

## TAŞIT SÜSPANSİYON SİSTEMİNİN KENDİNİ AYARLAYABİLEN BULANIK MANTIK İLE KONTROLÜ

Ali Volkan AKKAYA\*, Ahmet SAĞIRLI, Muharrem E. BOĞUÇLU

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL*

**Geliş/Received: 27.05.2003 Kabul/Accepted: 21.04.2004**

### CONTROL OF VEHICLE SUSPENSION SYSTEM WITH SELF TUNING FUZZY LOGIC

#### ABSTRACT

There are two main functions for a suspension system in a ground vehicle. The primary function is to isolate the car body and the passengers from shocks and vibrations caused by irregularities of the road surface. The second function is to maintain a contact between road surface and the tyres to provide good vehicle handling and safety. In this study, for implementing the functions above of vehicle suspension, a new active suspension system, adapting and developing control gain using self tuning fuzzy logic rule base, has been developed. This proposed active suspension system does not depend on system model, but it depends on system performance. In case of traveling unsmooth road profile, body bounce, control inputs, the power consumed for control action and frequency response of the vehicle body displacement and acceleration have been obtained. The simulation results have been compared to those of the passive system. At the end of study performance of the controller and the improvement in the system response have been discussed considering also the ride comfort.

**Keywords:** Vehicle suspension system, fuzzy logic controller.

#### ÖZET

İyi bir şekilde dizayn edilmiş taşıt süspansiyonlarının, yol bozukluklarından meydana gelen titreşimleri ve şokları taşıt gövdesinden ve yolculardan izole etmesi ve yüksek bir taşıt güvenliği ve kullanma performansı sağlaması için yol yüzeyi ile tekerlek arasındaki bağlantının devamını sağlaması gerekir. Bu çalışmada, taşıt süspansiyonun yukarıda belirtilen temel görevlerini en iyi şekilde yerine getirebilmesi için kontrolcü kazancını modelden bağımsız, sistem performansına bağlı kural tabanı ile değiştirip geliştirerek kendini ayarlayabilen bulanık mantık kontrolcü ile yeni bir aktif taşıt süspansiyon sistemi geliştirilmiştir. Simülasyon çalışmalarıyla, farklı yol profillerinde yolculuk edilmesi durumlarındaki gövde sıçraması, kontrol girişleri, kontrol işlemi için harcanan güç, taşıtın gövde yer değişimleri ve ivmesinin cevapları elde edilerek sonuçlar pasif süspansiyon ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda ise sürüş konforunu da dikkate alan taşıt süspansiyon sistemi için önerilen yeni kontrolcünün performansı ve sistem cevabındaki gelişme irdelenmiştir.

**Anhtar Sözcükler:** Taşıt süspansiyon sistemi, bulanık mantık kontrolcü.

#### 1. GİRİŞ

Modern taşıt süspansiyon sistemlerinin iki temel görevi vardır. Bunlardan birincisi, yol bozukluklarından meydana gelen titreşimleri ve şokları taşıt gövdesinden ve yolculardan izole etmektir. İkincisi ise, yüksek bir taşıt güvenliği ve kullanma performansı sağlaması için yol yüzeyi ile tekerlek arasındaki bağlantıyı devam ettirmektir[1-9, 11-12, 14-15, 17].

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail: aakkaya@yildiz.edu.tr ; tel: (0212) 259 7070 / 2488

## *Taşıt Süspansiyon Sisteminin Kendini Ayarlayabilen...*

Klasik kontrol yöntemleri lineer karakteristiğe sahip olmalarından dolayı bu kontrolcülerden iyi bir performans elde edebilme sadece özel bir çalışma aralığında kısıtlı kalmaya bağlıdır. Taşıt süspansiyon sistemleri oldukça yüksek non-lineer karakteristiklere sahiptir. Dolayısıyla klasik yöntemlerle kontrol gerçekleştirmek çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, hem sürüş kalitesini hem de kullanım performansını iyileştirmek için bir çok farklı aktif süspansiyon metodu geliştirilmiştir. Bunlardan yarı-aktif olarak adlandırılanlar normal şartlarda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır[1]. Buna ilaveten, Roh ve Park yaptıkları çalışmada, önceden sezme kabiliyetine sahip aktif ve yarı-aktif süspansiyonların performanslarını değerlendirmişlerdir[2]. Aktif süspansiyon sistemlerinin kontrol stratejilerinin çoğu optimal kontrole dayanmaktadır[3-6].

