

## Vehicular Delay Modeling at Signalized Intersections with Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks

Erhan.Mutlu<sup>1</sup>, M.Erdem Yavuz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sakarya University, Department of Computer Engineering, Sakarya, Turkey

**Abstract:** Delaying at signalized intersections is an important point for controlling traffic movement in a city. In this project ,we designate the vehicular delay model at signalized intersections by using fuzzy logic and artificial neural Networks. Our model is compared with conventional delay calculation methods and another project that is about delaying at signalized intersections.

## Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağı ile Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Modellenmesi

**Özet:** Kent içi trafik akımının yönetilmesinde kavşaklardaki araç gecikmesi yeterince önemsenmesi gereken bir husustur. Bu çalışmada sinyalize kavşaklardaki araç gecikmesini bulanık mantık ve yapay sinir ağı teknikleri ile modelleyeceğiz. Bu alanda daha önceden yapılan çalışma ve geleneksel yöntemler ile sonuçlarımızın karşılaştırılması yapılacaktır. Ayrıca kullanacağımız yapay sinir ağı ile probleme başka bir yaklaşım açısı getirilmesi amaçlanmıştır.

*Anahtar Kelimeler:* Sinyalize kavşak, taşıt gecikmesi

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

E. Mutlu, M. E. Yavuz‘Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağı ile Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Modellenmesi’, Elec Lett Sci Eng , vol. 4(2) , (2008), 11-18

### 1. GİRİŞ

Kentiçi trafik akımlarının yönetilmesinde, sinyalize kavşaklardaki denetimin sağlanmasıyla bir başka deyişle kavşaklardaki araç gecikme sürelerinin hesaplanmasıyla daha etkin bir şekilde sağlanması önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu konu uzmanlar tarafından ele alınmış ve çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modellerden yaygın olarak kullanılanları; Webster [1], HCM [2] ve Akçelik [3] modelleridir. Bu modeller trafikteki ortalama gecikmeyi belli bir trafik yoğunluğuna kadar hesaplamada başarılı olmuşlardır. Fakat trafik yoğunluğunun artmasıyla elde edilen sonuçlar gerçeklerden çok uzak değerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşıtların hareket kabiliyetleri, sürücü davranış ve psikolojisi, grup veya dağınık hareket durumu, trafik hacmi, şerit genişliği, trafik kompozisyonu, kavşak yakınında toplu taşıma durağı olup olmaması, yol içi durma ve park etme, sinyal süreleri (devre, yeşil, kırmızı), kuyruk oluşumu ve hava durumu gibi pek çok parametre gecikmeyi etkilemektedir. Çalışma kapsamında gecikme değerlerinin bulanık mantık ve yapay sinir ağı teknikleri ile tahmin edilmesi ve gerçek değerlere yakınlığı tespit edilmiştir. Gecikme modelinde yaklaşım kolundaki trafik hacmi, kuyruktaki ortalama taşıt sayısı ve kırmızı sinyal süresinin devre süresine oranı parametreleri dikkate alınmıştır. Geliştirilen modellerden bulanık mantık modelinin bu alanda yapılan başka bir çalışma ile ve HCM 2000 ve Akçelik yöntemleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca yapay sinir ağı tekniği ile gerçek değerlere yakın sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

\* Corresponding author; Tel.: +(90) XXX YYYYYYY, E-mail: [emutlu@gmail.com](mailto:emutlu@gmail.com)

## 2. SİNYALLİ KAVŞAKLARDA GECİKME

Sinyalli kavşaklarda gecikme olayının belirlenmesi için geliştirilen modellerde trafik hacmi, kuyruk oluşumu, doyumluk derecesi ve taşıt takip aralığı gibi bazı parametreler dikkate alınmaktadır. Çalışmamızda Akçelik [3] ve HCM [2] yaklaşımları karşılaştırma amacıyla geleneksel yöntemler arasında diğerlerinden daha yaygın olarak kullanıldığından dolayı tercih edilmiştir.

