



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2007, Volume: 2, Number: 4
Article Number: A0035

NATURAL AND APPLIED SCIENCES

ELECTRIC ENGINEERING

Received: February 2007

Accepted: October 2007

© 2007 www.newwsa.com

O.Ayhan Erdem

University of Gazi

ayerdem@gazi.edu.tr

Ankara-Turkiye

**KAVŞAK TRAFİK SİNYALİZASYON SİSTEMİ İÇİN BULANIK MANTIK TABANLI
GERÇEK ZAMANLI DENETLEYİCİ TASARIMI VE UYGULAMASI**

ÖZET

Bu çalışmada, bulanık mantık denetleyici kullanarak bir kavşak trafik sinyalizasyon sisteminin prototipi yazılım ve donanım olarak gerçekleştirilmiştir. Yazılım kısmı için C++ programlama dili kullanılmıştır. Gerçekleştirilen prototip klasik kavşak sistemlerinin modellenmesi ve verimlilik testlerinde de kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır. Bu sistemde bir model kavşağa uygulanmıştır. Uygulama sonucunda hem klasik denetleyici, hem de bulanık mantık denetleyici performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçta; bulanık mantık denetleyicinin kavşaklardaki trafik sinyalizasyon sisteminin denetiminde klasik sistemden daha etkin olduğu görülmüştür. Bu sistem ilköğretim öğrencilerine yönelik trafik eğitim seti olarak kullanılabilir bir prototiptir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık Denetim, Kavşak Trafik Denetimi, Trafik Sinyalizasyonu, Eğitim Seti

**FUZZY LOGIC BASED REAL-TIME CONTROLLER DESIGN AND APPLICATION FOR
INTERSECTION TRAFFIC SIGNALIZATION SYSTEM**

ABSTRACT

In this study, an intersection traffic signalization systems prototype which has software and hardware was implemented by using a fuzzy logic controller. The system was realized to include both software and hardware parts. Software part was written by using C++ programming language. The system can also be used to model and to test the efficiency of the classical intersection system. It was applied on a model intersection. The performance results obtained using both classical and fuzzy logic controller was compared. As a result, fuzzy logic controller that used intersection traffic signalization has provided better performance than classical methods. This system is a prototype that can be used as a traffic education set for elementary school students.

Keywords: Fuzzy Logic Control, Intersection Traffic Control, Traffic Signalization, Education Set



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde üç tip geleneksel trafik denetimi vardır. Bu denetimlerin ilkinde, trafik lambalarının yanıp sönmeye sabit zaman aralıklarında olmaktadır. İkincisinde günün belirli saatlerinde değişen ve daha önceden alınan sayısal bilgilere dayanan trafik yoğunluğuna göre yapılan sabit zaman aralıkları ayarlamasıdır [1, 2, 3 ve 4]. Diğer bir trafik denetimi de bir memur aracılığı ile yapılacak trafik denetimidir. Bunlara alternatif bir trafik denetimi ise çalışmanın konusunu teşkil eden yaklaşım algılayıcıları aracılığı ile taşıtların sayılarak, her an değişecek trafik yoğunluğuna göre trafik ışıklarının yanıp sönmeye sürelerinin ayarlanmasının, bulanık mantık denetleyici ile yapılabileceği bir denetim işlemidir.

Bu yöntem ile trafik ışıklarına yaklaşan araçlar algılayıcılar vasıtasıyla sayılır. Araç sayısı azaldığında veya arttığında bulanık denetleyici duruma göre sinyal lambalarının yanıp sönmeye sürelerini değiştirir. Denetim sonucunda kırmızı ışıkta bekleyen araç sayısı ne kadar az, yeşil ışıkta geçen araç sayısı ne kadar çok olursa o kadar iyi bir denetim olacaktır. Burada karar verme mekanizmasının geleneksel mantık kavramı ile düzenlenmesi oldukça zordur [5]. Bulanık mantık kullanarak daha kolay ve etkili bir karar mekanizması oluşturulacaktır.

2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICATION)

Bu çalışma, önceden belirlenemeyen araç sıkışmalarının yaşandığı kavşaklarda gerçek zamanlı olarak trafiğin denetlenmesi bakımından önemli bir ihtiyacın giderilmesine yöneliktir. Aynı zamanda klasik sistemlerin modelleme ve verimlilik testlerini de yapabilmektedir. Öte yandan, donanım ve yazılımda yapılabilecek düzenlemelerle sistem, ilköğretim okulları için eğitim setine dönüştürülebilecek bir yapıya tasarlanmıştır. Bu özelliğinden dolayı gerekli düzenlemeler yapılarak gerçek trafik ortamına götürülmesi tehlikeli olan ilköğretim çağındaki çocukların ilk trafik eğitimi derslerinde yardımcı eğitim aracı olarak kullanılmalıdır. Ülkelerin teknolojik ve bilimsel açıdan kalkınmasının ancak eğitimle olduğu düşünüldüğünde yapılan çalışma daha da önem kazanmaktadır. Bu açılarından bakıldığında bilime ve ülke ekonomisine katkıda bulunabileceğini göstermektedir.

3. BULANIK MANTIK KAVRAMI VE TRAFİK DENETİMİNE UYGULAMASI (THE FUZZY LOGIC CONCEPT AND APPLICATION IN THE TRAFFIC CONTROL)

Bulanık mantık her gün kullandığımız ve davranışları sözel ifadeler ile yorumladığımız yapıya ulaşmamızı sağlayan matematiksel bir disiplindir. Burada, yine klasik mantıkta olduğu gibi (1) ve (0) değerleri vardır. Ancak, bulanık mantık yalnızca bu değerlerle yetinmeyip bunların ara değerlerini de kullanır. Örneğin; uzaklıkla ilgili bir problemde mesafenin yalnızca yakın ya da uzak olduğunu belirtmekle kalmayıp ne kadar yakın ya da ne kadar uzak olduğunu da belirtir. Klasik mantık sistemindeki var (1), yok (0) gibi değerler, belirsiz kesin olmayan ya da karmaşık bir problemin çözümünde etkili değildir [6 ve 7]. Bulanık denetim sistemlerinin dayandığı temel nokta, uzman bir sistem operatörünün bilgi, deneyim, sezgi ve denetim stratejisini, denetleyici tasarımında bilgi tabanı olarak oluşturmaktır. Denetim işlemleri, karmaşık ve klasik denetim algoritmalarıyla değil de bilgi ve deneyime dayanan sözel kurallarla gerçekleştirilir [8, 9 ve 10].



