

Hibrit Kontrol Ünitesi Tasarımında Giriş ile Çıkışların Belirlenmesi ve Bulanık Mantık Kontrolörün Oluşturulması

Yılmaz Seryar ARIKUŞU¹, Mehmet Kamil KAZAKLI², Sedat İN³, Nevra BAYHAN⁴,

Hasan TİRYAKI*

*.1,2,3,4İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.

¹ Sorumlu Yazar / Corresponding author: hasan.tiryaki@istanbul.edu.tr	Geliş Tarihi / Received Date	15.06.2020
¹ Y. S. ARIKUŞU, orcid.org/0000-0002-0915-5549 ,	Kabul Tarihi / Accepted Date	21.06.2020
² M. K. KAZAKLI, orcid.org/0000-0001-7178-8673 ,	Yayın Tarihi / Published Date	20.07.2020
³ S. İN, orcid.org/0000-0001-7784-9334 ,		
⁴ N. BAYHAN, orcid.org/0000-0002-7497-2377 ,		

Alıntı / Citation :
Arikuşu, Y., S., Kazaklı, M., K., İn, S., Bayhan, N., Tiryaki, H. (2020). Hibrit Kontrol Ünitesi Tasarımında Giriş ile Çıkışların Belirlenmesi ve Bulanık Mantık Kontrolörün Oluşturulması, Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi, 1 (1), 19-24

Determination of Inputs and Outputs in Hybrid Control Unit Design and Designing of Fuzzy Logic Controller

Özet – Bu çalışmada, hibrit bir araç için en önemli kontrol birimlerinden biri olan hibrit kontrol ünitesine ait elektronik kart tasarımından ve hibrit kontrol ünitesine ait denetleyicinin bulanık mantık kontrolörü ile nasıl oluşturulması ele alınmıştır. Yapılan çalışmada kontrol kartının farklı giriş ve çıkış yöntemleriyle (frekans, analog sinyal, dijital sinyal) oluşturulmasından ve bu yöntemler kullanılırken araç içi haberleşme ve sensör bilgisi verecek olan sistemler için nelere dikkat edilmesi gerektiğinin altı çizilmiştir.

Tüm bu çalışmalara paralel olarak, bulanık mantık kontrolörünün oluşturulması, kural tablosunun belirlenmesi ve karar mekanizmasının elde edilmesi çalışmaları da yapılmıştır. Hibrit kontrol ünitesinde hangi motorun hangi koşulda çalışacağına sensörler üzerinden alınan veriler ile bulanık mantık kontrolörü karar verecektir. Hibrit kontrol ünitesi bu doğrultuda oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Hibrit Araçlar, Sensörler, Giriş / Çıkış, Kural Tablosu.

Abstract—In this study, the design of the electronic card of the hybrid control unit, which is one of the most important control units for a hybrid vehicle, and how the control of the hybrid control unit should be created with the fuzzy logic controller is mentioned. In the study, it was underlined that the control card is created with different input and output methods (frequency, analog signal, digital signal, etc.) and what should be considered for the systems that will provide in-vehicle communication and sensor information when using these methods.

In parallel with all these studies, the studies for creating the fuzzy logic controller, determining the rule table and obtaining the decision mechanism has been also carried out. The fuzzy logic controller will decide which engine will operate under which conditions in the hybrid control unit with the data received from the sensors. Hybrid control unit was created in this direction.

Index Terms: Fuzzy Logic, Hybrid Vehicles, Sensors, Inputs / Outputs, Rule Table.

I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

GÜNÜMÜZ teknolojilerinden en önemlilerinden ve gelecekte daha da önemli yere sahip olacak olanlarından birisi, hibrit araç teknolojileridir. Hibrit araçların geliştirilmesi yeni teknolojik gelişimleri tetiklemektedir. Yeni hibrit teknolojilerinin gelişimi ile birlikte ihtiyaç duyulan alt sistem gereksinimleri de

artmıştır. Hibrit araçların daha verimli hale getirilmesi ve hibrit araçların içten yanmalı araçlara kıyasla fark edilebilir avantajlarının olması gerekmektedir. Literatürdeki çalışmalarda hibrit elektrikli araçların verimliliğin artırmak için bulanık mantık kontrol yaklaşımı önerilmiştir[1-4]. Bu çalışmada,içten yanmalı motorlu taşıtlar için yakıt verimliliğini artırıcı ve yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi içinhibrit aracın hibrit kontrol ünitesinin elektronik kartının donanım tasarımı ve hibrit aracın kontrol ünitesi ile ilgili bulanık mantık kontrolörünün oluşturulması önerilmiştir.