### 2.1. Avustralya (Akçelik) Yöntemi ile Gecikme Hesabı

Bu yöntemde göre bir akımdaki araçların ortalama gecikmesini bulabilmek için öncelikle bu akımın oluşturduğu kuyruk uzunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Kuyruk uzunluğu değeri denklem (1) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$N_0 = \frac{QT_f}{4} \left( z + \sqrt{z^2 + \frac{12(x+x_0)}{QT_f}} \right) \quad (1)$$

Eğer  $x_0 > x$  ise  $N_0$  değeri 0 olmaktadır. Denklem (1)'de kullanılan değişkenler şu anlamları ifade etmektedir:

$N_0$  = Taşıt cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit varsa, tüm şeritlerdeki taşıt sayısı toplamı),

$Q$  = Taşıt/saat cinsinden kapasite,

$T_f$  = Akım süresi, yani saat cinsinden zaman, trafik hacim değerinin elde edildiği süre,

$QT_f$  =  $T_f$  süresi boyunca geçebilecek maksimum taşıt sayısı,

$x = q/Q$  doyumluk derecesi,

$Z = x-1$ ,

$x_0$  = Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doyumluk derecesi,

$$x_0 = 0.67 + sg / 6000 \quad (2)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu bağıntıda;

$s$  = Taşıt/saniye cinsinden doyum akımı,

$g$  = Etkin yeşil süreyi

ifade etmektedir. Toplam gecikme değeri aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$D = \frac{qc(1-u)^2}{2(1-y)} + N_0x \quad (3)$$

Burada;

$D$  = Toplam gecikme,

$qc$  = Her devrede gelen ortalama taşıt sayısı ( $q$ = Taşıt/saniye biriminde akım),

$c$  = Saniye biriminden devre süresi,

$u$  = Yeşil süre oranı ( $=g/c$ ),

$y$  = Akım oranı ( $=q/s$ ).

Ayrıca her taşıt için ortalama gecikme süresi;

$$d = D/q \quad (4)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. (4) denkleminde kullanılan  $D$  toplam gecikmeyi,  $q$  ise taşıt/saniye cinsinden akımı ifade etmektedir [3].

## 2.2. Highway Capacity Manual (HCM-2000) Gecikme Formülü

HCM-2000'e göre bir şeritteki ortalama gecikme aşağıdaki formülle ifade edilir;

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (5)$$

Burada;

$d$  = Taşıt başına kontrol gecikmesi (sn/ta),

$d1$  = Üniform varışlar kabulüyle üniform kontrol gecikmesi (sn/ta),

$PF$  = Üniform gecikme dizisi düzeltme faktörü (sinyal süreci etkilerini açıklamak için),

$d2$  = Rastgele varışların ve doymuş akımdaki kuyrukların etkisini açıklamak için eklenik gecikme. Burada gecikme bileşeni analiz periyodunun başlangıcında, şerit grubu için başlangıç kuyruk durumunun bulunmadığını kabul eder,

$d3$  = Analiz süresi başlangıcındaki başlangıç kuyruğundan dolayı tüm taşıtlara etkiyen gecikme değeri[2].

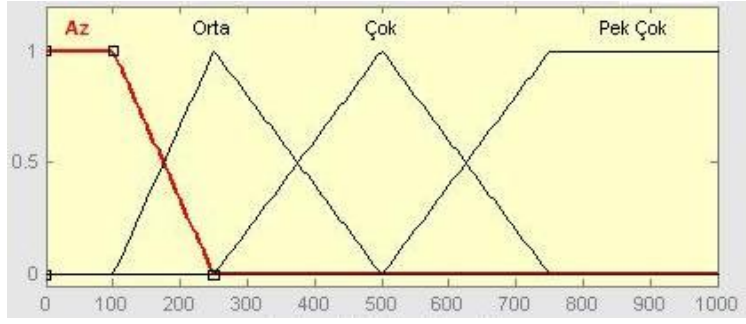
## 3. BULANIK MANTIK MODELİ

Bulanık mantık modelinin oluşturulmasında, yaklaşım tarafındaki trafik hacmi, kırmızı sinyal süresinin devre süresine oranı ve kuyruktaki ortalama taşıt sayısı giriş parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu örnek için bulanık çıkarım modellerinden Mamdani metodu kullanılmıştır.