Kontrol edilen süspansiyon sistemlerindeki parametrik belirsizlikler yıllarca uygulamada karşılaşılan zorluklarının temelini oluşturmuştur. Gürbüz kontrol, model referanslı adaptif kontrol ve non-lineer adaptif kontrol gibi farklı yöntemlerle bu problem çözülmeye çalışılmıştır[2]. Yine de aktif kontrol nadiren kullanılmaktadır. Bunun nedeni ilave maliyetler, aktif süspansiyonun karmaşıklığı ve enerji tüketimidir[7]. Aktif süspansiyon tasarımında yapay zeka ve bulanık mantık ile ilgili uygulamalar günümüzde giderek artmaktadır[8,9]. Çünkü bu yöntemlerin parametrik belirsizliğe duyarlı, kontrolcülerin performanslarını öğrenebilme, iyileştirme kabiliyetleri ve uygulanabilir olmalarından dolayı tercih edilmektedirler.

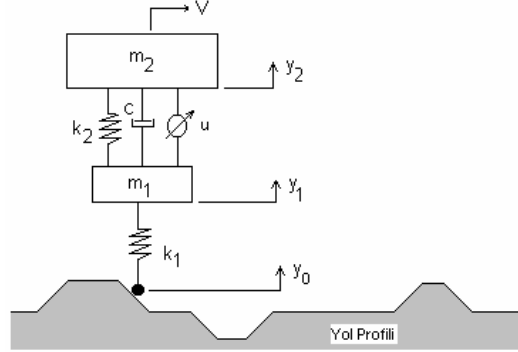
Bulanık mantık tabanlı kontrolcüler, modeli oluşturulamayan veya kurulması çok karmaşık olan veya çalışma bölgesinde oldukça yüksek non-lineerliğe sahip olan ve özellikle hassaslık gerektiren endüstri uygulamaları için uygun bir seçimdir[10]. Bulanık mantık kontrolcüler (BMK) non-lineerdir; bu nedenle bir çok sayıdaki non-lineer sürecin üstesinden gelmek için tasarlanırlar. BMK yaklaşımıyla aktif taşıt süspansiyon uygulamalarına son yıllarda yapılan şu çalışmalar örnek olarak verilebilir. Kashani ve Strelow arazi taşıtlarının engebeli arazide hızlarını ayarlamak ve geliştirmek amacıyla aktif ve yarı aktif süspansiyon sistemini BMK yöntemiyle incelemişlerdir[11]. Yoshimura, vd, bir yolcu aracında yolcuların konforu dikkate alarak dikey ivmelenmeyi minimize etmek için sisteme lineer ve BMK uygulamışlardır[12]. Golob yeni bir ayarlanmış PID BMK dizayn etmiş ve bunu magnetik süspansiyon sistemine uygulayarak BMK'ler ile kıyaslama yapmıştır[13]. D'Amato ve Viassolo özellikle taşıt süspansiyon elemanlarının ömrünü artırmak ve gövdenin dikey ivmelenmesini azaltmak için yeni bir BMK dizayn yöntemini önermişlerdir[14]. Fakat, taşıt süspansiyon sistemlerinde olduğu gibi kontrolcü büyük bir çalışma aralığında değişen hızlarda ve yol profillerinde non-lineerliği düzeltmeye zorlunu ise, tasarım zorlaşarak karmaşık bir hal alır. Bu sebeple kendini ayarlayabilen bulanık mantık kontrolcülere (KABMK) ihtiyaç vardır. Rao ve Prahlad, BMK üyelik fonksiyonlarını süspansiyon sistemin performansına göre değiştirebilen yeni bir KABMK önermişlerdir[15]. Xiao Peng, vd, KABMK'nün kural tabanını, taşıtlarda sürüş konforunu artırmak için bir DNA kodlu genetik algoritma kullanarak optimize etmişlerdir[16].

Bu çalışmadaki amaç ise taşıt süspansiyonunun başlangıçta belirtilen temel görevlerini en iyi şekilde yerine getirebilmesi için kontrolcü kazancını modelden bağımsız, sistem performansına bağlı kural tabanı ile değiştirip geliştiren bir KABMK ile diğer çalışmalardan daha basit yeni bir aktif taşıt süspansiyon sistemi geliştirmektir.

Bu makalenin geri kalan kısmı dört bölüm şeklinde organize edilmiştir. Sırasıyla, 2. bölümde tümsek yüzeyle bir yol profili için çeyrek taşıt modeli tanımlanmakta ve matematik modeli sunulmaktadır. 3. bölümde, klasik BMK yapısına çıkış kazancını ayarlayabilen bir mekanizma ilave edilerek taşıt süspansiyon sistemi için yeni bir KABMK yapısı oluşturulmaktadır. 4. bölümde, simülasyonlarla KABMK uygulanan taşıt süspansiyon sistemin davranışları, pasif süspansiyon sisteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Son olarak 5. bölümde bu kıyaslama sonuçları değerlendirilmektedir.

## 2. TAŞIT MODELİ

Bu çalışmada, Şekil 1.'de gösterilen iki serbestlik derecesine sahip çeyrek taşıt modeli dikkate alınmıştır. Bu model, taşıt gövdesi ile tekerleği arasında paralel olarak yerleştirilen ve kontrol kuvvetini oluşturan bir kontrolcüyü kullanmaktadır.