3.1. Bulanık Denetimdeki Kavramlar (The Concept of the Fuzzy Control)

Bilgi tabanlı bulanık denetim sistemleri bilgisayarların doğruluğu ve hızları ile insanların karar verme ve sonuç çıkarma özelliklerinin bir arada kullanılmasıyla elde edilen sistemlerdir [11 ve 12]. Bulanık denetleyici tasarımında ilk olarak denetlenecek sistemin giriş ve çıkış değişkenleri belirlenir. Bu değişkenler bulanık kümeler şeklinde tanımlanır. Sistemin bütün olası durumları için denetim tabanı oluşturulur. Giriş değişkenlerine göre bulanık denetim çıkışı elde edebilmek için denetim değerlendirme algoritmaları belirlenir. Elde edilen bulanık denetim çıkışı sayısal değere çevrilerek sisteme uygulanır [13]. Bu tanımlamayı açıklarsak; bulanık denetimin temelinde hedeflenen amaç sebep-sonuç ilişkisinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ve yöntem uygulama durumuyla denetim kurallarının tanımlanmasıdır [14]. Bulanık mantıkta tanımlanan yöntemler üç temel kavram üzerine kurulur. Bunlar;

- Bulanıklaştırma,
- Çıkarım Ünitesi ve
- Durulaştırmadır.

3.2. Bulanık Mantık Denetimin Kavşak Trafik Sinyal Sistemine Uygulanması (The Application of Fuzzy Logic Control in the Traffic Signalization System)

Bu çalışmada, yeşil ışıkta geçen ve kırmızı ışıkta bekleyen araç yoğunluğu için, sıfır yoğunluk, düşük yoğunluk, orta yoğunluk, yüksek yoğunluk gibi kümeler kullanılmıştır. Yeşil ve kırmızı ışıklar için bulanık küme elemanları farklı olarak alınmıştır. Çünkü; yeşil ışıkta geçen ve hareket halinde olan araçlar ile kırmızı ışıkta bekleyen araçlar arasındaki mesafe aynı olamamaktadır. Bu nedenle çalışmamızda örnek olarak seçilen 50 metrelik mesafe içerisinde farklı sayıda araç yoğunlukları olacaktır. Buna göre, sıfır yoğunluk (SY) kümesi 0,1 araç, düşük yoğunluk (DY) kümesi 0, 1, 2, 3 araç, orta yoğunluk (OY) 2, 3, 4 araç, yüksek yoğunluk (YY) 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 araç olarak seçilmiştir. İlgili kümelere eleman olma notasyonları değişik derecelerde olmaktadır. Kırmızı ışık için, aynı isimli kümeler farklı araç miktarından oluşmaktadır. Şöyleki; SY kümesi 0,1 araç, DY kümesi 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 araç, OY 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 araç iken, YY 7, 8, 9, 10, 11, 12 araç şeklindedir. Üçüncü giriş değeri olan zaman için kümeler ise kısa zaman (KZ) 30-60 s, orta zaman (OZ) 30-60-90 s, uzun zaman (UZ) 60-90 s olarak isimlendirilmiştir. Benzer şekilde çıkıştaki değişim için, hayır (H) 0, 0.2, belki hayır (BH) 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, olabilir (O) 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, belki evet (BE) 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, evet (E) ise 0.8, 0.9, 1.0 değerleri üyelik değerlerini oluşturmaktadır.

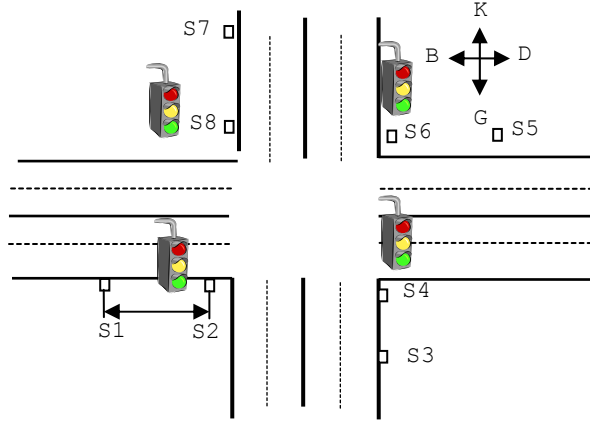
4. GELİŞTİRİLEN YAZILIM VE DONANIM (THE SOFTWARE AND HARDWARE WHICH WERE DEVELOPED)

Bulanık mantık denetiminin kavşak trafik sinyalizasyonuna uygulanmasını sağlayacak program C++ derleyicisi ile nesneye yönelik programlama teknikleri kullanılarak yazılmıştır. C++ dili, yapısal olması ve programa ilaveler yapılabilmesine izin vermesinden dolayı tercih edilmiştir.

Denetim işlemleri, karmaşık ve geleneksel denetim algoritmalarıyla değil de bilgi ve deneyime dayanan sözel bulanık terimleri içeren komut kümeleri ile temsil edilmiştir. Bu komut kümeleri, "eğer-ohalde" kuralları yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

4.1. Tasarım (The Designing)

Kavşağın uygun yerlerine, trafik ışıklarının konumlarına uygun olacak şekilde 8 adet Infrared alıcı ve vericiden oluşan algılayıcılar, birbirleriyle 50 metre mesafede trafik ışıklarından itibaren yol istikametinde Şekil 1'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Şekilde tek numara ile gösterilen algılayıcılar kavşağa gelen araçları, çift numaralı olanlar ise kavşaktan ayrılacak araç miktarını saymaktadır. Trafik lambalarından bir yönde geçen araç sayısı iki algılayıcının okuduğu miktarın farkı ile belirlenmektedir. Örnek olarak, Batı-Doğu istikametinden akan taşıt miktarı Eşitlik 1'de verildiği gibidir.



Şekil 1. İki şeritli dört yönlü kavşak
(Figure 1. The two lined junction that is with four direction)

$$T_m = S1 - S2 \quad (1)$$

Eşitlikte;

T_m : Bir yöndeki taşıt miktarını,

$S1$: Sensör 1'in saydığı kavşağa gelen araçların miktarını,

$S2$: Sensör 2'nin saydığı kavşağı terk eden araçların miktarını göstermektedir.

Maksimum trafik yoğunlukları tespit edildikten sonra bulanıklaştırma, çıkarım işlemleri; veri tabanı ile kural tabanı ve durulaştırma işlemleri kullanılarak basamaklar halinde yapılmıştır.

1. Adım: Tasarımda ilk önce sistemin girişleri ve çıkışları belirlenmiştir. Bunlar bulanık mantık temelli tasarım için giriş büyüklükleri olacaktır (Örnek: Batı-Doğu istikametindeki lambalar kırmızı yanarken, Kuzey-Güney istikametindeki lambalar ise yeşil yanacaktır). Diğer zaman aralığında ise tersi olacaktır.

Giriş büyüklükleri;

A) Kırmızı ışıkta bekleyen araç sayısı,

B) Yeşil ışıkta geçecek araç sayısı,

C) Işıkların yanıp-sönme zamanı olarak belirlenmiştir.

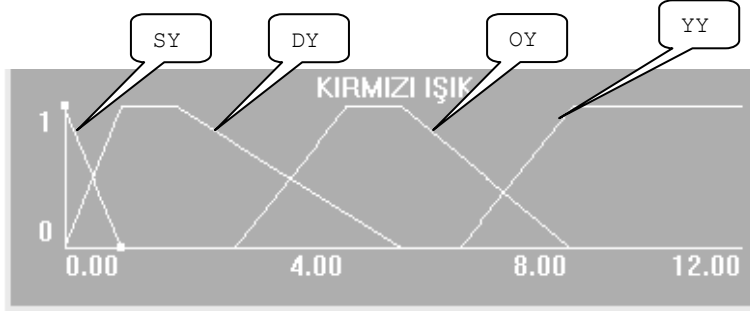
Sistemin çıkış büyüklüğü ise;

Işıkların yanıp-sönme zamanının değişim oranı olarak seçilmiştir.

