana gelen hata $e(k)$ ve hatadaki değişime $de(k)$ sistemin kesin girişlerini oluşturur.

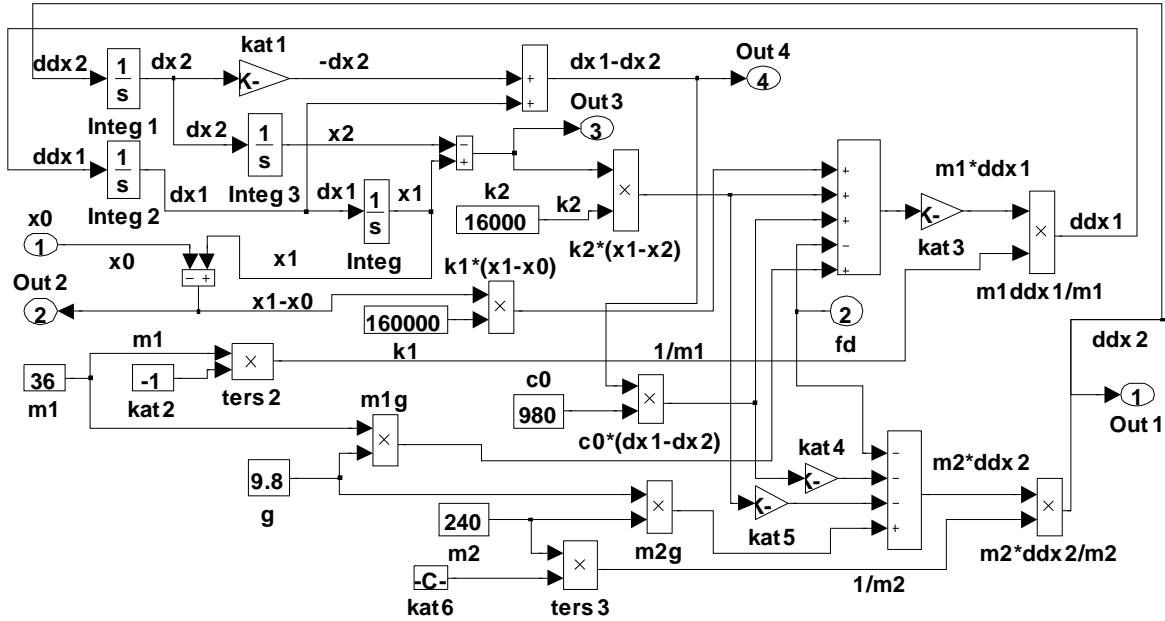
$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (3)$$

$$de(k) = e(k) - e(k-1) \quad (4)$$

Referans girişi $r(k)$, gerçek sistem çıkışı $y(k)$ ve k örnekleme adımı olarak ifade edilebilir. BMD'ye uygulanan kesin giriş ve alınan kesin çıkış arasında gerçekleştirilen işlem basamakları Şekil 4'de gösterilmektedir.

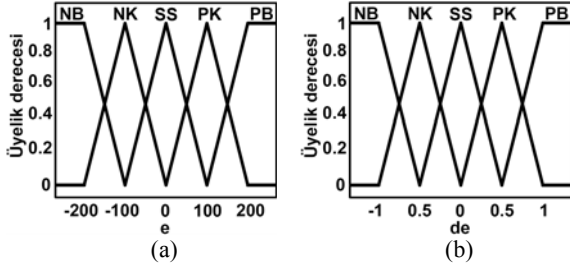


Şekil 4: Bulanık mantık denetleyici blok diyagramı.



Şekil 2: 1/4 aktif süspansiyon sisteminin SIMULINK modeli.

Üyelik fonksiyonu olarak basit ve kullanımı yaygın olduğu için üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir. $e(k)$ ve $de(k)$ 'nin üyelik değerlerini belirlemede kullanılan 5 kurallı üçgen üyelik fonksiyonunun eksene göre dağılımları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5: (a) $e(k)$ 'da kullanılan 5 kurallı üçgen üyelik fonksiyonu. (b) $de(k)$ 'da kullanılan 5 kurallı üçgen üyelik fonksiyonu.

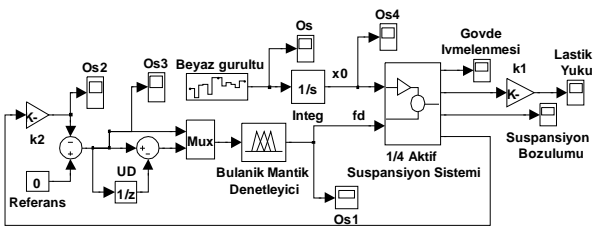
Bu denklem kullanılarak her bir kesin değişken uzayında tanımlı negatif-büyük (NB), negatif-küçük (NK), sıfır (SS), pozitif-küçük (PK) ve pozitif-büyük (PB) bulanık üyelik fonksiyonları ve Tablo 2'de verilen 25 kurallı bir kural tabanı oluşturulmuştur.