Şekil 1. Taşıtın fiziksel modeli

Modelde,  $m_2$  gövde kütlelerini,  $k_2$  süspansiyon yay sabitini,  $c$  damper katsayısını temsil etmektedir.  $u$  taşıt gövdesi ile tekerlek arasındaki kontrol kuvvetidir ve  $m_1$  tekerlek kütlelerini zıt yönde hareket ettirmek için zorlamaktadır.  $k_1$  tekerleğin yay sabiti,  $y_0$  tekerleğin yol yüzeyine bağlı hareketidir. Taşıt  $V$  hızında seyir halindedir. Sistemin bu durumunu temsil eden dinamik denklemler aşağıda 1 no'lu denklem ile verilmektedir[17].

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c & -c \\ -c & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 \\ 0 \end{bmatrix} y_0 + \begin{bmatrix} -u \\ u \end{bmatrix} \quad (1)$$

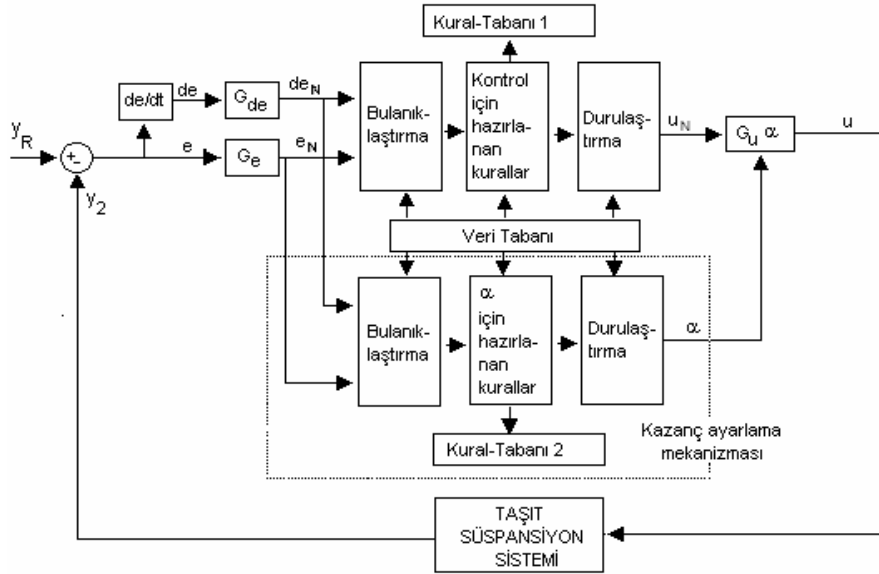
## 3. KENDİNİ AYARLAYABİLEN BULANIK MANTIK YAPISI

Taşıt süspansiyon sistemine uygulanan, Şekil 2.'de işleyiş yapısı gösterilen KABMK yapısı Müdi ve Pal tarafından geliştirilmiştir[18]. Onların bu dizayn yapısını oluşturmadaki temel düşünceleri, tecrübeli ve kabiliyetli bir insan operatörünün bir prosesi optimal olarak kontrol etmek için belirlediği yol doğrultusunda, prosesin anlık durumuna bağlı olarak kontrolcü kazancını ayarlama yoluyla kontrolcü çıkışını proses hedefine ulaştırmadaki davranışını taklit etmektir.

Taşıt süspansiyon sistemi için BMK'nün yapısı, taşıt gövde hareketindeki değişimi ( $e=y_2-y_R$ ) ve bu değişimin türevini ( $de=y_R/dt-y_2/dt$ ) giriş değişkenleri olarak kullanırken kontrol kuvveti  $u$ 'yu çıkış değişkeni olarak kullanır. Bu yapıda kontrolcününün kazancı, çıkış ölçeklendirme katsayısı (ÖK) ile kontrol edilmekte olan süspansiyon sistemin hareketine göre sürekli olarak ayarlanmaktadır. BMK performansı giriş ve çıkış ÖK'larının her ikisine de bağlı olsa da burada iyi bir performans elde edebilmek için girişin ÖK'ları sabit tutularak çıkışın ÖK'larında ayarlama yapılabilir. KABMK kazancı, klasik BMK'nün çıkış kazancınının  $\alpha$  gibi bir kazanç yenileme katsayısı ile her örnekleme periyodunda çarpılarak elde edilir. Kazanç yenileme katsayısı  $\alpha$  ise, kontrol edilmekte olan süspansiyon sistemin hareketine göre aynı gövde hareketindeki değişim ve bu değişimin türevini kullanarak oluşturulan bir kural tabanı ile hesaplanmaktadır. KABMK için çıkış ÖK'mı ayarlama süreci Şekil 2.'de kazanç ayarlama mekanizması olarak kesikli çizgiler içinde gösterilmektedir. Burada iki tane bulanıklaştırma birimi anlaşılmayı kolaylaştırmak için

## Taşıt Süspansiyon Sisteminin Kendini Ayarlayabilen...

kullanılmaktadır. Gerçekte sadece bir tane bulanıklaştırma birimi vardır ve  $e$  ile  $de$ 'yi bulanıklaştırır. Ayrıca bulanıklaştırma ve durulaştırma metodu olarak sırasıyla yine çok kabul gören ve yaygın olarak kullanılan Mamdani ve ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.