Giriş ve çıkış değerlerine göre sözel değişkenler (üyelik fonksiyonları) üretilmiştir. Örnek olarak; çalışmada üyelik dereceleri 4 elemanlı olarak oluşturulmuştur. Bu üyelik fonksiyonlarının her biri için uygun grafikler çizilmiştir. Bu grafiklerin çizilmesinde herhangi bir matematiksel kuraldan çok uzman bir kimsenin bilgi ve tecrübelerinden faydalanılmıştır [15]. Bu bilgiler "Unfuzzy" isimli bir program kullanılarak, sistemin üyelik fonksiyonlarına ait grafikler elde edilmiştir [16].

4.2. Giriş/Çıkış Üyelik Fonksiyonları (Input/Output Membership Functions)

Sistemin giriş büyüklüğü olan kırmızı ışıkta bekleyen araç yoğunluğuna ait üyelik fonksiyonunu gösteren grafik Şekil 2'de, yeşil ışıkta geçen araç yoğunluğuna ait grafik Şekil 3'de, zaman dönüşümünün üyelik fonksiyonlarını gösteren grafik ise Şekil 4'de, sistemin çıkış büyüklüğü olan çıkış-değişimine ait grafik ise Şekil 5'de verilmiştir.



SY=Sıfır Yoğunluk
DY=Düşük Yoğunluk
OY=Orta Yoğunluk
YY=Yüksek Yoğunluk

Şekil 2. Kırmızı ışık araç yoğunluğu için üyelik fonksiyonu
(Figure 2. The membership function for the red lamp car density)

Kırmızı ışık araç yoğunluğu için üyelik fonksiyonlarını gösteren Şekil 2'de Sıfır Yoğunluk (SY) 0, 1 araç, Düşük Yoğunluk (DY) 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 araç, Orta Yoğunluk (OY) 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 araç, Yüksek Yoğunluk (YY) 7, 8, 9, 10, 11, 12 araç şeklindedir.

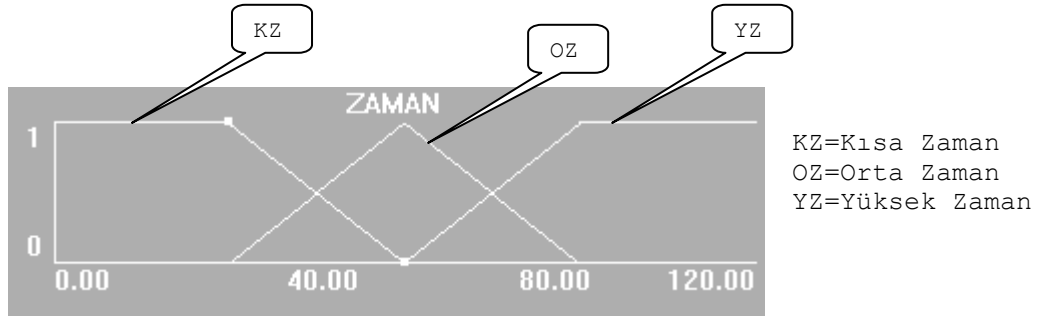
Yeşil araç yoğunluğu için üyelik fonksiyonlarını gösteren Şekil 3'de, aynı adlı kümeler SY 0,1 araç, DY 0, 1, 2, 3 araç, OY 2, 3, 4 araç, YY 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 araç şeklinde belirlenmiştir. Araç sayılarının farklı olmasının nedeni, kırmızı ışıkta araçlar hareket etmediğinden aynı mesafe için daha fazla araç olacaktır. Yeşil ışıkta geçmekte olan araçların arasındaki mesafenin daha uzun olması araç sayısının az olmasına neden olacaktır.



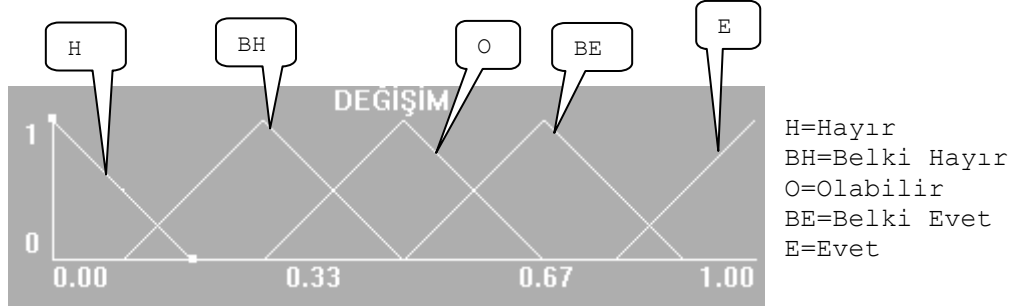
SY=Sıfır Yoğunluk
DY=Düşük Yoğunluk
OY=Orta Yoğunluk
YY=Yüksek Yoğunluk

Şekil 3. Yeşil ışık araç yoğunluğu için üyelik fonksiyonu
(Figure 3. The membership function for the green light car density)

Zaman dönüşümü için üyelik fonksiyonlarını gösteren Şekil 4'de Kısa Zaman (KZ) 30-60 s, Orta Zaman (OZ) 30-60-90 s, Uzun Zaman (UZ) 60-90 s şeklinde düzenlenmiştir.



Şekil 4. Zaman dönüşümü için üyelik fonksiyonu
(Figure 4. The membership function for the time cycle)



Şekil 5. Çıkış değişimi için üyelik fonksiyonu
(Figure 5. The membership function for the output variation)

Çıkış değişimi için üyelik fonksiyonunu gösteren Şekil 5'de Hayır (H) 0, 0.1, 0.2, Belki Hayır (BH) 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, Olabilir (O) 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, Belki Evet (BE) 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, Evet (E) 0.8, 0.9, 1.0 üyelik değerlerinden oluşturulmuştur.

2.Adım: Bu adım kural tabanının oluşturulması aşamasıdır. Eğer-O halde ifadeleri kullanılarak ve/veya operatörleri ile de birleştirilerek formüle edilmiştir. Örneğin: Eğer dönüşüm zamanı OZ ve Kırmızı ışık araç sayısı DY ve yeşildeki araç sayısı OY, O halde çıkış BH'dir. Burada; Kırmızı ışık araç yoğunluğu üyelik fonksiyonu 4 adet, Yeşil ışık araç yoğunluğu üyelik fonksiyonu 4 adet ve Zaman Dönüşümü üyelik fonksiyonları 3 adet olduğuna göre $4 \times 4 \times 3 = 48$ adet kural kombinasyonu vardır. Bununla beraber bazı kuralların geçerli olmaması dikkate alınarak bu sayı daha aza indirilmiştir [17]. Bu kurallar Tablo 1'de verilmiştir.