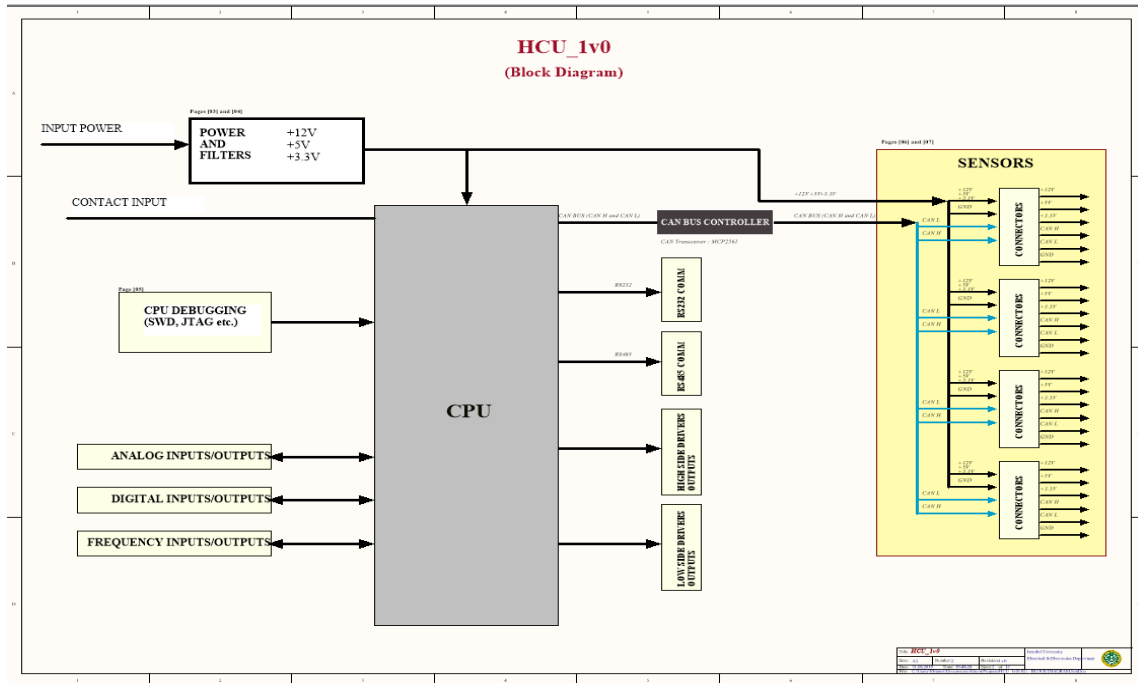
Yapılan çalışmalar ile aracın hangi durumlarda elektrik motorunu hangi durumlarda içten yanmalı motoru kullanacağı belirlenmiş ve yakıt verimliliğinin en yüksek değerde tutulması hedeflenmiştir.

II. HİBRİT KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI [HYBRID CONTROL UNIT DESIGN]

Hibrit kontrol ünitesi (HCU)elektronik kartı, sensörler ve diğer çevre birimler ile sürekli iletişim halinde olan ve aracın çalışma algoritmasını içerisinde barındıran elektronik bir sistemdir. HCU kontrol kart tasarımı ve kontrol yazılımı olmak üzere iki aşamada incelenmiştir.Yapılan bu çalışma ile araca bağlı sensör ve yakıt durumları gözetilir ve aracın hangi motoru/motorları kullanacağı ise oluşturulan bulanık mantık kontrolörü ile gerçekleştirilir.

A. HCU Kontrol KartıTasarımı

HCU için Şekil 1’de verilen blok diyagram oluşturulmuştur. Şekil ‘de HCU sisteminin içinde bulunan sensörler, mikroişlemci ve haberleşme protokollerini içermektedir.



