

## The Real Time Control of the Percentage of the Catalyzer in the Piston Motors with the Fuzzy Logic

Bariş BORU<sup>1</sup>, Vezir AYHAN<sup>2</sup>, Halil İbrahim ESKİKURT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sakarya University, Technical Education Faculty, Electronics and Computer Education Department, Esentepe Campus, 54187 Sakarya, TURKEY

<sup>2</sup>Sakarya University, Technical Education Faculty, Mechanics Education Department, Esentepe Campus, 54187 Sakarya, TURKEY

<sup>3</sup>Sakarya University, Technical Education Faculty, Electronics and Computer Education Department, Esentepe Campus, 54187 Sakarya, TURKEY

---

**Abstract:** Spraying appropriate catalyzer to piston motors gives good results such as motor performance and fuel economy. There is a lot of research for this subject in the literature. One of the most important point in the catalyzer applications to piston motors is the applying the catalyzer in the right time with the right percentage. If the percentage and the spraying time of the catalyzer are not determined according to the instant running conditions, it is known that the desired values cannot be obtained.

In this study, the percentage of the catalyzer for the applications of the piston motors has been defined with a fuzzy logic controller in a real time. The implementation has been realized with the one-cylinder diesel motor. In the implementation period, an example of catalyzer, decreases the NO<sub>x</sub> emissions in the exhaust gases and affects the performance positively, has been dwelled on. The percentage of the catalyzer has been defined according to the number of cycles, load and throttle position got from the motor. A microcontroller development board, 8051 based, has been used to control and read the physical signals. The fuzzy logic controller has been implemented in a MATLAB environment and with an interface developed, the possibility of practical usage has been provided. The communication between the MATLAB user-interface and microcontroller has been achieved by using RS232 standard.

*Key words:* Fuzzy logic, real time motor control, Sugeno-Fuzzy Logic

---

## Pistonlu Motorlarda Katalizör Oranının Bulanık Mantık ile Gerçek Zamanlı Olarak Kontrolü

**Özet:** Pistonlu motorlarda çalışma esnasında uygun katalizör maddelerin püskürtülmesi motor performansını arttırmak, yakıt maliyetini düşürmek gibi olumlu sonuçlar vermektedir. Literatürde bu alanda yapılan birçok çalışma yer almaktadır. Pistonlu motorlarda katalizör uygulamalarında en önemli noktalardan bir tanesi doğru oranda ve doğru anlarda katalizör uygulanmasıdır. Eğer anlık çalışma koşulları dikkate alınmadan katalizör oranı ve katalizör katkı oranı belirlenirse istenilen değerler elde edilemeyeceği bilinmektedir.

Bu çalışmada, pistonlu motorlarda katalizör katkı uygulamaları için katalizör katkı oranının belirlenmesi gerçek zamanlı olarak bulanık mantık denetleyicisi ile belirlenmiş ve uygulaması yapılmıştır. Çalışma tek silindirli bir dizel motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleme esnasında Egzoz gazlarındaki NO<sub>x</sub> emisyonlarını düşürecek ve performansa olumlu etkisi olacak bir katalizör örneği üzerinde durulmuştur. Katalizör oranı motor üzerinden elde edilen devir, yük, gaz kolu konum bilgisine bağımlı olarak belirlenmiştir. Fiziksel sinyalleri okumak ve kontrol edebilmek için 8051 tabanlı bir mikro denetleyici kullanılmıştır. Uygulamadaki bulanık mantık denetleyicisi Matlab ortamında gerçekleştirilmiş ve hazırlanan bir ara yüzle pratik kullanım imkanı sağlanmıştır. Matlab kullanıcı arayüzü ile mikrodenetleyici, RS-232 standardı kullanılarak haberleşmeleri sağlanmıştır.

*Anahtar Kelimeler:* Bulanık Mantık, Gerçek zamanlı motor kontrolü, Sugeno-BM

---

\* Bariş BORU; Tel.: +(90) 264 295 6464, E-mail:barisb@sakarya.edu.tr

## **1 Giriş**

Günümüzde pistonlu motorlar üzerine yapılan çalışma konularından bir tanesi katalizör kullanarak motor çalışma koşullarının değiştirilmesidir. Yakıt maliyetlerinin düşürülmesi veya aynı maliyetle motor performansının artırılması, motordan daha fazla verim elde edilmesi, motorların atık gazları içindeki atmosfere zararlı gazların ortadan kaldırılması veya oranının azaltılması gibi amaçlarla farklı katalizör maddelerle yapılan çalışmalar literatürde yer almaktadır. Bu katalizörler, alkoller, alternatif yakıtlar, sıvılaştırılmış petrol gazı, biodizel, doğal gaz, su, buhar ve hidrojen gibi maddelerdir. Bu maddelerden alkoller, LPG, doğal gaz, hidrojen, ve biyodizel motorlarda genellikle eksik yanma ürünleri olan, HC, CO ve PM miktarını azaltmak için kullanılırken, su ve su karışımı yakıtlar emme manifolduna püskürtme yöntemiyle motorlarda NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için kullanılmaktadır. Kaynaklarda dizel yakıtı ile birlikte su kullanımı durumunda maksimum alev sıcaklığının düştüğü ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında dikkate değer oranda azalmaların meydana geldiği ifade edilmektedir [1-9].