Tablo 1. Kavşak sinyalizasyon denetimi için bulanık mantık kural tablosu
 (Table 1. The fuzzy logic rule table for the junction signalization control)

	KIRMIZI AY				YEŞİL AY				ZAMAN			ÇIKIŞ DEĞERLERİ				
	SY	DY	OY	YY	SY	DY	OY	YY	KZ	OZ	UZ	H	BH	O	BE	E
1	*				*							*				
2		*			*											*
3			*		*											*
4				*	*											*
5	*											*				
6		*				*						*				
7			*				*					*				
8				*				*				*				
9			*			*			*					*		
10			*			*				*					*	
11			*			*					*					*
12				*		*			*				*			
13				*		*				*				*		
14				*		*					*				*	
15		*					*		*			*				
16		*					*			*			*			
17		*					*				*			*		
18				*			*		*					*		
19				*			*			*					*	
20				*			*				*					*
21		*						*	*					*		
22		*						*		*					*	
23		*						*			*					*
24			*					*	*				*			
25			*					*		*			*			
26			*					*			*			*		

4.2.1. Giriş/Çıkış ve Bulanık Mantık Kural Tabanı Program Algoritması (Input/Output and Fuzzy Logic Rule Base Program Algorithm)

Proje : TRAFİK

Giriş 1: KIRMIZI_AY[0.00, 12.00]/*Şekil 2'deki grafikten alınmıştır*/

SY	0.00	0.00	0.00	1.00
DY	0.00	1.00	2.00	6.00
OY	3.00	5.00	7.00	9.00
YY	7.00	9.00	12.00	12.00

Giriş 2: YESIL_AY[0.00, 12.00]/*Şekil 3'deki grafik değerlerinden alınmıştır*/

SY	0.00	0.00	0.00	1.00
DY	0.00	1.00	2.00	3.00
OY	2.00	3.00	3.00	4.00
YY	3.00	4.00	12.00	12.00

Giriş 3: ZAMAN_DON[0.00, 90.00]/* Şekil 4'deki grafik değerlerinden alınmıştır*/

KZ	0.00	0.00	30.0	60.0
OZ	30.0	60.0	60.0	90.0
UZ	60.0	90.0	90.0	90.0



Çıkış: CIKIS_DEG[0.00, 1.00]/* Şekil 5'deki grafik değerlerinden alınmıştır*/

H	0.00
BH	0.30
O	0.50
BE	0.70
E	1.00

Tablo 2. Bulanık mantık kavşak sinyalizasyon programı kural tabanı
(Table 2. The fuzzy logic rule table for the junction signalization control)

Kural 1: Eger (KIRMIZI AY=SY) ve (YESIL AY=SY) ohalde CIKIS DEG=H
Kural 2: Eger (KIRMIZI AY=DY) ve (YESIL AY=SY) ohalde CIKIS DEG=E
Kural 3: Eger (KIRMIZI AY=OY) ve (YESIL AY=SY) ohalde CIKIS DEG=E
Kural 4: Eger (KIRMIZI AY=YY) ve (YESIL AY=SY) ohalde CIKIS DEG=E
Kural 5: Eger (KIRMIZI AY=SY) ohalde CIKIS DEG=H
Kural 6: Eger (KIRMIZI AY=DY) ve (YESIL AY=DY) ohalde CIKIS DEG=H
Kural 7: Eger (KIRMIZI AY=OY) ve (YESIL AY=OY) ohalde CIKIS DEG=H
Kural 8: Eger (KIRMIZI AY=YY) ve (YESIL AY=YY) ohalde CIKIS DEG=H
Kural 9: Eger (KIRMIZI AY=OY) ve (YESIL AY=DY) ve (ZAMAN=KZ) ohalde CIKIS DEG=O
Kural 10: Eger (KIRMIZI AY=OY) ve (YESIL AY=DY) ve (ZAMAN=OZ) ohalde CIKIS DEG=BE
Kural 11: Eger (KIRMIZI AY=OY) ve (YESIL AY=DY) ve (ZAMAN=UZ) ohalde CIKIS DEG=E
Kural 12: Eger (KIRMIZI AY=YY) ve (YESIL AY=DY) ve (ZAMAN=KZ) ohalde CIKIS DEG=BH
Kural 13: Eger (KIRMIZI AY=YY) ve (YESIL AY=DY) ve (ZAMAN=OZ) ohalde CIKIS DEG=O
Kural 14: Eger (KIRMIZI AY=YY) ve (YESIL AY=DY) ve (ZAMAN=UZ) ohalde CIKIS DEG=BE
Kural 15: Eger (KIRMIZI AY=DY) ve (YESIL AY=OY) ve (ZAMAN=KZ) ohalde CIKIS DEG=H
Kural 16: Eger (KIRMIZI AY=DY) ve (YESIL AY=OY) ve (ZAMAN=OZ) ohalde CIKIS DEG=BH
Kural 17: Eger (KIRMIZI AY=DY) ve (YESIL AY=OY) ve (ZAMAN=UZ) ohalde CIKIS DEG=O
Kural 18: Eger (KIRMIZI AY=YY) ve (YESIL AY=OY) ve (ZAMAN=KZ) ohalde CIKIS DEG=O
Kural 19: Eger (KIRMIZI AY=YY) ve (YESIL AY=OY) ve (ZAMAN=OZ) ohalde CIKIS DEG=BE
Kural 20: Eger (KIRMIZI AY=YY) ve (YESIL AY=OY) ve (ZAMAN=UZ) ohalde CIKIS DEG=E
Kural 21: Eger (KIRMIZI AY=DY) ve (YESIL AY=YY) ve (ZAMAN=KZ) ohalde CIKIS DEG=O
Kural 22: Eger (KIRMIZI AY=DY) ve (YESIL AY=YY) ve (ZAMAN=OZ) ohalde CIKIS DEG=BE
Kural 23: Eger (KIRMIZI AY=DY) ve (YESIL AY=YY) ve (ZAMAN=UZ) ohalde CIKIS DEG=E
Kural 24: Eger (KIRMIZI AY=OY) ve (YESIL AY=YY) ve (ZAMAN=KZ) ohalde CIKIS DEG=BH
Kural 25: Eger (KIRMIZI AY=OY) ve (YESIL AY=YY) ve (ZAMAN=OZ) ohalde CIKIS DEG=BH
Kural 26: Eger (KIRMIZI AY=OY) ve (YESIL AY=YY) ve (ZAMAN=UZ) ohalde CIKIS DEG=O

3. Adım: Bu adımda keskin çıkış, durulaştırma yöntemlerinden "Ağırlık Merkezi" kullanılarak Eşitlik 2 yardımıyla ve tecrübeye dayanan veriler kullanılarak bulunmuştur. Bu veriler bilgi tabanını oluşturmak üzere Tablo 2'de olduğu gibi düzenlenmiştir.

$$\text{Çıkış} = \{\sum(\text{Üyelik dereceleri} * \text{Üyelik fonksiyon durumları})\} / (\text{Üyelik dereceleri}) \quad (2)$$

Giriş/Çıkış ve bulanık mantık kural tabanı program algoritmasındaki 0-12 sayıları Doğu-Batı, Batı-Doğu (DB-BD) ve Güney-Kuzey, Kuzey-Güney (GK-KG) istikametlerindeki ortalama araç yoğunluklarını göstermektedir. 30-90 sayıları ise saniye olarak araç yoğunluklarına göre verilecek zaman dilimlerini göstermektedir.