Şekil 1: HCU genel blok diyagramı [5]

Şekil 1’de görülen HCU kartı +12 V ile beslenmektedir. Devrenin girişinde sigorta, NTC, TVS gibi koruma elemanlarının yanı sıra, Common Mode ve Differential Mode EMC filtreleri ve kapasiteler eklenerek +12 V filtrelenmiştir. Aynı zamanda filtreli +12 V olası bir ekstra kullanım amacı ile çıkış pinlerine bağlanmıştır. Kontak bilgisini sağlama amacıyla mikro denetleyici ye +3 V bilgisini sağlayacak bir devre tasarlanmıştır. Mikrodenetleyiciye +3 V’un üzerinde bir

voltaj gitmemesi için zener diyotlar ile koruma yapısı oluşturulmuştur. +12 V girişler +5 V ve +3 V olmak üzere iki ayrı gerilim seviyesine dönüştürülmüştür. Böylelikle mikroişlemci ve diğer çevre birimlere ait enerji ihtiyaçları karşılanmıştır.

Bu çalışmada mikroişlemci olarak STM32F4087VG kullanılmıştır. Araç içi haberleşme ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla CAN-Bus protokolü kullanılmış ve diğer elektronik sistemlerle veri akışı bu portlar

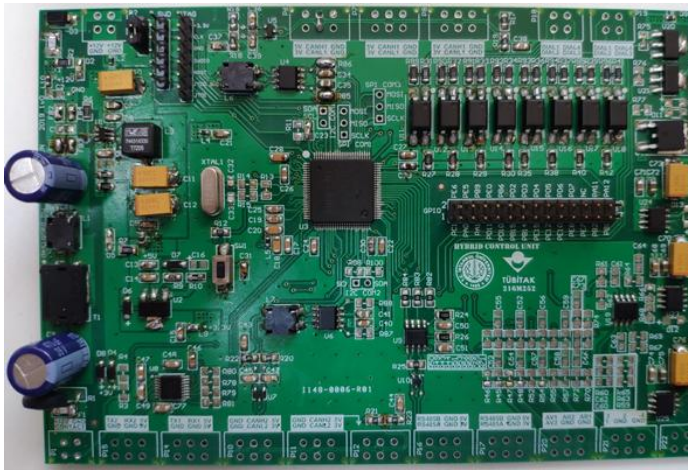
üzerinden gerçekleştirilmiştir [6-7]. CAN-Bus yapısının yanı sıra RS-232 ve RS-485 haberleşme entegreleri kullanılmış ve araç içi iletişimin yanı sıra dış dünya bağlantısı için HCU'ya ait haberleşme portları oluşturulmuştur.

Dijital girişler, girişe +3 V uygulandığında işlemciye +3 V gidecek ve 0 V gidecek şekilde iki ayrı yapı olarak tasarlanmıştır. Analog girişler, araç içi sistemlerin +12 V ile çalışması gözetildiğinden iki ayrı yapı olarak tasarlanmıştır. Bu iki ayrı yapının amacı kart tasarımında bulunan hem +3 V analog çıkış veren hemde +12 V çıkış veren sensörlerin takibini yapabilmektir.

Frekans girişleri, Multiple Feedback, Bandpass Filter ve Low-Pass girişlerinden oluşmaktadır.

Devrede Low-Side çıkışlar ve High-Side çıkışlar olmak üzere 2 çeşit çıkış bulunmaktadır [8]. Mikrodenetleyici üzerinden PWM (sinyal genişlik modülü) alınarak +24 V gerilime uygun entegreler sürülebilir, böylelikle araç içerisinde +24 V ile beslenen herhangi bir yük Low-Side olarak sürülebilmektedir. Diğer çıkışlar ise High-Side çıkışlardır. Fakat bunlar maksimum +12 V ile kullanılabilir. Araç içerisinde +12 V ile beslenen herhangi bir yük High-Side çıkışlar ile kontrol edilebilir.

Tüm bu tasarımların doğrultusunda oluşturulan HCU kontrol kartı Şekil 2' de paylaşılmıştır.