Katalizör çalışmaları yapılırken katalizörün motor üzerindeki etkileri dikkatlice incelenip uygun sonuçlar elde edebilmek için doğru miktarda katalizör uygulamak en önemli noktadır. Aksi takdirde istenilen sonucun elde edilemeyeceği açıktır. Katalizör miktarı belirlenirken dikkate alınması gereken diğer bir önemli nokta ise motor standart değerleridir. Katalizör oranı için sıkıştırma anında silindir bloğu hacmi, devir ve motor emme zamanı çalışma aralığı (açı cinsinden) gibi faktörler sınırlayıcı etkiler olacaktır. Katalizör maddenin motor üzerinde etkileri incelendikten sonra farklı çalışma koşulları için oranların tespit edilmesi gerekmektedir. Örneğin tam gaz - tam yük çalışma durumundaki püskürtme oranı, tam gaz – kısmi yük çalışma durumundaki püskürtme oranları birbirinden farklı olmalıdır.

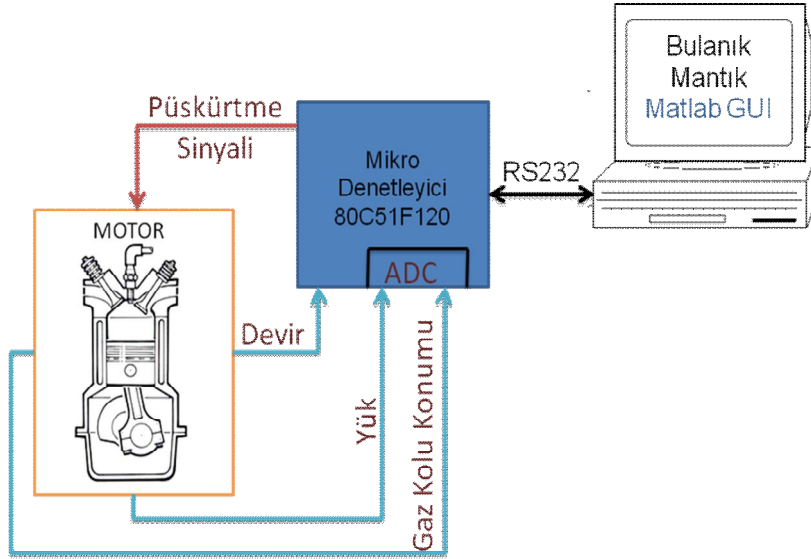
Genellikle katalizör uygulamaları katalizör-yakıt karışımı şeklinde veya emme manifolduna nozulla vakum etkisiyle püskürtülmek yöntemiyle yapılmaktadır. Bu çalışmada ise, diğer çalışmalardan farklı olarak katalizör bir enjektör vasıtasıyla ve tam emme supabı arkasına, emme zamanı içerisinde yakıt tüketiminin belli oranlarında kontrollü olarak yapılmıştır. Katalizör püskürtülmek istenilen zaman aralığı boyunca enjektöre elektriksel olarak aç sinyali; bu zaman aralığı dışında ise kapa sinyali gönderilmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi katalizör miktarı tek bir parametreye lineer olarak bağımlı olmaması püskürtme sinyalinin mekaniksel olarak tespitini mümkün kılmamaktadır. Motorların nonlineer çalışma koşulları ve bu koşulların birden fazla değişkene bağımlılığı nedeniyle motorun giriş-çıkış ilişkisiyle matematiksel modellemesi mümkün olmamaktadır; bu nedenle püskürtme sinyalinin sıradan bir elektronik devre ile kontrolü oldukça güçtür. Bu tarzda bir sistemin bulanık mantık kullanılarak kontrol edilmesi tüm çalışma koşulları için daha olumlu sonuçlar verecektir.