4.3. Araç Hareketleri (The Vehicle Movements)

Modelleme probleminin en önemli noktası, trafik akış hareketlerinin gerçeğe yakın oluşturulması olmuştur. Fiziki kural ve eşitlikler esas alındığında bir aracın hareketi öndeki aracın hareketinden hemen sonra olabilmektedir. Eşitlik 3 esas aracın durumunu ve öndeki aracın hızlanarak hareketlenmesini göstermektedir. Bu eşitlik zaman gecikmesi fark eşitliğidir ve akış teorisinden gelmektedir [1]. Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 bir nesnenin hızlanmasındaki durumunu ve hızlanmasını açıklayan klasik fizik eşitlikleridir.



$$A(t+z) = 4v(t) \frac{(H(t) - H'(t))}{(P(t) - P'(t))^2} + 0,2(H_s - H(t)) \quad (3)$$

$$H(t) = H(t-1) + a(t)dt \quad (4)$$

$$P(t) = P(t-1) + H(t)dt + 0,5a(t)dt^2 \quad (5)$$

Eşitliklerde;

A(t+z): Aracın zaman gecikmesi

H(t) : Hızlanma zamanı,

P(t) : Sıradaki araç pozisyonu,

H'(t) : Öndeki aracın hızlanması,

P'(t) : Öndeki aracın pozisyonu,

z : Sürücünün reaksiyon zamanını,

H : Aracın serbest hızlanmasıdır (Bir aracın diğer araca temas etmeden rahatça hızlanmasıdır).

Her bir aracın hızlanması sürücünün reaksiyon zamanına da bağlı olarak rasgele olmaktadır. İnsan beyninin çevresindeki araç hareketlenmesini kavrayıp gerekeni yapabilmesi için geçecek zaman sürücünün durumuna bağlı olarak bir, birbuçuk saniye kadardır [1 ve 17].

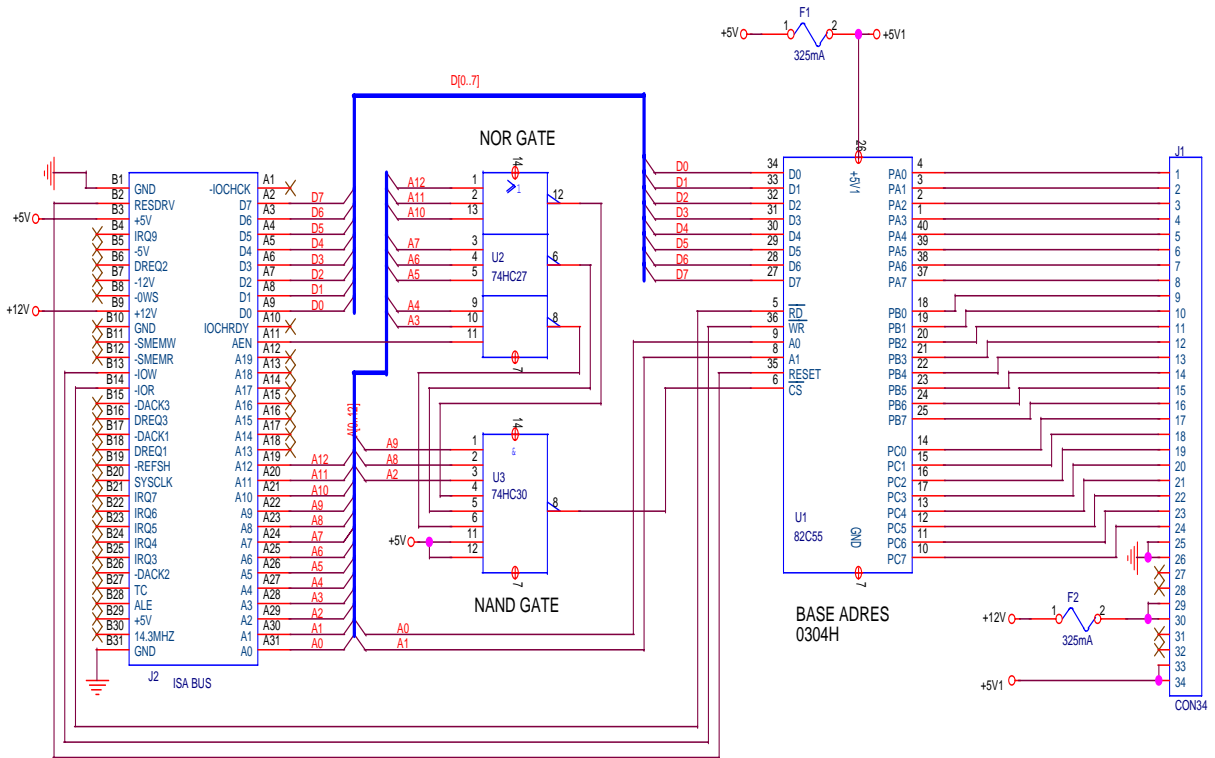
4.4. Kavşak Trafik Sinyalizasyonu Denetim Programı

(The Junction Traffic Signalization Control Program)

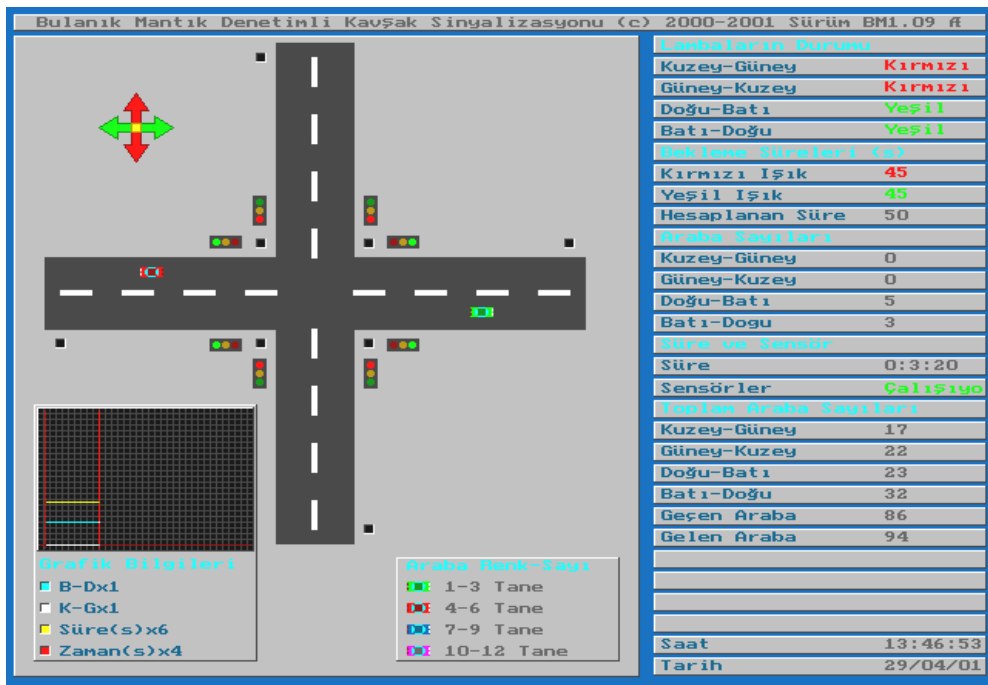
Geliştirilen program yapısal ve nesneye yönelik olması bakımından C++ dili ile yazılmıştır. Programda oluşturulan bulanık mantık bilgi tabanı iki boyutlu 13x13 bir dizi aracılığı ile bilgisayar belleğine alınmaktadır. Bilgi tabanı oluşturulurken, yalnızca bulanık üyelik fonksiyonları dikkate alınmamış, gerekli görülen tecrübeye dayalı çözümlerde kullanılmıştır. Bilgi tabanı içerisindeki verilerin istenilen kavşaklara göre düzenlenmesi kolaylıkla yapılabilecek şekilde düzenlenmiştir.