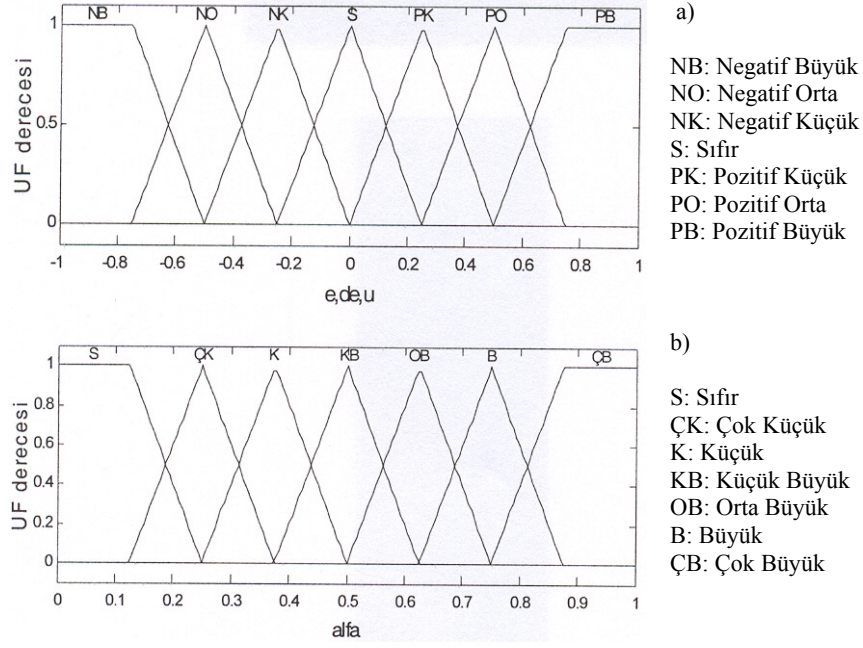
Şekil 2. KABMK'nin blok diyagramı [18'den uyarlanmıştır]

### 3.1. Üyelik Fonksiyonları

BMK'nün giriş değişkenleri  $e$ ,  $de$ 'yi ve çıkış değişkeni  $u$ 'yu bulanıklaştırmak için tanımlanan üyelik fonksiyonları (ÜF)  $[-1 \ 1]$  ortak aralığında tanımlanmaktadır (Şekil 3.a).  $[0 \ 1]$  aralığında tanımlanan üyelik fonksiyonları  $\alpha$ 'yı hesaplamak için kullanılmaktadır (Şekil 3.b). ÜF olarak sınır değerleri hariç simetrik üçgen ÜF'ları kullanılmaktadır. Komşu ÜF'ları arasında % 50'lik bir çakışma vardır. Bu tür ÜF'ları en genel olan ve en yaygın olarak kullanılanlarıdır [19,20].

### 3.2. Ölçeklendirme Katsayıları

BMK'nün  $[-1 \ 1]$  aralığında tanımlanan giriş değerleri  $e_N$ ,  $de_N$  ve çıkışı  $u_N$  için ÜF'ları ölçeklendirilmektedir. Giriş ve çıkış ÖK'larının ayarlanması işleminin optimal performansa ulaşmasında oldukça önemli bir rolü vardır.  $e$ ,  $de$ 'nin gerçek değerleri,  $G_e$  ve  $G_{de}$  ÖK'ları ile  $[-1 \ 1]$  aralığına taşınır. Çıkışın ÖK  $G_u$  ise klasik BMK'nün ölçeklendirilmiş çıkış değeri  $u_N$ 'yi gerçek değer aralığına taşır. Klasik BMK'de çıkışın ÖK  $G_u$  iken KABMK'de bu değer  $G_u \cdot \alpha$  olur.  $G_e$ ,  $G_{de}$  ve  $G_u$  değerlerinin belirlenmesi kontrol edilmekte olan süspansiyon sistem bilgisine bağlı olarak yapılabileceği gibi deneme yanılma yöntemi ile de yapılabilir. Burada amaç,  $e$  ve  $de$ 'ye bağlı olarak modelden bağımsız, performansa bağlı kural tabanı ile  $\alpha$  kazanç yenileme katsayısını hesaplamaktır. KABMK'nün giriş ve çıkış değişkenleri ile ÖK'ları arasındaki ilişkiler aşağıda tanımlanmaktadır.