Şekil 2: HCU kontrol kartı

B. HCU Kartı Bulanık Mantık Kontrolörü

Hibrit elektronik kontrol ünitesi, olası tüm koşulları göz önünde bulunduran ve alınan sensör bilgileri ile tüm olası koşullar için hangi motorun çalışması gerektiğini belirleyen kontrol sistemidir. Karar verme algoritması olarak "Bulanık Mantık" seçilmiştir. Bulanık mantık algoritmasının kullanılma sebebi çoklu girişlere karşılık,

önceden belirlenen kurallara göre, sistemin nasıl bir cevap vereceğini gösteren kontrol yaklaşımıdır.

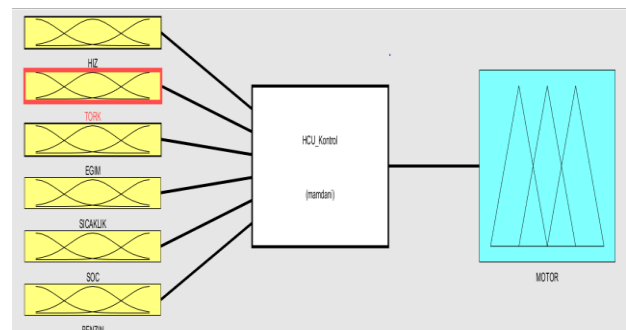
Kontrolörü oluştururken MATLAB [9] yazılımı kullanılmıştır. MATLAB içerisinde bulunan Fuzzy Logic Toolbox kütüphanesi kullanılarak bulanık mantık kontrolörü çalışmaları yapılmıştır. Duruma bağlı değişkenlerden gelen veriler kart üzerinden toplandıktan sonra bulanık mantık kontrolöründen geçerek çıkışta hangi motorun çalışması gerektiğine karar vermektedir.

Literatürdeki çalışmalara göre, enerji verimliliğini en aza indirmek için hibrid elektrikli araçların kontrolünde kullanılan bulanık mantık kontrolcüsünün giriş değerleri; genellikle kritik batarya şarj durumu, sürüş çevrimi ve hız olarak seçilmektedir. Elde edilen sonuçlar neticesinde içten yanmalı motorun ve elektrikli motorun verimleri elde edilmekte olup, egzoz emisyonu ve yakıt tüketimi değerlerinin de elde edildiği gösterilmektedir.

Kontrolör,kartta bulunan sensörlerden ve diğer birimlerden gelecek veriler girdi olarak alınmıştır. Bu değişkenler;

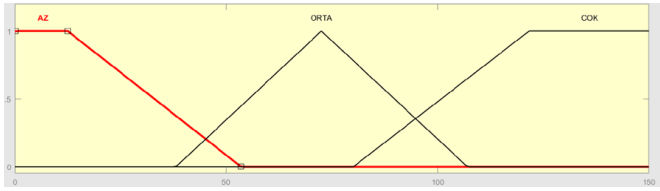
- Hız (İçten Yanmalı / Elektrikli Motor)
 - Tork
 - Eğim
 - Sıcaklık
 - Batarya Şarj Durumu
 - Akaryakıt Durumu
- olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada, hibrit kontrol ünitesi Matlab Fuzzy Logic Toolbox [9] yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Elektronik kontrol ünitesinin giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının genel yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir.



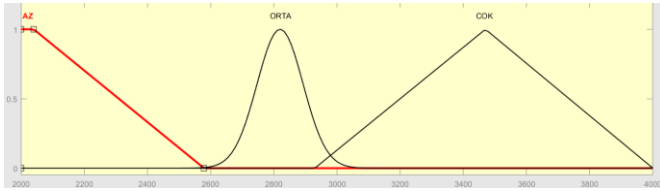
Şekil 3. Elektronik Kontrol Ünitesinin Genel Yapısı

Araç içerisinde içten yanmalı motor ve elektrik motoru aynı şafta bağlıdır. Bu nedenle hız verisi için tek bir hız göstergesi vardır. Hız verileri 0-150 km / saat arasında seçilmiş olup Şekil 4'de değerler gösterilmiştir.