## **2 Kontrol Düzenegi**

Yapılan çalışmada, püskürtme sinyali değerinin anlık olarak kontrolü gerçekleşmesinde elektriksel işaretleri okumak ve kontrol işaretini üretmek için 8051 çekirdeğine sahip 80C51F120 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Püskürtme değerini hesaplayacak bulanık kontrolör bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bulanık kontrolörü içeren bilgisayar ile mikrodenetleyici RS232 seri haberleşme protokolü kullanılarak haberleştirilmiş ve senkronize çalışmaları sağlanmıştır. Kullanıcıya pratik kullanım imkanı sağlamak, çalışma sırasında verileri izleyebilmek ve verileri kayıt altına alabilmek amacı ile bir ara yüz oluşturularak sistemin kumandası bu ara yüz vasıtası ile yapılmıştır. Kontrol düzenegine ait blok diyagram Şekil-1'de görülmektedir.

Kontrol düzeneğinin bir kontrol adımı şu şekilde gerçekleşmektedir:

- giriş değerlerinin mikrodenetleyici ile okunması ardından RS232 ile bilgisayara gönderilmesi,
- bilgisayar tarafından çıkış değerinin hesaplanması ve mikrodenetleyiciye cevabın gönderilmesi,
- mikrodenetleyici tarafından encoder ile okunan açı bilgisine uygun olarak püskürtme sinyalinin oluşturulması.



Şekil 1 Kontrol düzeneğine ait blok diyagram

Uygulamada kullanılan bulanık denetleyici Mathworks Matlab ortamında tasarlanarak eğitilmiştir. Kullanıcı ara yüzü yine Matlab ortamında hazırlanarak oluşturulan bulanık denetleyici ara yüze dahil edilmiştir. Devir bilgisi absolute encoder kullanılarak, yük bilgisi loadcell üzerinden mikrodenetleyici ADC birimi ile, gaz kolu konum bilgisi gaz kolu potansiyometresi vasıtasıyla mikrodenetleyici ADC birimi ile okunmuştur. Mikrodenetleyici programı C programlama dili ile yazılmıştır.

### 3 Bulanık Kontrolör Tasarımı

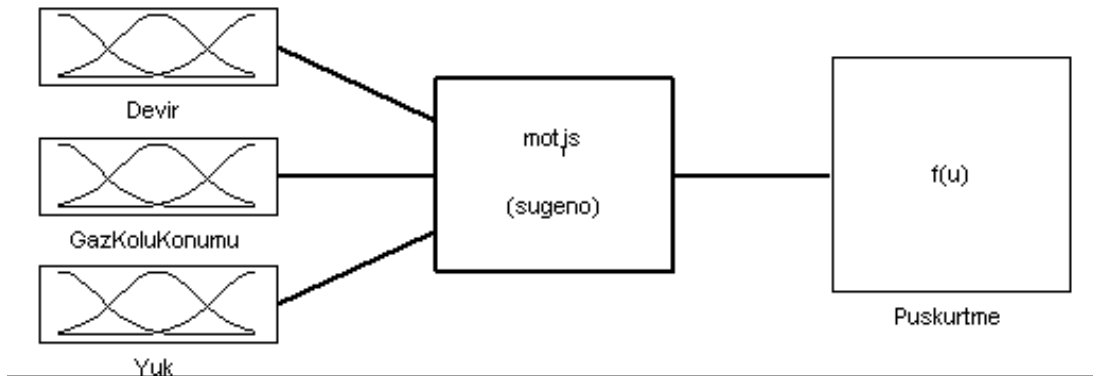
Bu tarz bir sistemde Mamdani bulanık kontrolör kullanıldığında bulanık kuralların belirlenmesi hayli güç olacağından kontrolör olarak Sugeno tipinde bir bulanık mantık denetleyicisi seçilmiş ve kontrolör parametreleri ANFIS'te eğitilmiştir. Eğitim için kullanılacak eğitim seti deneysel yolla motor üzerinden elde edilmiştir. Yapılan örnek çalışmada kullanılan katalizör NO<sub>x</sub> emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır fakat gereğinden fazla bir değerde püskürtme yapıldığında motor performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan teorik hesaplamalarda ve ön çalışmalarda anlık yakıt tüketiminin %10 oranında katalizör püskürtüldüğünde optimum sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple eğitim seti, motor giriş verilerinin çalışma aralığının uç noktalarını ve ara değerleri kapsayacak şekilde sıralı bir biçimde değiştirilmesi ve her adım için anlık yakıt ölçüm cihazı ile yakıt sarfiyatının ölçülmesi ile elde edilmiştir.