Şekil 3. a) e, de ve u için ÜF'ları, b)  $\alpha$  kazancı için ÜF'ları

$$e_N = G_e \cdot e \quad (2)$$

$$de_N = G_{de} \cdot de \quad (3)$$

$$u = (\alpha \cdot G_u) \cdot u_N \quad (4)$$

### 3.3. Kural Tabanlarının Oluşturulması

Bulanık mantık kural tabanı bulanık bir kontrolcüde kontrol stratejisi açısından oldukça önemli etkiye sahiptir. Modern bir aktif süspansiyon sisteminin sürüş konforu, süspansiyon hareketi ve kullanım performansı gibi en az üç tane temel amaç fonksiyonu olacağından dolayı tasarlanan kural tabanı bu bahsedilen amaçların her birini ayarlayabilmelidir.

Bir BMK için kontrolör çıkışı  $u$  ;” EĞER  $e = NK$  ve  $de = PK$  İSE  $u = S$  ” kural yapısı ile hesaplanır.  $u$ 'yu hesaplamak için Yoshimura ve çalışma arkadaşlarının geliştirmiş olduğu kural tabanı kullanılmıştır ve kural tabanı Tablo 1.a)'da gösterilmektedir[21]. Kazanç yenileme katsayısı  $\alpha$  ise “EĞER  $e = E$  ve  $de = de$  İSE  $\alpha = \alpha$ ” kuralları ile hesaplanır.Tablo 1.b)'de gösterilen  $\alpha$ 'yı hesaplamak için gerekli kural tabanı başarılması istenilen sistem çıkışına bağlı olarak ayarlanır.

### 3.4. Kendini Ayarlama Mekanizması

Kendini ayarlayan kontrolörün kazancı, kontrolör faaliyeteyken sabit kalmaz ve kazanç yenileme katsayısı  $\alpha$  ile yenilenir. Bu sürekli kazanç değişiminin amacı, kontrolörün cevabını değişen koşullara rağmen istenilen özelliklere getirmektir. Bu durumda hazırlanan kontrolör basit bir adaptif geri beslemeli kontrolördür. Kuralların üretilmesi sırasında göz önünde bulundurulmuş önemli bazı durumlar maddeler halinde aşağıda açıklanmıştır[22].

## Taşıt Süspansiyon Sisteminin Kendini Ayarlayabilen...

**Tablo1. a) u için kural tabanı**

**b)  $\alpha$  için kural tabanı**

de/e	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB	de/e	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
NB	NB	NB	NB	NO	NO	NK	S	NB	ÇB	ÇB	ÇB	B	KB	K	S
NO	NB	NB	NO	NK	NK	S	PK	NO	ÇB	ÇB	B	B	OB	K	ÇK
NK	NB	NO	NK	NK	S	PK	PO	NK	ÇB	OB	B	ÇB	ÇK	K	ÇK
S	NO	NK	NK	S	PK	PK	PO	S	K	KB	OB	S	OB	KB	K
PK	NO	NK	S	PK	PK	PO	PB	PK	ÇK	K	ÇK	ÇB	B	OB	ÇB
PO	NK	S	PK	PK	PO	PB	PB	PO	ÇK	K	OB	B	B	ÇB	ÇB
PS	S	PK	PO	PO	PB	PB	PB	PS	S	K	KB	B	ÇB	ÇB	ÇB

1) e büyük değerlerde iken (pozitif ya da negatif yönde) ve de ile ters işaretli olması durumunda, kontrol performansında meydana gelen aşmayı ve yerleşme zamanını küçültmek için kontrolcü kazancı küçük değerlere ayarlanmalıdır. Örneğin “Eğer e PB ve de = NK İse  $\alpha = \text{ÇK}$ ” gibi. Hatanın büyük ve aynı zamanda hatadaki değişme ile aynı işarete sahip olduğu durumda diğer bir ifadeyle sistemin istenilen referans noktasından zamanla uzaklaştığı durumda kontrolör kazancı, referans noktasından sapmaları azaltmak için büyük bir değere ayarlanmalıdır. Bu ayarlama ise “Eğer e = PB ve de = PK İse  $\alpha = \text{ÇB}$ ” biçimindeki kurallar ile yapılabilir.

2) Büyük aşma ve sönümlerden kaçınmak için sistem akışına bağlı olarak referans noktası civarında kazançta büyük değişimler yapılabilir. Örneğin aşma şu kural ile azaltılır; “Eğer e = S ve de = NO ise  $\alpha = B$ ”. Bu durumda büyük kazanç, sistemin referans noktasına doğru süratli hareketinin önüne geçerek, daha küçük bir aşma olmasını sağlayacaktır. Benzer şekilde büyük sönümden kaçınmak için “Eğer e = NK ve de = PK ise  $\alpha = \text{ÇK}$ ” kuralı uygulanabilir. Referans noktası civarında bu tip kazanç değişimi, aynı zamanda salınımların önüne geçer ve sonuçta sistemin referans noktasına ulaşmasını hızlandırmaktadır.