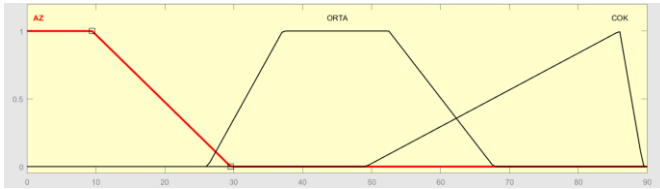
Şekil 4: Hız veri girişi üyelik fonksiyonları

Tork verisi aracın yük durumuna göre 2000-4000 Nmarasında seçilmiş olup Şekil 5’de gösterilmiştir.



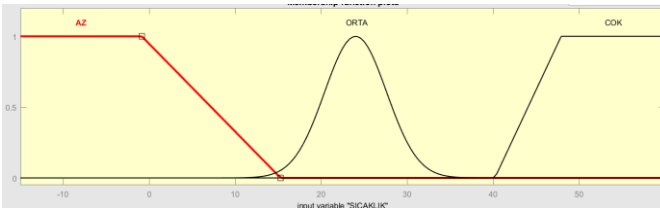
Şekil 5: Tork veri girişi üyelik fonksiyonları

Eğim yüzdelik olarak 0 ile 90 arasında seçilmiştir. %90’lık eğim (40.5°) tekabül etmektedir. Şehir içinde %90’lık eğim yüzdesi maksimum olarak kabul edilmiştir. Eğim girişleri Şekil 6’da verilmiştir.



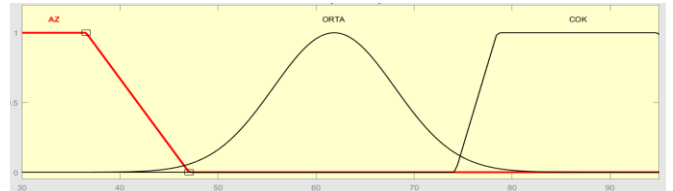
Şekil 6: Eğim veri girişi üyelik fonksiyonları

Sıcaklık verisi bataryayı korumak için sisteme eklenmiştir. Batarya -20 °C ile 60 °C derece arasında çalışabilmektedir. Bataryanın zarar görmemesi için kullanılan dilsel ifadeler Şekil 7’de gösterilmiştir.



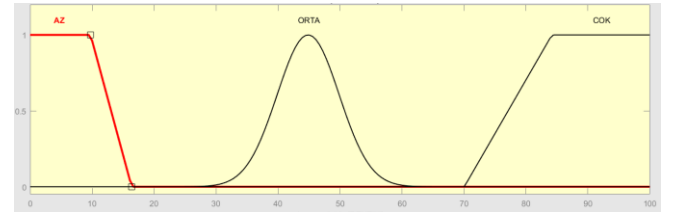
Şekil 7: Sıcaklık veri girişi üyelik fonksiyonları

Batarya Şarj Durumu (State of Charge-SOC) yüzdelik olarak seçilmiş olmakla birlikte, bataryanın kısıtları %30 ile %95 arasında seçilmiştir. Bataryanın kritik durumu %30’un altına düşmemelidir. Aksi takdirde batarya hücreleri zarar görmektedir. Batarya verileri Şekil 8’de gösterilmiştir.



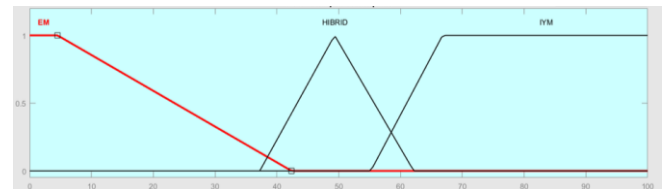
Şekil8: SOC veri girişi üyelik fonksiyonları

Akaryakıt durumu yüzdelik olarak seçilerek 0-100 arasında değerlendirilmiş olup veri girişi Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil9: Akaryakıt veri girişi üyelik fonksiyonları

Kurallar oluşturulurken, değişkenlerin alt-üst sınırlarına göre aralıklar belirlenmiştir. Her değişken için az, orta, çok şeklinde dilsel değişkenlere sahip üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Verilerin özelliklerine göre bu üyelik fonksiyonlarının sadece çeşitleri (trimf, trapmf, gaussmf vb) değişmektedir. Bu aralıklarda değerler alındığında HCU karar verme mekanizmasının nasıl davranması gerektiği (aracın hangi motor ile sürüleceği) çıkış olarak seçilerek Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 10: Motor seçimi çıkışı üyelik fonksiyonları