Eğitim seti için kullanılan giriş verileri; motor devri, gaz kolu konum bilgisi ve motor çıkış mili üzerindeki yük değeri olarak belirlenmiştir. Seçilen bu üç giriş değeri motorun o andaki çalışma koşullarını algılamak için yeterli olmaktadır. Bilindiği gibi gaz kolu konumu motor üzerinde kullanıcı tarafından motordan istenilen güç değerini elde etmek için yapılan giriştir. Yük değeri motor çalışma anında çıkış miline dinamometre vasıtasıyla uygulanan ters zorlanma kuvvetidir. Devir bilgisi ise gaz kolu konum bilgisine doğru orantılı, yk bilgisine ters orantılı motor çıkış değeridir. Bulanık mantık denetleyicisinde kullanılacak çıkış verisi için eğitim setinde anlık yakıt tkretim miktarının %10'u kullanılmıştır. Yukarıda anlatılanların ışığında bulanık mantık denetleyicisinin devir, gaz kolu konum ve yk verisine karşılık gelen anlık yakıt tkretim değerinin %10'unu takip etmesi beklenmektedir.

Tablo 1 Eğitim seti

Devir	Gaz Kolu	Yük	Pskrt me(mg)	Devir	Gaz Kolu	Yük	Pskrt me(mg)	Devir	Gaz Kolu	Yük	Pskrt me(mg)
800	301	558	35	1600	324	597	65	1579	420	405	35
1000	301	565	40	1800	328	597	75	1592	415	352	30
1200	299	574	50	2000	339	579	80	1604	415	302	25
1400	296	586	55	2090	332	269	30	800	502	515	25
1600	296	592	65	800	372	548	30	900	502	538	30
1800	298	595	80	1000	371	550	40	1000	501	542	35
2000	300	590	95	1200	374	564	45	1100	500	434	25
2200	298	578	100	1400	376	588	60	1190	503	203	10
800	318	554	30	1500	377	459	40	800	577	210	5
1000	318	556	40	1660	378	238	20	900	573	235	10
1200	322	574	45	1568	425	438	57,5	1050	571	197	10
1400	324	592	55								

Tablo-1'de bulanık denetleyici için belirlenen eğitim seti grlmektedir. Eğitim setinde kullanılan gaz kolu konumu ve yk bilgisi mikrodnetleyici ADC birimi tarafından okunan değerleri göstermektedir.

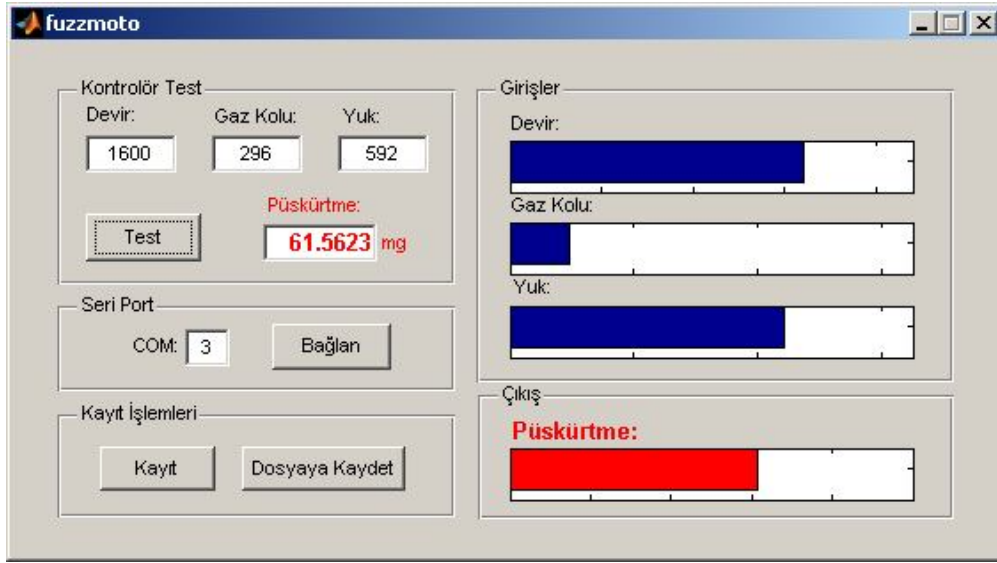


Yukarıda tanımlanan bilgilere göre bulanık denetleyici Matlab ortamında Şekil-1'de görülen yapıda Sugeno bulanık çıkarım metoduyla oluşturulmuştur. Bulanık denetleyicide Devir girişi için üç, Gaz Kolu Konumu girişi için üç, Yük girişi için dört adet üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Oluşturulan bulanık denetleyici ANFIS ile Tablo-1'de görülen eğitim seti ile

eğitilmiştir. Eğitim sonucunda eğitim seti için  $2 \times 10^{-4}$  ortalama mutlak hata ile çalışan bir denetleyici elde edilmiştir. Eğitilen denetleyici eğitim setinin içermediği deneysel veriler için 0,02 ortalama mutlak hata ile çalıştığı tespit edilmiştir. Elde edilen denetleyici puskurtme sinyalini kontrol edebilecek yeterliliğe ve hata oranına sahiptir.