Tablo 2: 25 kurallı kural tablosu

	NBTde	NKTde	SSTde	PKTde	PBTde
NBTde	NBTdu	NBTdu	NKTdu	NKTdu	SSTdu
NKTe	NBTdu	NKTdu	NKTdu	SSTdu	PKTdu
SSTe	NKTdu	NKTdu	SSTdu	PKTdu	PKTdu
PKTe	NKTdu	SSTdu	PKTdu	PKTdu	PBTdu
PBTde	SSTdu	PKTdu	PKTdu	PBTdu	PBTdu

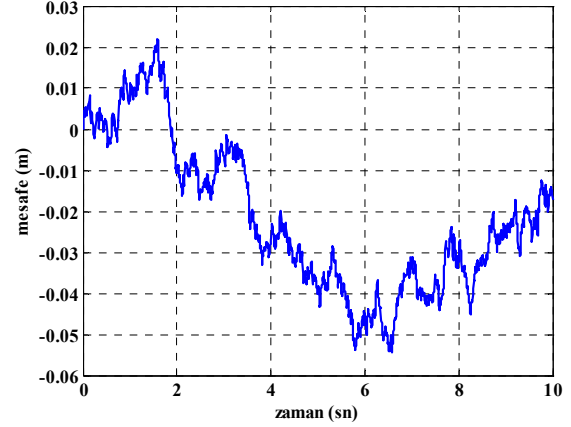
4. Sonuçlar

1/4 süspansiyon sisteminin benzetimi, MATLAB/ SIMULINK yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. BMD, MATLAB Bulanık Mantık Araç kutusu kullanılarak tasarlanmıştır. Oluşturulan sistem blok diyagramı Şekil 6'da gösterilmiştir.



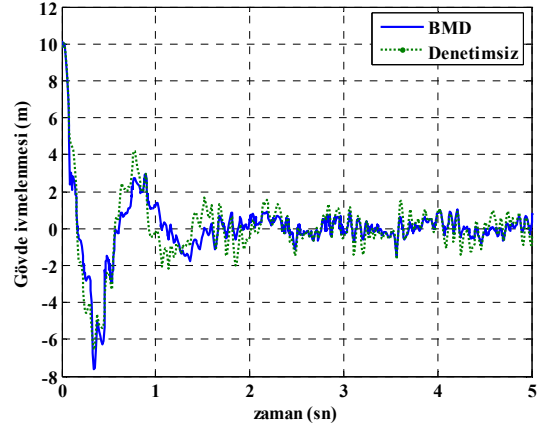
Şekil 6: Oluşturulan sistem blok diyagramı.

Giriş bozucu etkisi, Gaussian dağılımlı standart rasgele sayı üretici kullanılarak üretilmektedir. Oluşturulan giriş bozucu etkisi dalga şekli Şekil 7'de gösterilmiştir.

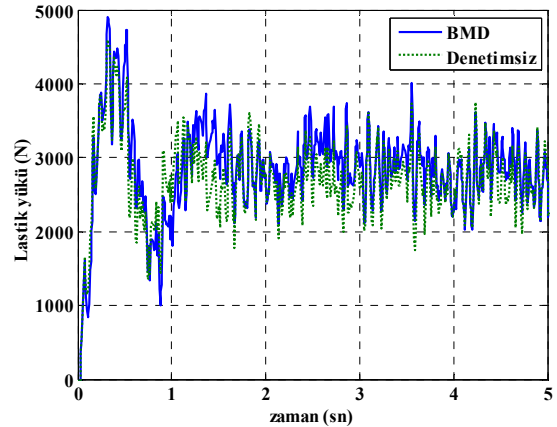


Şekil 7: Oluşturulan giriş bozucu etkisi dalga şekli.

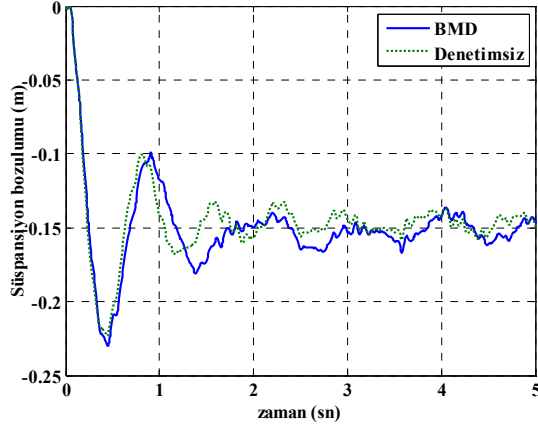
1/4 aktif süspansiyon sisteminin BMD'li ve denetimsiz durumlarına ilişkin gövde ivmelenme, lastik yükü çıkışı ve süspansiyon bozulum çıkışları Şekil 8, 9 ve 10'da gösterilmiştir.



Şekil 8: BMD'li ve denetimsiz sistemlere ait gövde ivmelenme çıkışı.



Şekil 9: BMD'li ve denetimsiz sistemlere ait lastik yükü çıkışı.



Şekil 10: BMD'li ve denetimsiz sistemlere ait süspansiyon bozulumu çıkışı.