Verimlilik açısından elektrikli motorun daha çok çalıştırılmasına yönelik bir kural tablosu oluşturulmuştur. Hibrit motor seçeneğinin (hem elektrikli motor hem de içten yanmalı motorun birlikte çalışması durumu) gücün en çok gerektiği zamanda kullanılması planlanmaktadır. Örneğin ideal sıcaklıkta torkun ve eğimin yüksek olduğu zamanda hibrit motor seçeneğinin devreye girmesi uygun bulunmuştur. HCU bulanık mantık kontrolörünün motor seçimine nasıl karar vermesi gerektiğini belirleyen kural tablosu Tablo 1 ile gösterilmiştir.

TABLO 1. Kural Tablosu

	HIZ	TORK	EĞİM	SICAKLIK	BATARYA	AKARYAKIT	MOTOR SEÇİMİ
1.			ÇOK				İYM
2.			AZ				EM
3.				ÇOK			İYM
4.				AZ			İYM
5.	ÇOK						İYM
6.	AZ						EM
7.		ÇOK					İYM
8.		AZ					EM
9.					ÇOK		EM
10.					AZ		İYM
11.						AZ	EM
12.		ÇOK	AZ				EM
13.		AZ	ÇOK				HİBRİT
14.			ÇOK		ÇOK		HİBRİT
15.			AZ		AZ		İYM
16.				ÇOK	ÇOK		İYM
17.				AZ	ÇOK		İYM
18.	ÇOK				ÇOK		İYM
19.	AZ				ÇOK		İYM
20.			ÇOK			AZ	İYM
21.	AZ	ÇOK					EM
22.	AZ			ÇOK			İYM
23.	AZ			AZ			İYM
24.	AZ				AZ		İYM
25.	AZ					ÇOK	EM
26.	ÇOK		AZ		AZ		İYM
27.	AZ			ORTA	ÇOK		EM
28.	ÇOK	ÇOK	ORTA	ORTA	ORTA	ÇOK	EM
29.	AZ	AZ	ORTA	ORTA	ORTA	AZ	EM
30.	ORTA	ÇOK	ORTA	ORTA	ÇOK	ÇOK	EM
31.	AZ	AZ	AZ		ORTA	AZ	EM
32.	ORTA				ÇOK	ÇOK	EM
33.	ORTA				ÇOK	ORTA	EM
34.	ORTA	ORTA	ÇOK		ÇOK		İYM
35.	ÇOK	ÇOK	ÇOK	ÇOK	ORTA	ÇOK	İYM
36.	ÇOK	ÇOK	ORTA	ORTA	ÇOK	AZ	EM
37.	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA	EM
38.	ÇOK	ÇOK	ÇOK	ÇOK	ÇOK	ÇOK	İYM
39.	AZ	AZ	AZ	AZ	AZ	AZ	İYM
40.		ÇOK	ÇOK	ORTA	ÇOK		HİBRİT
41.		ÇOK	ÇOK	ÇOK	ÇOK		İYM
42.	AZ		ÇOK	AZ	ÇOK		İYM
43.	ÇOK		ÇOK				HİBRİT

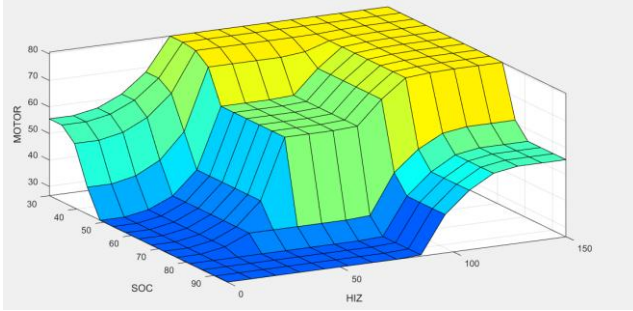
Tablo 1’de bulanık mantık kontrolörünün baz aldığı kural tablosu verilmiştir. 6 değişkenli ve her bir değişken için 3 seçenekli bir sistemde olası 729 sonuç bulunmaktadır. Sistemi eğitmek ve aralıklar arası geçişi kontrolöre yaptırmak için sadece 43 özel kural yazılmıştır. Bu kurallar yazılırken belirli durumlarda nasıl davranılması gerektiğini göstermek yerine karşılaşılan durumlar karşısında seçenek üretilmesi hedeflenmiştir. Kontrolör, ilk kalkışta ve şehir içi normal kullanımda elektrikli motor tercih etmekte olup performans gerektiren durumlarda ise içten yanmalı motorun tercih edilmesi ve ani performans gerekliliğinde hibrit motor seçeneğinin tercih edilmesi üzerine tasarlanmıştır.