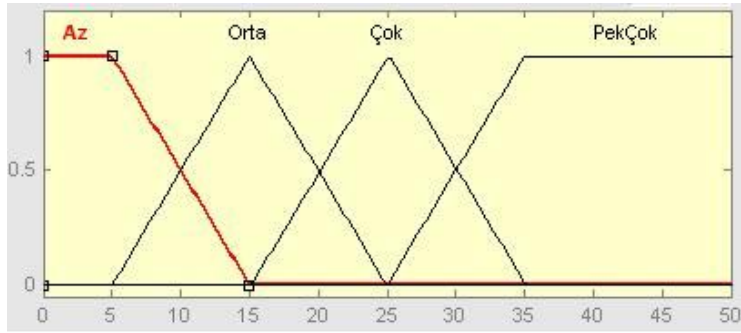
Bulanık Mantık modelinin oluşturulmasında kullanılan gecikme değerleri, Denizli ve İzmir'de ki çeşitli kavşaklarda yapılan gecikme çalışmalarından sağlanmıştır [7]. Gözlenen trafik hacimleri saatte 50-1000 taşıt aralığındadır. Gözlem değerleri ile belirtilen değerler bulanık mantık modeli kullanılan diğer çalışmadan alınmıştır. Gözlem değerleri sabah (7.30-8.30), öğle (12.30-13.30) ve akşam (16.30-17.30) saat aralıklarında belirlenmiştir.

### 3.1. Parametreler

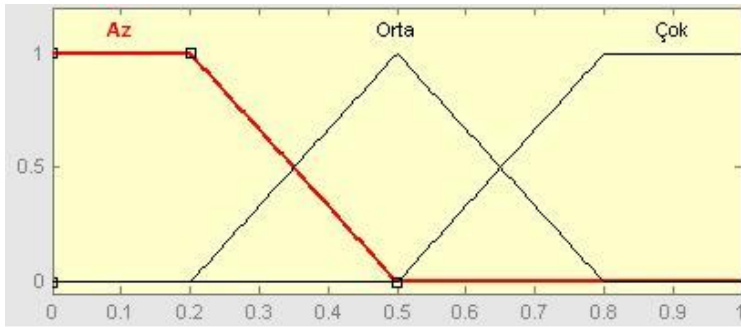
Model parametreleri olarak trafik hacmi, şeritteki ortalama kuyruk uzunluğu ve kırmızı sinyal süresinin devre süresine oranı belirleyici parametreler olarak dikkate alınmıştır. Parametrelerin üyelik fonksiyonlarının tespitinde, gözlemlerden elde edilen verilerin, maksimum, minimum değerleri ve standart sapması göz önünde bulundurulmuştur. Parametreler ve üyelik fonksiyonları Şekil 1,2 ve 3'te gösterilmiştir. Diğer bulanık mantık çalışmasından farklı olarak trafik hacmi parametresinde kullanılan üyelik fonksiyonlarının değerlerinin değiştirilmesi bu çalışmada gerçek sonuçlara daha yakın değerler bulunmasında yardımcı olmuştur. Kural Tabanından örnekler Tablo 1'de verilmiştir. Bulanık mantık gecikme modelinin üyelik fonksiyonları ve kural tabanının oluşturulması için MATLAB yazılımının bulanık mantık işlevinden faydalanılmıştır. Durulaştırma için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.



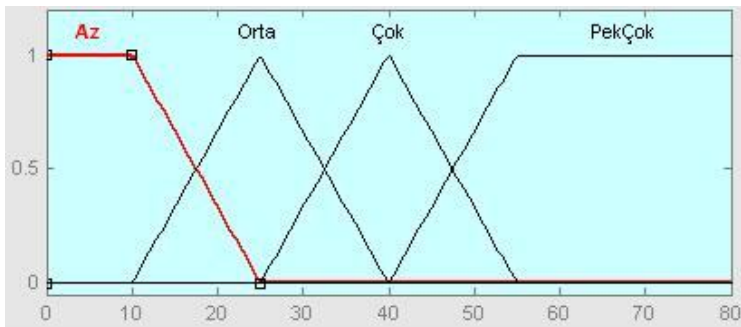
Şekil-1 Trafik Hacmi ( taşıt/saat )