Programın başında program içerisinde kullanılacak kütüphane dosyaları ve değişkenler tanımlanmıştır. Programın amacı algılayıcılar yardımı ile trafik çevresinden alınan çeşitli istikametlerden gelen araç sayılarını ihtiva eden bilgileri değerlendirip, bulanık mantık yardımıyla trafik ışıklarının yanma sürelerinin optimal olarak tayinini oluşturmaktadır. Bunun için Şekil 7'de açık şeması verilen ve bilgisayarın 16 bitlik ISA yuvalarına takılan bir kart geliştirilmiştir.

Bilgi alış verişi 0x304 port-a, 0x305 port-b, 0x306 port-c ve 0x307 denetim portlarından olmaktadır. Program içerisinde port-a bilgi girişi için, port-b ise bilgi çıkışı için kullanılmıştır. Denetim portu-c ise bilginin doğru olup olmadığını denetlemek için kullanılmıştır. Bulanık mantık programının gerçek zamanlı ekran görüntüsü Şekil 4'deki gibidir. Şekil 5'de ise gerçekleştirilen prototipin bir fotoğrafı görülmektedir. Şekil 6'da açık şeması verilen ikinci bir kart daha geliştirilmiş ve bu kart yardımıyla da alıcı ve vericilerden gelen sayısal veriler değerlendirilerek bilgisayara giriş ve trafik ışıklarının çalışmasını sağlayan çıkış bilgileri sağlanmıştır.



Şekil 4. Bilgisayarın ISA yuvasına takılan 82C55 entegreli arayüz devresi
(Figure 4. The 82C55 integrated interface circuit that is affixed to ISA socket of computer)

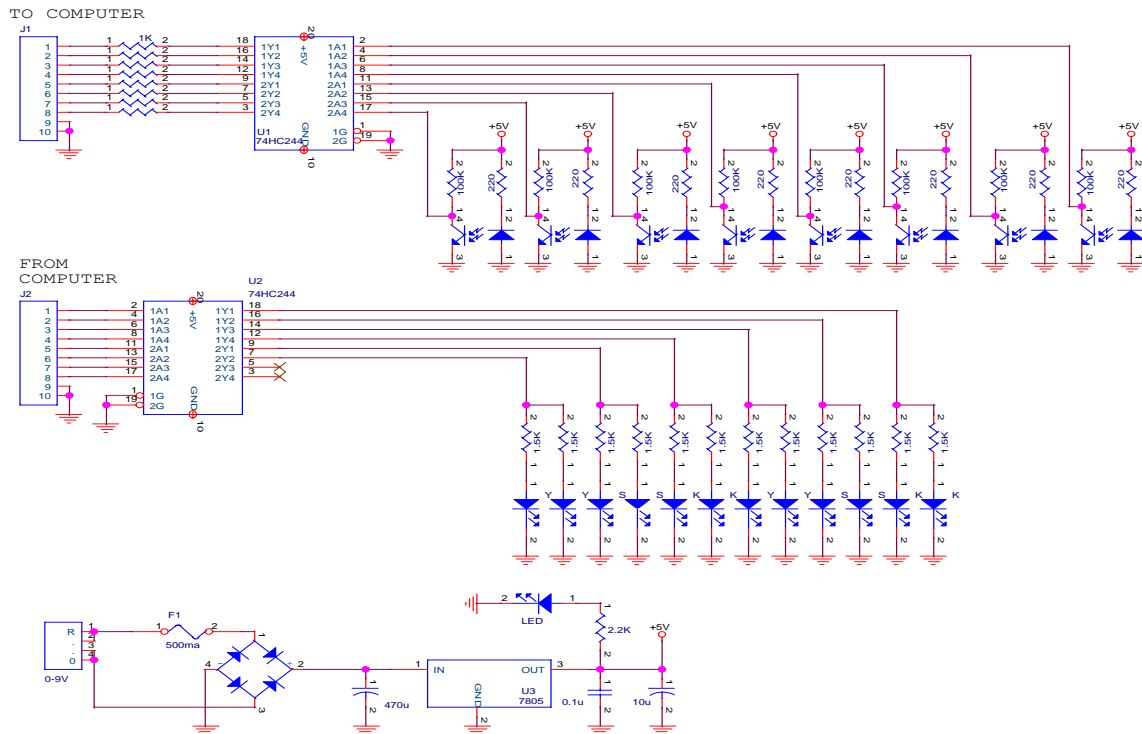


Şekil 5. Bulanık mantık programının gerçek zamanlı ekran görüntüsü
(Figure 5. The real timed screen view of the fuzzy logic program)



Şekil 6. Sistemin fotoğraf görüntüsü
(Figure 6. The photograph view of the system)

Zamanlama, gerçek zamanlı olarak yazılan fonksiyonlar ile oluşturulmuştur. Bu fonksiyonda bilgisayarın BIOS zamanının saniyeye kadar olan dilimi alınıp her işlem için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu da programın çalışma hızını artırmaktadır. Ayrıca programda, bulanık mantık bölümü herhangi bir nedenle çalışmazsa koruma kısımları da bulunmaktadır. Yani; bu durumlarda program tüm trafik ışıklarını 30 saniye olarak yaktmaktadır.



Şekil 7. Algılayıcılardan gelen bilgileri değerlendiren devre
(Figure 7. The circuit that appraises the informations coming from the perceptioners)



Programda kullanıcı tanımlı 2 önemli kütüphane dosyası bulunmaktadır. Bu dosyalar FUZZY.H ve IOPORT.H kütüphane fonksiyonlarıdır. Bu dosyalardan FUZZY.H programın grafik ekran çıktısı, ışıkların yanma durumuna göre değişmesi, ilk grafik ekranın hazırlanması, mantıksal işlemlerin gerçekleştirilmesi gibi birçok işlevi yerine getirmektedir. IOPORT.H dosyası ise kart ile ilgili giriş, çıkış ve denetim gibi görevleri yerine getirmektedir.