Kurallar seçilirken ise ilk olarak hangi durumlarda hangi motorun çalışması gerektiğinin sonuçları sektör uzmanlarının tecrübelerine göre belirlenmiştir. Sonrasında bu değişkenler içerisinde ikili olarak birbirlerinin aksi sonuç veren durumlar değerlendirilmiştir. Bu esnada bazı durumların sonuçlar üzerinde gerektiğinden fazla etki ürettiği anlaşılmıştır (örneğin benzinin çok olması durumu aracın İYM çalıştırmaya daha yatkın olmasını sağlamaktadır). Dağılımı bozan bu kuralları kaldırıp gerekli olduğu yerlerde bir veya ikiden daha fazla seçenekli kurallar kullanılmıştır.

Kural tablosu oluşturulduktan sonra farklı değerler vererek sistemin nasıl davrandığı anlaşılmasına çalışılmıştır. Yapılan testler sonucunda “Hangi çıktıyı vermeye daha yatkın?” ve “Gerekli kritik noktalarda doğru çıktıları verebiliyor mu?” soruları esasında kural tablosunda ve değer aralıklarında düzenlemeye gidilmiştir. Kural tablosunda hibrit motor seçeneğine daha az yer verilmiştir. Bunun nedeni sonuç grafiğinde hibridin orta seçenekte kalması ve diğer iki motora göre daha az kullanılmasıdır. Böylece kontrolörün değişken parametre koşullarına göre karar vermesi ve geçişlerin daha yumuşak olması sağlanmıştır.

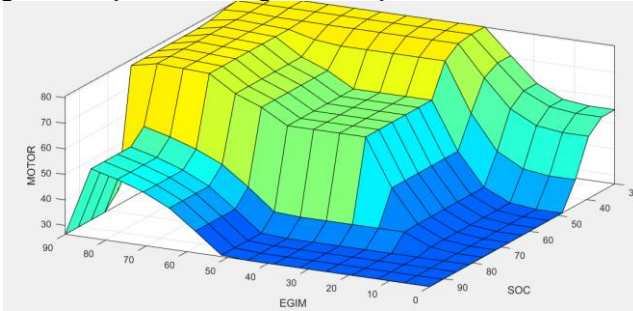
Gerekli düzenlemeler yapıldıkça ve denemeler arttıkça hangi kuralların hangi sonuçlar üzerinde daha çok etkisi olduğu anlaşılmıştır. Bu durumlar karşısında ya kuralda ya da girdi grafiğindeki değerlerde değişime gidilerek bu etki diğer kurallara da dağıtılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar sırasında kural sayısında artma ve azalmalar gözlenmiştir. Kural tabanı ve bulanık mantık kontrolörünün oluşturulmasından sonra belirli değerler kapsamında durumları değerlendirilerek sonuçların güvenilirliği değerlendirilmiştir.

Tablo 1’de verilen belirli aralıklardaki değerler ile denemeler yapılarak bu sonuçlar karşısında eğilimler belirlenmiştir. Bu sonuçlarda içten yanmalı motora geçişte zorlanıldığı fark edilerek bunun sebepleri arasında sistemin artık hibrit motor seçeneğini geçiş formu olarak kullanamaması ve aracı mümkün olduğunca elektrikli motor ile kontrol etmeye çalışması olarak saptanmıştır. Sonuç ve giriş grafiklerindeki ayarlamalar ile bu geçişlerin daha sağlıklı yapılması sağlanmıştır. Batarya ve hız değerlerine göre hibrit kontrol ünitesinin hangi motoru çalıştıracağına karar veren sonuç dağılımları Şekil 11’de gösterilmiştir.