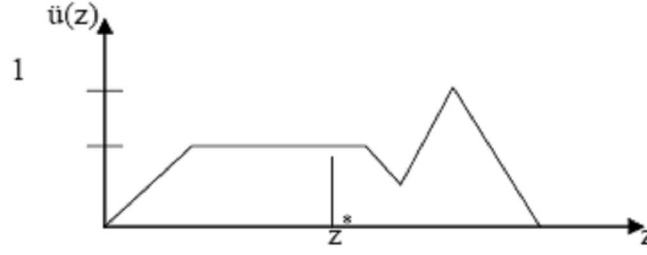
Şekil-2 Kuyruktaki Ortalama Taşıt Sayısı



Şekil-3 Kırmızı Işık Süre Oranı



Şekil-4 Ortalama Gecikme (sn / taşıt)



Şekil-5 Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma

### 3.2. Gecikme Değerlerinin Karşılaştırılması

Bulanık mantık gecikme modelinin sonuçları geleneksel gecikme hesabı sonuçları ve gözlem değerleri ile karşılaştırılmıştır. HCM [2] ve Akçelik [3] yöntemleri geleneksel yöntemler olarak dikkate alınmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, geleneksel yöntemlerin belirli bir trafik hacmi değerine kadar gözlem değerlerine yaklaşık değerler vermesine rağmen bu doygunluk değerinden sonra ulaşılan değerlerin gözlem değerlerinden çok farklı olduğu belirlenmiştir. Gerek önceki çalışma gerekse de bu çalışmalarda uygulanan bulanık mantık yaklaşımlarının, gerçek değerlere yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Tablo-1 Bulanık mantık gecikme modeli kural tabanından bazı örnekler

1. If (TrafikHacmi is Az) and (OrtalamaTasit is Az) and (KirmiziSureOrani is Az) then (OrtalamGecikme is Az) (1)
2. If (TrafikHacmi is Az) and (OrtalamaTasit is Çok) and (KirmiziSureOrani is Az) then (OrtalamGecikme is Orta) (1)
3. If (TrafikHacmi is Az) and (OrtalamaTasit is Orta) and (KirmiziSureOrani is Çok) then (OrtalamGecikme is Orta) (1)
4. If (TrafikHacmi is Pek Çok) and (OrtalamaTasit is Çok) then (OrtalamGecikme is PekÇok) (1)
5. If (TrafikHacmi is Orta) and (OrtalamaTasit is Az) and (KirmiziSureOrani is Az) then (OrtalamGecikme is Orta) (1)
6. If (TrafikHacmi is Orta) and (OrtalamaTasit is Orta) and (KirmiziSureOrani is Orta) then (OrtalamGecikme is Orta) (1)
7. If (TrafikHacmi is Az) and (OrtalamaTasit is Orta) and (KirmiziSureOrani is Orta) then (OrtalamGecikme is Orta) (1)
8. If (TrafikHacmi is Pek Çok) and (OrtalamaTasit is Çok) and (KirmiziSureOrani is Orta) then (OrtalamGecikme is Çok) (1)
9. If (TrafikHacmi is Az) and (OrtalamaTasit is Az) then (OrtalamGecikme is Orta) (1)
10. If (TrafikHacmi is Pek Çok) or (OrtalamaTasit is Çok) then (OrtalamGecikme is PekÇok) (1)

Tablo 2 Gecikme bağıntıları ile bulanık mantık gecikme modeli sonuçlarının karşılaştırılması

Test Verileri	Devre Süresi (sn)	Kırmızı Süre(sn)	Trafik Hacmi (taşıt/saatşerit)	Kuyruktaki ortalama taşıt sayısı	Ortalama Gecikme (sn/taşıt)				
					HCM 2000	Akçelik	BM1 modeli	BM2 modeli	Gözlem
1	87	52	72	3	24,88	23,05	25,1	25,2	25,41
2	84	38	140	4	19,39	16,83	22,7	23,1	25,32
3	84	49	169	4	29,10	25,68	30,6	26,4	20,6
4	91	56	194	5	29,95	25,74	31,1	29,8	23,54
5	87	52	235	6	29,00	24,96	30,3	31,2	27,4
6	102	65	274	6	44,27	44,55	32	33,3	34,00
7	87	52	283	7	25,11	27,66	29,40	27,2	24,71
8	90	56	390	8	30,99	42,56	33,70	34,3	35,37
9	87	36	432	8	23,58	20,05	26,1	25,9	25,75
10	104	41	500	8	20,89	16,82	30,80	30,9	32,95
11	85	55	587	9	899,23	512,79	44,60	43,5	39,78
12	90	51	656	10	441,35	251,12	39,80	39,9	37,64
13	88	60	814	11	1888,77	1960,77	45,00	46,6	47,69
14	88	60	841	12	2010,21	2224,88	46,00	47,7	49,03
15	90	50	1000	15	1489,69	730,62	54,10	55	57,87