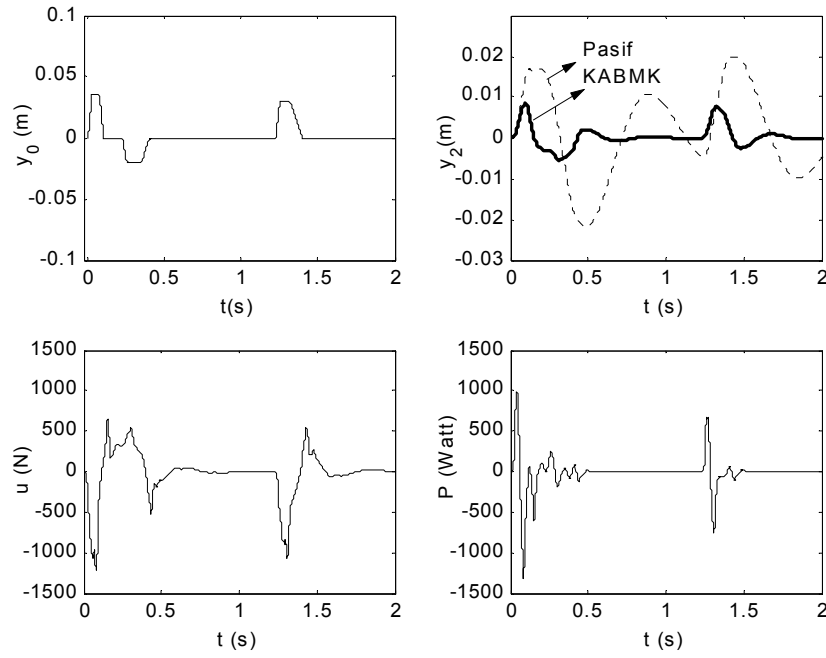
3) Süspansiyon sistemleri yol yüzeyindeki pürüzlüklerden dolayı yük değişimlerine uğrarlar. İyi bir kontrolör, yük değişimlerine karşı uyumlu olabilmelidir. Bu ise, kontrolörün kazancını yeterince yüksek tutmakla mümkündür. Örneğin, “Eğer e = PK ve de= PO ise  $\alpha = B$ ” olduğu takdirde büyük miktardaki yük değişiminden hemen sonra e küçük olabilir fakat de oldukça büyüktür. Bu durumda  $\alpha$ , kazancı yükseltmek için büyük olmalıdır.

## 4. SİMÜLASYON

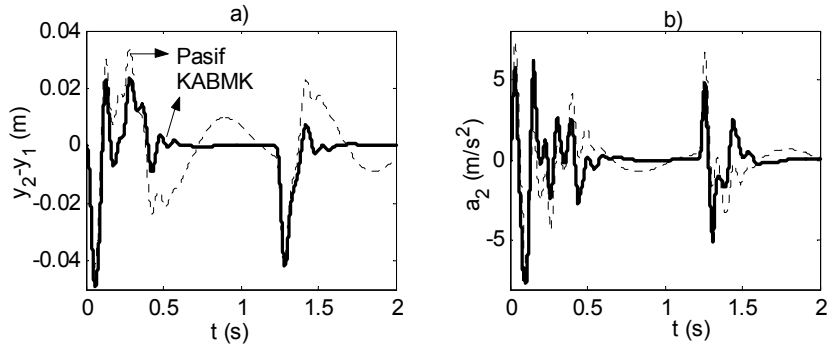
Taşıt süspansiyon sisteminin KABMK’lü matematik modelinin simülasyonları, MATLAB’in Simulink ve Bulanık Mantık Araç kutuları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.’de taşıtın tümsek yüzeylere sahip bir yol profil girişi ( $y_0$ ) durumundaki sistem cevapları verilmiştir. Taşıt bu tümsek üzerinde 72 km/h hızla ilerlemektedir. Gövde sıçraması ( $y_2$ ) açısından KABMK ile pasif süspansiyon karşılaştırıldığında KABMK’nün başarısı açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. KABMK varlığında dikey yönündeki yolcu hareketi “0” referansı pasif süspansiyon sistemine göre hızlı bir şekilde izlemektedir. Ayrıca, KABMK performansını göstermek için süspansiyon kontrol kuvveti (u) ve giriş gücü (P) değişimi verilmektedir. Kontrol kuvveti ve giriş gücünün maksimum değerleri sırasıyla 1000 N ve 1300 W civarında olduğu gözlenmiştir.

Yol tutma ve sürüş konforu dikkate alındığında; Şekil 5.a’da süspansiyon sapma aralığı değişimi, 5.b’de konfor açısından ivme değerleri verilmiş ve her ikisinden de iyi sonuçlar alınmıştır. KABMK, pasif sisteme göre salınımları önemli ölçüde azaltmaktadır. Şekil 6’da frekans cevapları verilmiştir. Gövde kontrol frekans değerlerinde belirgin bir düşme görülmektedir.