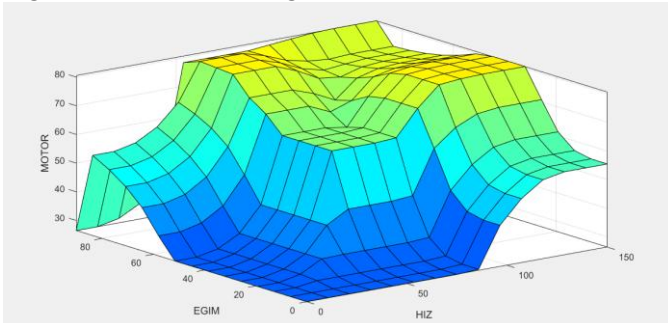
Şekil 11: Hız ve Batarya verilerine göre motor seçilimi

Eğim ve batarya değerlerine göre hibrit kontrol ünitesinin hangi motorun çalışacağını gösteren sonuç dağılımları Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil12: Eğim ve Batarya verilerine göre motor seçilimi

Eğim ve hız değerlerine göre hibrit kontrol ünitesinin hangi motorun çalışacağına karar veren sonuç dağılımları Şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil13: Eğim ve Batarya verilerine göre motor seçilimi

III. SONUÇ [CONCLUSION]

Bu çalışmada hibrit araçlar için hibrit kontrol ünitesinin tasarımı ve kontrol yapısı sunulmuştur. HCU hangi motorun hangi koşulda çalışacağına sensörler üzerinden alınan veriler ile karar vermesi planlanmıştır. Karar verme işlemi bulanık mantık kontrolörü ile sağlanmıştır. Bu çalışmada verilen kural tablosuyla hibrit araçta bulunan ve birbirleriyle senkronize olan motor yapısı oluşturularak karbondioksit emisyonunu en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Elektrik motorunun çalışma alanı hibrit kontrol ünitesinin kural tablosunda artırılarak daha çok verim elde edilmesi simülasyon ortamında elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra kontrolörün C dili ile programlanması çalışmalarına başlanacak ve bulanık mantık kontrolör yapısı sayesinde HCU, C dili ile programlanabilecektir.

TEŞEKKÜR [ACKNOWLEDGMENT]

Bu çalışma TÜBİTAK ARDEB Mühendislik Araştırma Grubu tarafından 216M252 numaralı 1003 projesiyle desteklenmiştir.

Ayrıca bu çalışma İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 33416

KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1] Jalil, N., Kheir, N. A., Salman, M., “A rule-based energy management strategy for a series hybrid vehicle”, Proceedings of the American Control Conference Albuquerque, New Mexico, 689-693, 1997
- [2] Schouten, N. J., Salman, M. A., Kheir, N.A., “Fuzzy logic control for parallel hybrid vehicles”, Vol. 10, No. 3, 460-468, 2002
- [3] Schouten, N. J., Salman, M. A., Kheir, N.A, “Energy management strategies for paralel hybrid vehicle using fuzzy logic”, Control EngineERING PRACTICE, VOL.11, 171-177, 2003.
- [4] Kheir, N. A., Salman, M. A., Schouten, N. J., “Emissions and fuel economy trade-off for hybrid vehicles using fuzzy logic”, Mathematics and Computers in Simulation Vol. 66, 155-172. 2004,
- [5] Altium Designer, Reference Manual, 2020
- [6] E. Dinçer, CAN BUS ile Dağıtık Kontrol Uygulaması, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yük. Lisans Tezi, Şub 2010, s.2
- [7] M. ÖZTÜRK, Hidrojen Hibrit Otobüslerde CAN BUS Sistemleri ve Uygulamaları, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2010, s.56
- [8] Digikey, Digi-Key’s North AmericanEditors, [https://www.digikey.com/en/articles/smart-high-side-drivers-help-meet-tough-new-automotive-standards\(SGT: 19.04.2019\)](https://www.digikey.com/en/articles/smart-high-side-drivers-help-meet-tough-new-automotive-standards(SGT: 19.04.2019))
- [9] MATLAB, Reference Manual, 2019b