5. DENEYSEL SONUÇLARIN İRDELEMESİ (EXAMINING THE EXPERIMENTAL RESULTS)

Oluşturulan yazılım ve donanımın testleri çok sayıda parametre için, rastgele üretilen araçların oluşturduğu çok düşük trafik yoğunluğundan çok yoğun trafik yoğunluğuna kadar ve dört yöndeki yolun durumu dikkate alınarak dört çeşit trafik şartı için (sıfır yoğunluk, düşük yoğunluk, orta yoğunluk ve yüksek yoğunluk durumları) bir saatte rastgele üretilen 1600 araç için yapılmıştır. Araç yoğunlukları 5'er dakikalık aralıklarla sayılmıştır. Sonuçlar, geleneksel denetim yöntemi olan sabit zaman aralıklarıyla yapılan denetimler ile karşılaştırıldığında %26'dan %36'ya varan iyileştirmeler elde edilmiştir.

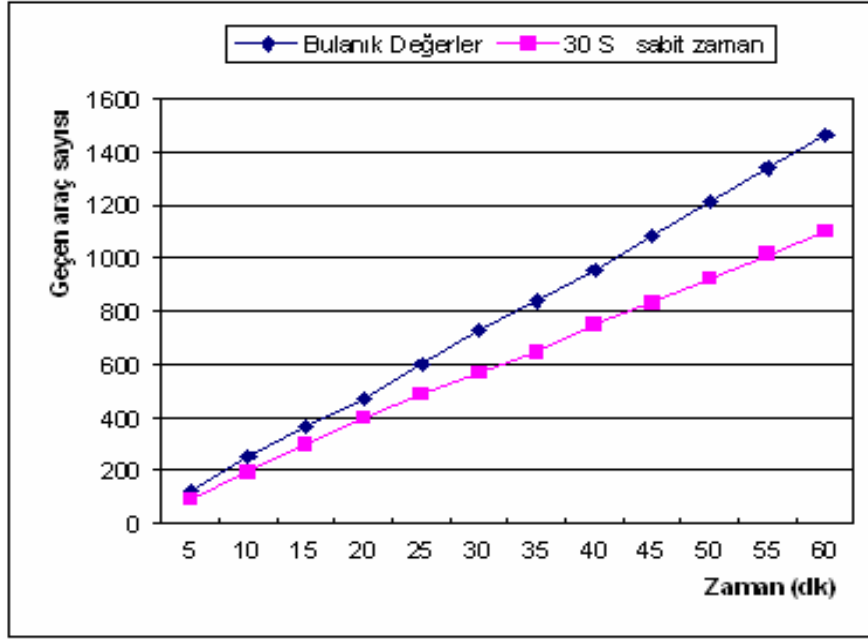
Tablo 3'de çalışmada kullanılan bulanık mantık veri tabanlı sistemden alınan değerlere göre bir saatte üretilen 1600 aracın 1466 tanesi kavşaktan geçmiştir. Bu sayı üretilen araçların %91,6'sı demektir. Tablo 4'deki 30 saniye sabit zamanla alınan değerlere göre ise bir saatte üretilen araçların 1102 tanesi geçmiştir. Buna göre %68,8'i geçmiştir. Bu durumlar 5'er dakikalık aralıklar ile 60 dakikaya kadar yapılmıştır. Bu süre içerisinde %20'den %33'e varan iyileştirmeler elde edilmiştir. Bu durum Şekil 1'de görülmektedir.

Tablo 3. Bulanık mantık veri tabanlı sistem ile alınan değerler
(Table 3. The values which are taken with the fuzzy logic data based system)

Süre (dk)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
KG Araç Sayısı	38	71	97	124	155	193	215	252	280	314	347	373
GK Araç Sayısı	34	68	100	122	158	195	223	247	280	316	349	382
DB Araç Sayısı	26	63	97	128	159	178	199	231	264	296	329	364
BD Araç Sayısı	27	50	74	95	128	167	202	225	264	290	314	347
Toplam Araç Sayısı	125	252	368	469	600	733	839	955	1088	1216	1339	1466

Tablo 4. 30 s sabit zaman ile alınan değerler
(Table 4. The values which are taken with 30 secon constant time)

Süre (dk)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
KG Araç Sayısı	22	51	75	110	134	159	179	198	212	235	250	273
GK Araç Sayısı	16	46	67	94	126	146	171	200	225	248	268	281
DB Araç Sayısı	20	40	72	87	101	122	137	170	196	221	245	268
BD Araç Sayısı	35	56	86	105	126	143	160	181	200	222	252	280
Toplam Araç Sayısı	93	193	300	396	487	570	647	749	833	926	1015	1102
İyileştirme Oranı (%)	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,31	0,31	0,32	0,33



Şekil 7. Bulanık mantık ile 30 s sabit zamanın karşılaştırılması
(Figure 7. Comparing the fuzzy logic with 30 second constant time)

35 s sabit zamanlı alınan değerler ile Tablo 3'de alınan değerler karşılaştırıldığında, bulanık mantık veri tabanı ile alınan değerlere göre daha az araç kavşaktan geçmiştir. Yani bir saatte üretilen araçların %69,5'i geçmiştir. Buna göre %32'lik bir iyileştirme elde edilmiştir.

40 s sabit zamanlı alınan değerlerde bir saatte üretilen toplam 1600 araçtan %73'ü kavşaktan geçmiştir. Bu değerleri Tablo 3'deki bulanık mantık tabanlı sistemden alınan değerler ile karşılaştırdığımızda bir saatlik süre için %26'lık bir iyileştirme elde edilmiştir.

45 s sabit zamanlı alınan değerlerde görüldüğü gibi bir saatte üretilen toplam 1600 aracın %68.8'i kavşaktan geçmiştir. Bu değer Tablo 3'deki bulanık mantık tabanlı sistemde alınan değerler ile karşılaştırıldığında bir saatlik süre için %33'lük bir iyileştirme elde edilmiştir.

50 s sabit zamanlı alınan değerlerde görüldüğü gibi bir saatte üretilen araçların %69,1'i kavşaktan geçmiştir. Bu değer Tablo 5.1'deki bulanık mantık veri tabanı ile alınan değerler ile karşılaştırıldığında %33'lük bir iyileştirme elde edilmiştir.

55 s sabit zaman ile alınan değerlerde görüldüğü gibi bir saatte üretilen araçların %71'i kavşaktan geçmiştir. Bu sonuç Tablo 3'deki bulanık mantık veri tabanı ile alınan değerler ile karşılaştırıldığında, bulanık mantık veri tabanı ile %29'lük bir iyileştirme elde edilmiştir.