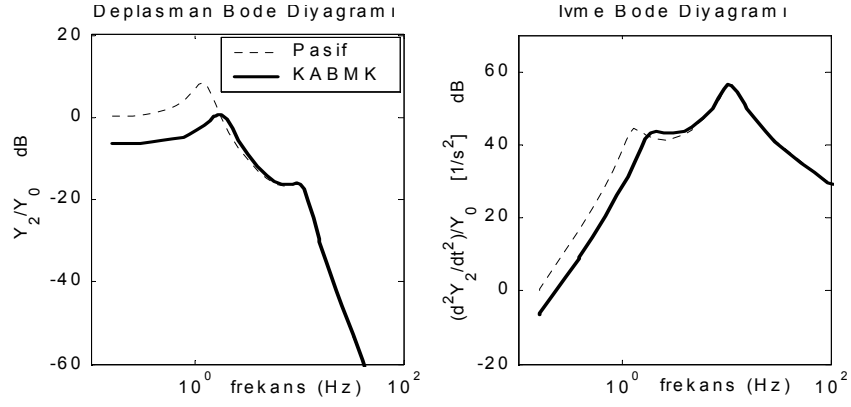
Şekil 4. Değişken yol profil girişi için taşıtın sistem cevapları



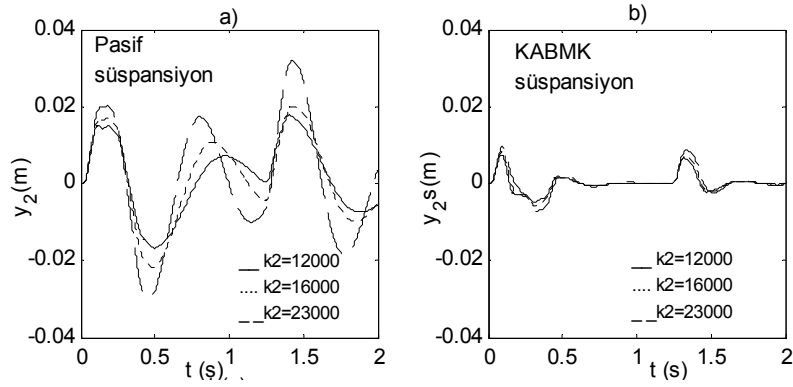
Şekil 5. Değişken yol profil girişi için taşıtın sistem cevapları

Şekil 7. ve Şekil 8.'de kontrolcünün sisteme ait parametrelerdeki değişimlere karşı göstermiş olduğu performans incelenmiştir. Şekil 7.a'da pasif süspansiyon olması halinde yay katsayısı ( $k_2$ ) değerleri değiştirilmiş ve gövde hareketi ( $y_2$ )'nin değiştiği görülmüştür. Şekil 7.b'de ise  $k_2$ 'deki değişimlerden kontrolcü olması durumundaki cevaplar neredeyse değişmemiştir. Şekil 8.a'da ise kütledeki ( $m_1$ ) değişimler sonucunda pasif sistemin gövde hareketi değişmekte olduğu görülmektedir. Şekil 8.b'de ise kütle değişiminin kontrolcü performansına etkisi olmadığı görülmektedir.

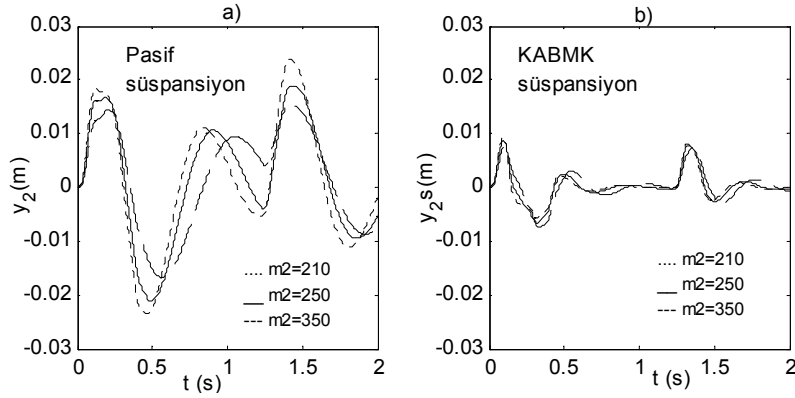
## Taşıt Süspansiyon Sisteminin Kendini Ayarlayabilen...