5. Değerlendirme

Bu çalışmada 1/4 aktif süspansiyon sistemi MATLAB/SIMULINK yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Giriş bozucu etkisi, Gaussian dağılımlı standart rasgele sayı üreticisi kullanılarak üretilmiş bu sistemin denetimsiz ve bulanık mantık denetimli davranışları gözlemlenmiştir. Sistemin gözlemlenen çıkışlarından biri olan gövde ivmelenmesinde BMD ile denetlenmesi sonucunda iyileşme görülmüştür.

6. Kaynakça

- [1] R. Andrzejewski ve J. Awrejcewicz, *Nonlinear Dynamics of a Wheeled Vehicle*, Springer, 2005.
- [2] M. Ma ve H. Chen, "Constrained H_2 Control of Active Suspensions Using LMI Optimization," Proc. of the 25th Chinese Control Conference, Harbin, Heilongjiang, s:702-707, 2006.
- [3] A.J. Barr ve J.L. Ray, "Control of an Active Suspension Using Fuzzy Logic," Proc. of the 5th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, s:42-48, 1996.
- [4] M. Canale, M. Milanese ve C. Novara, "Semi-Active Suspension Control Using "Fast" Model-Predictive Techniques," *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, Cilt: 14, No: 6, s:1034-1046, 2006.
- [5] T. Aburaya, H. Kondo ve T. Hamada, "Development of an Electronic Control System for Active Suspension," Proc. of the 29th Conference on Decision and Control, Honolulu, Hawaii, s:2220-2225, 1990.
- [6] H.S. Tan ve T. Bradshaw, "Mode Identification of an Automotive Hydraulic Active Suspension System," Proc. of the American Control Conference, Albuquerque, New Mexico, s:2920-2924, 1997.
- [7] C. Tang ve T. Zhang, "The Research on Control Algorithms of Vehicle Active Suspension System," IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, s:320-325, 2005.
- [8] I. Martins, J. Esteves, G.D. Marques ve F.P. Silva, "Permanent-Magnets Linear Actuators Applicability in Automobile Active Suspensions," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Cilt: 55, No: 1, s:86-94, 2006.
- [9] R. Krtolica ve D. Hrovat, "Optimal Active Suspension Control Based on a Half-Car Model: An Analytical Solution," *IEEE Trans. on Automatic Control*, Cilt: 37, No: 4, ss:528-532, 1992.
- [10] T. Tseng ve D. Hrovat, "Some Characteristics of Optimal Vehicle Suspensions Based on Quarter-Car Models," Proc. of the 29th Conference on Decision and Control, Honolulu, Hawaii, s:2232-2237, 1990.
- [11] J. Xiao ve B. T. Kulakowski, "Sliding Mode Control of Active Suspension for Transit Buses Based on a Novel Air-Spring Model," Proc. of the American Control Conference, Denver, Colorado, s:3768-3773, 2003.
- [12] C. Lauwerys, J. Swevers ve P. Sas, "A Model Free Control Design Approach for a Semi-Active Suspension of a Passenger Car," Proc. of the American Control Conference, Portland, USA, s:2206-2211, 2005.
- [13] L.A. Zadeh, "Fuzzy Logic," *IEEE Computer Society*, Cilt: 21, No:4, s:83-93, 1988.
- [14] L. Reznik, *Fuzzy Controllers*, UK, Newnes, 1997.
- [15] G. Feng, "A Survey on Analysis and Design of Model-Based Fuzzy Control Systems," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, Cilt: 14, No: 5, s:676-697, 2006.
- [16] S. Aydemir, S. Sezen ve H.M. Ertunc, "Fuzzy Logic Speed Control of A DC Motor," Proc. of the 4th Power electronics and Motion Control Conference, IPEMC 2004 s:766-771, 2004.
- [17] C.P. Coleman ve D. Godbole, "A Comparison of Robustness: Fuzzy, PID, & Sliding Mode Control," Proc. of the 3rd IEEE World Congress on Computational Intelligence, s:1654-1659, 1994.
- [18] M. Satoh, N. Fukushima, Y. Akatsu, I. Fujimura ve K. Fukuyama, "An Active Suspension Employing an Electrohydraulic Pressure Control System," Proc. of the 29th Conference on Decision and Control, Honolulu, Hawaii, s:2226-2231, 1990.
- [19] R. Rajamani, *Vehicle Dynamics and Control*, Springer, 2006.
- [20] K. Sugiyama ve T. Ohtsuka, " l_1 State Feedback Control of Active Suspension," Proc. of the 37th IEEE Conference on Decision & Control, Tampa, Florida USA, s:475-480, 1998.
- [21] S. Son ve C. Isik, "Fuzzy Control of an Automotive Active Suspension," Fuzzy Information Processing Society, 1996 Biennial Conference of the North American, s:377-381, 1996.
- [22] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, Cilt: 20, No: 2, s:404-418, 1990.
- [23] İ.H. Altas, "Bulanık Mantık: Bulanık Denetim," *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, Sayı: 64, s:76-81, 1999.