#### 4 Kullanıcı Ara Yüzü

Sistem için tasarlanan ara yüzün temel işlevi bulanık mantık denetleyicisi ile mikrodenetleyiciyi haberleştirmek ve kullanıcıya pratik, görsel bir kullanım imkanı sunmaktır. Bu amaçla tasarlanan kullanıcı ara yüzü Şekil-3'de görölmektedir.



Şekil 3 Sistem için tasarlanan arayüz.

Ara yüz, işlevselliğini ve kullanıcı etkileşimini arttırmak amacı ile giriş ve çıkış değerlerini anlık olarak grafiklere yansıtmaktadır. Bu grafikler, çalışma esnasında her giriş verisi alınması anında ve çıkış değerinin bulunması anında güncellenmektedir. Ara yüzde bulanık denetleyiciyi çıkış değerini sisteme göndermeden test edebilmek amacı ile test bölümü yer almaktadır. Ayrıca, ara yüzün çalışma sırasında bilgileri kayıt özelliği bulunmakta ve bu sayede deney sonrası kullanıcıya verileri değerlendirme imkanı sunmaktadır.

#### 5 Tartışma ve Sonuçlar

Yapılan uygulamada katalizör oranının beklenen niteliklerde bulanık mantık ile başarılı bir Őekilde kontrol edilebildiği görölmektedir. Kontrolör tarafından elde edilen 0,02 hata oranı katalizör oranının kontrolü için yeterli olmakla beraber nispeten yüksek bir değerdir. Bu hata oranının dūřürölmesi için eğitim seti veri sayısının artırılması faydalı olacağı açıktır.

Kontrolör tasarımında da bahsedildiği gibi kullanılan katalizör için yakıt miktarının %10'unu takip etmesi beklenmektedir. Standart verilerin ve eğitim setinin belirlenmesinde egzoz gazı emisyon ölçüm cihazı kullanılması faydalı olacaktır. Eğitim seti elde edilirken devir, gaz kolu konumu ve yük değerleri sabit tutularak katalizör oranı değiştirilerek emisyon değerinin en düşük olduğu nokta tespit edilerek eğitimde kullanılması sistemden en yüksek performansın elde edilmesini sağlayacaktır.

**References** (Referanslar)

1. F. Bedford, C. Rutland, P. Dittrich, A. Raab and F. Wirbeleit, ‘‘ Effects of Direct Water Injection on DI Diesel Engine Combustion’’, SAE paper 2000-01-2938, 2000.
2. J.P. Mello, A.M. Mellor, ‘‘NO<sub>x</sub> emissions from direct injection diesel engines with water/steam dilution’’, SAE paper 1999-01-0836, 1999.
3. M. Christensen, B. Johansson, ‘‘Homogeneous charge compression ignition with water injection’’, SAE paper 1999-01-0182, 1999.
4. K.P. Duffy, A.M. Mellor, ‘‘Further developments on a characteristic time model for NO<sub>x</sub> emissions from diesel engines’’, SAE paper 982460, 1998.
5. M.A. Psota, W.L. Easley, T.H. Fort, A.M. Mellor, ‘‘Water injection effects on NO<sub>x</sub> emissions for engines utilizing diffusion flame combustion’’, SAE Trans. J. Engines 106 (1997) 1835–1843 (SAE 971657, Section 3).
6. S. Kohketsu, K. Mori, K. Sakai, ‘‘Reduction of exhaust emission with new water injection system in a diesel engine’’, SAE paper 960033, 1996.
7. Y. Yoshimoto, M. Tsukahara, T. Kuramoto, ‘‘Improvements of BSFC by reducing diesel engine cooling losses with emulsified fuel’’, SAE paper 962022, 1996.
8. G.E. Andrews, K.D. Bartle, S.W. Pang, A.M. Nurein, ‘‘Diesel/water emulsions: influence on ignition delay and emissions, Proceedings of the International Center for Heat and Mass Transfer’’, Hemisphere Publication Corp., New York, September 1987, pp. 613–625.
9. Samec N, Kegl B, Dibble RW. ‘‘Numerical and experimental study of water/oil emulsified fuel combustion in a Diesel engine’’. Fuel 2002;81: 2035–44
10. Mathworks Matlab yardım dökümanları
11. Silabs 80c51f12x datasheet