Şekil 6. Değişken yol profil girişi için taşıtın frekans cevapları



Şekil 7. Yay sabiti parametresinin gövde hareketi üzerindeki etkisi



Şekil 8. Gövde kütlesi parametresinin gövde hareketi üzerindeki etkisi



## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, taşıt süspansiyon sistemi için KABMK entegre edilmiş ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Süspansiyon sistemine önerilen bu kontrolcünün en önemli özelliği modelden bağımsız performansa bağlı olması, süspansiyon sistemine uyumluluğu ve gelişen teknoloji ile uygulanabilir olmasıdır. Bunlara ilaveten KABMK, sürekli olarak yük ve yol şartlarındaki değişime maruz kalan taşıt dinamiğini kontrol etmektedir. Bu çalışmanın sonucundan önerilen aktif süspansiyon tasarımının pasif sistemlere göre daha iyi sonuç verdiği ve parametre değişimlerine karşı neredeyse etkilenmediği görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] E. M. Elbeheiry, "Effects of Small Travel Speed Variations on Active Vibration Control in Modern Vehicles", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 232(5), pp. 857-875, 2000.
- [2] H. S. Roh, Y. Park, "Stochastic Optimal Preview Control of an Active Vehicle Suspension", *Journal of Sound And Vibration* " vol. 220(2), 313-330, 1999.
- [3] H. Peng, R. Strathearn, A. G. Ulsoy, "A Novel Active Suspension Design Technique-Simulation and Experimental Results", AACC, 0-7803-3835, 9-1997.
- [4] D. Hrovat, "Survey of Advanced Suspension Developments and Related Optimal Control Applications", *Automatica*, vol. 33, pp. 1781-1817, 1997.
- [5] A. Zaremba, "Optimal Active Suspension Design Using Constrained Optimization", *Journal of Sound and Vibration* ", 207(3), pp. 351-364, 1997.
- [6] S. Narayanan, S. Senthil, "Stochastic Optimal Active Control of A 2-Dof Quarter Car Model With Non-Linear Passive Suspension Elements", *Journal of Sound and Vibration* " 211(3), 495-506, 1998.
- [7] F. Assaddian, "A Comparative Study of Optimal Linear Controllers for Vibration Suppression", *Journal of the Franklin Institute*, vol. 339, pp. 347-360, 2002.
- [8] K. Spentzas, S. A. Kanarachos, "Design Of A Non-Linear Hybrid Car Suspension System Using Neural Networks", *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 60, pp. 369-378, 2002.
- [9] Y. P. Kuo, T.S.Li, "A Composite EP-based Fuzzy Controller for Active Suspension System", *International Journal of Fuzzy Systems*, Vol. 2, No. 3, 183-191, 2000.
- [10] L. Pirrello, L. Yliniemi, K. Leiviskä, M. Galluzzo, "Self-Tuning Fuzzy Control of a Rotary Dryer", *IFAC 15th Triennial World Congress*, Barcelona, Spain, 2002.
- [11] R. Kashani, J. E. Strelow, "Fuzzy Logic Active and Semi-Active Control of Off-Road Vehicle Suspensions, *Vehicle System Dynamics*", vol.32, pp. 409-420,1999.
- [12] T.Yoshimura, K. Nakaminami, M.Kurimoto, J. Hino, "Active Suspension of Passenger Cars Using Linear and Fuzzy-Logic Controls", *Control Engineering Practice*, vol. 7, pp. 41-47, 1999.
- [13] M. Golob," Decomposed Fuzzy Proportional-Integral-Derivative Controllers", *Applied Soft Computing*, vol. 1, pp.201-214, 2001.
- [14] F. J. D'amato, D. E. Viassolo ,"Fuzzy Control for Active Suspensions", *Mechatronics*, vol. 10, pp. 897-920,2000.
- [15] M. V. C. Rao, V. Prahlad, "A Tunable Fuzzy Logic Controller for Vehicle-Active Suspension Systems", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 85, pp. 11-21, 1997.
- [16] X. Peng, V. Prahlad, T. H. Lee, "DNA Coded GA for the Rule Base Optimization of a Fuzzy Logic Controller", *Proceedings of the 2001 IEE Congress on Evolutionary Computation Seoul, Korea, May 27-30, 2001*.
- [17] N. Yağız, R. Güçlü, İ. Yüksek, "Fuzzy Logic Control of Vehicle Suspension Systems for Bumpy Roads",*Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 75-82, 2002-3.

***Taşıt Süspansiyon Sisteminin Kendini Ayarlayabilen...***

- [18] R. K. Mudi, N. R. Pal, “ A Self-Tuning Fuzzy PI Controller”, Fuzzy Sets and Systems, vol.115, pp. 327-338, 2000.
- [19] K. Tanaka, “Introduction to Fuzzy Logic for Engineering Application ” , Springer, ISBN 0-387-94807, USA, 1996.
- [20] Z. Şen, ”Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri”, Bilge Sanat Yapım Yayıncılık, İstanbul, 2001.
- [21] T. Yoshimura, Y.Isari, Q. Li , J. Hino, “Active Suspension Of Motor Coaches Using Skyhook Damper And Fuzzy Logic Control”, Control Engineering Practice, vol.5, no. 2, pp. 175-184,1997.
- [22] R. K. Mudi, N. R. Pal, “A Robust Self-Tuning Scheme for PI-and PD-Type Fuzzy Controllers”, IEEE Transaction on Fuzzy Systems, vol. 7, pp. 2-16, 1999.