60 s sabit zaman ile alınan değerlerden anlaşılacağı gibi bir saatte üretilen araçların %67,1'i kavşaktan geçmiştir. Bu sonuç Tablo 3'deki bulanık mantık veri tabanı ile alınan değerler ile karşılaştırıldığında, Şekil 7'den de görüleceği gibi, bulanık mantık veri tabanı ile alınan değerlerin %36 daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

30-60 s arasında alınan sabit zaman aralıklı değerlerde yaklaşık aynı araç geçme oranları elde edilmektedir. Ancak üretilen araçların %73'ünün geçtiği 40 s sabit zaman aralığının, diğer sabit zaman aralıklarına göre daha iyi olduğu söylenebilir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER (THE RESULT AND THE SUGGESTIONS)

Gerçekleştirilen bulanık mantık kural tabanlı kavşak trafik denetim sistemi, geleneksel trafik sistemleri gibi, sabit zaman aralıklı kesin kural tabanlı sistemlere göre birçok avantaja sahiptir. Bulanık mantık denetim ile kavşağa giren araçların algılanıp buna göre sinyal değiştirmek suretiyle değişken trafik yoğunluklarının olduğu kavşaklarda daha iyi sonuçlar alınması sağlanmıştır.

Kavşağın dört girişinde yapılan ölçümler sonucunda, trafik akışını rahatlatarak, araçların kırmızı ışıkta bekleme sürelerinin azaltılabileceği görülmüştür. Çıkış değerlerinin çok esnek alınmasına rağmen %26-36 arasında kırmızı ışık ve yeşil ışık yanma uygun zaman süreleri oluşturulmuş, bu sonuçlarla bulanık mantık kurallarının, kavşak sinyalizasyonunun denetiminde klasik yöntemlere göre daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır. Bulanık mantık uygulanarak bekleme sürelerinin azaltılacağı ve bundan kaynaklanan zaman kaybı ve yakıt giderlerinin düşürülebileceği, hava kirliliğinin neden olacağı sağlık sorunlarının azalmasına da katkıda bulunacağı kanıtlanmıştır.

Zaman düzenlemesinde taşıt ve yaya güvenliği ile tasarrufa azami dikkat edilmelidir. Düzenleme değişik akış yönlerindeki geçiş süreleri taşıt yoğunluğuna oransal olarak uyumlu olmalıdır. Zaman dağılımında saatlik, günlük, aylık ve mevsimlerdeki trafik değişimleri dikkate alınmalıdır. Mevcut trafik düzenlemelerinde sabit zaman aralıkları veya tahmini trafik yoğunluğuna göre zaman aralıkları düzenlendiğinden rasgele oluşan trafik yoğunluğunda akış düzensizlikleri ve gereksiz gecikmeler meydana gelmektedir. Bunun sonucunda trafikteki sürücü ve yayaların düzenlemelere tam olarak uyum gösteremedikleri görülmektedir. Bütün bu olumsuzluklar trafik akış yoğunluğuna göre düzenlenecek zaman düzenlemesi ile azaltılabilmektedir.

Çalışma bulanık mantık kavramının kavşaklarda trafik ile ilgili oluşabilecek sorunların azaltılabilmesi için, uygun alt yapı, malzeme ve çevre şartları sağlandığında uygulanabileceğini göstermektedir. Bu nedenle önceden belirlenemeyen araç sıkışmalarının yaşandığı kavşaklarda gerçek zamanlı olarak trafiğin denetlenmesi bakımından önemli bir ihtiyacın giderilmesine yöneliktir. Aynı zamanda klasik sistemlerin modelleme ve verimlilik testlerini de yapabilmektedir. Öte yandan, donanım ve yazılımda yapılabilecek düzenlemelerle sistem, ilköğretim okulları için eğitim setine dönüştürülebilecek bir yapıda tasarlanmıştır. Bu özelliğinden dolayı gerekli düzenlemeler yapılarak gerçek trafik ortamına götürülmesi tehlikeli olan ilköğretim çağındaki çocukların ilk trafik eğitimi derslerinde yardımcı eğitim aracı olarak kullanılmalıdır.

Bu çalışmaya ilave olarak; ardışıl kavşakların denetimlerinin bir noktadan yapılması yoluyla "Yeşil Hat" oluşturulması trafiği çok daha rahatlatacak bir çalışmadır. Bu nedenle çalışmaya bu yönde devam edilmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bisset, K. and Kelsey, R., (1993). Simulation of Traffic Flow and Control Conventional, Fuzzy and Adaptive Methods, Proc. IFAC World Congress, Sydney, Australia.
2. Hong, Y.S., Jin, H., and Park, C.K., (1999). New Electrosensitive Traffic Light Using Fuzzy Neural Network, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Volume:7, No:6, pp:753-759.
3. Robert L.K., and Keith, R.B., (1993), Simulation of Traffic Flow and Control Using Fuzzy and Conventional Methods, Fuzzy logic and control: software and hardware applications, Volume: 2, pp:262-278, New Jersey.



4. Atmaca, H., ve Döner, M., (1996). Çok Kavşaklı Trafik Sinyalizasyon Sisteminin PLC İle Senkronizasyonu, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı. TOK'96, ss:317-323, İstanbul.
5. Akbaş, A., Can, B. ve Tektaş, M., (1999). Trafik Uyarımlı Sinyalize Kavşaklarda TOD Güncelleştirilmesi Üzerine Bir Algoritma, 2nd International Advanced Technologies Symposium, ss:135-140, İstanbul.
6. Zadeh, L.A., (1978). Fuzzy Sets as a Basis for a theory of possibility, Fuzzy Sets and System 1, pp:3-28, New Jersey.
7. Akbaş, A., Can, B. ve Onat, M., (1998). İstanbul Kent içi Trafiğinin Optimizasyonu Üzerine Bir Öneri, 2. Uluslararası Ulaşım Sempozyumu Bildirileri, ss:201-219, İstanbul.
8. Yan, J., Ryan, M., and Power, J., (1994). Using Fuzzy Logic, Towards intelligent Systems, Englewood Cliff, NJ: Prentice Hall.
9. Konstantine, K., 1998, An Unsupervised Real-Time Multi-Task Vision System, IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, pp:28-34, Stuttgart, Germany.
10. Yoshito, M., Masao, K., Toshio, Y., Satoshi, N., and Toshihiko, O., (1998). Estimating O-D Matrix using Uplink Information from Infrared Vehicle Detectors, IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, pp:685-688, Stuttgart, Germany.
11. Zimmermann, H.J., (1991), Fuzzy Sets, Decision Making and Expert Systems, pp:198-235, Kluwer, Dordrecht, Netherlands.
12. Günal, Ü., (1997). Bulanık Mantık, Türkiye'de ve Dünyada Otomasyon, Sayı 55-57, ss:170-173.
13. László, T.K., (1996). Fuzzy If Then Rule Models and Their Transformation Into One Another. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-PartA: Systems and Humans, Volume:26, No:5, pp:621-637.
14. Ellen, H., (1996). A Logical Structure For a Knowledge Base, Institute of Informatics, University of Oslo, Blindern, Norway.
15. Krause, B., Von, A.C., and Pozybill, M., (1996), Intelligent Highway by Fuzzy Logic: Congestion Detection and Traffic Control on Multi-Lane Roads with Variable Road Signs. Proceedings of EUFIT'96, pp 1151-1156, Aachen, Germany.
16. Unfuzzy Home Page at: <http://ohm.ing.unal.edu.col/ogduarte>
17. Hong, Y.G., Cho, S.W., Choi, and K.S., (1994). A Study on Fuzzy Traffic Signal Control, Proc. KFMS Spring Conference'94, pp:238-243, Seoul, Korea.