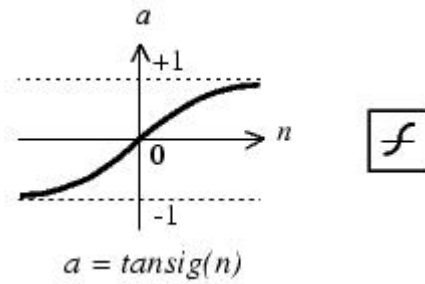
Tablo 2 de belirtilen BM1 modeli başka bir çalışma sonucunda ulaşılan ortalama gecikme, BM2 modeli ise bu çalışma sonucu ulaşılan ortalama gecikme değerlerini belirtmektedir. Karşılaştırma sonuçları incelendiğinde BM1 ve BM2 modelleri Gözlem değeri ile belirtilen gerçek değerlere paralel değerleri karşımıza çıkarmaktadır. 550 taşıt/saatlik trafik hacmine kadar gözlem değerlerine yakın değerler vermesine rağmen bu değerlerin üzerindeki değerlerle yapılan denemelerde HCM 2000 ve Akçelik' de gözle görülür şekilde yüksek değerlere ulaşılmaktadır.

#### 4. KULLANILAN YAPAY SİNİR AĞI HAKKINDA BİLGİ

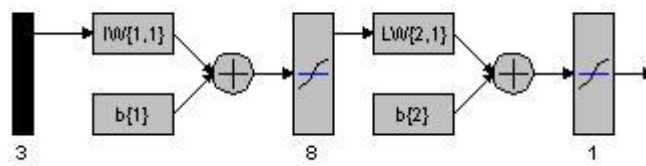
Bu çalışmada bir önceki safhada probleme ait 3 adet giriş parametresi kullanmış ve bu giriş parametrelerine bağlı olarak diğer bulanık mantık yaklaşımı (BM1), HCM 2000, Akçelik ve bizim bulanık mantık yaklaşımı (BM2) yöntemleri ile ortalama gecikme süresi belirlenmiştir. Ayrıca yapılan gözlemler sonucunda elde edilen ortalama gecikme süresi, diğer yöntemlerle elde edilen çıkış değerlerini karşılaştırmamız açısından tablomuzda da belirtilmiştir.

Oluşturulan ağımızda 1 adet gizli katman kullanılmıştır. Gizli katmanımızda 8 adet düğüm bulunmaktadır. Ağ eğitildikten sonra 1 adet çıkış nöronumuzdan 0-80 arasında değerler elde edilecektir. Oluşturulan ağ yapısı Şekil-7 de gösterilmektedir.

Transfer fonksiyonu olarak Tangent-Sigmoid fonksiyonu (Şekil-6) kullanılmıştır.



Şekil-6 Tansig transfer fonksiyonu



Şekil-7 Oluşturulan Yapay Sinir Ağı

#### 4.1 Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi ve Uygulanması

Eğitim aşamasından önce test setimizi belirlemede; verilerin ağın geneline dağılmasına ve sonucunda daha sağlıklı sonuç elde etmek için dikkatli seçtik. Öğrenme algoritması olarak standart geriye yayılım algoritmasına ait dereceli azalma (gradient descent) algoritmasını kullandık. Ağımızın eğitimini 105 adım olarak belirledik. Bu değerden sonra ise ağımızın ezberlediğini gözlemledik.

Biz oluşturacağımız yapay sinir ağında Tablo-2 deki gözlemler sonucu elde edilen ortalama gecikme değerlerini baz alacağız. Yapay sinir ağında 20 adet veri eğitim seti ve 10 adet veri test

seti olarak kullanılacaktır. Tablo-3 de eğitim setlerinden bazıları ve Tablo-4 de test setlerinden bazılarına yer verilmiştir.

Tablo-3 Eğitim verilerinden bazıları

Kırmızı Süre(sn)	Trafik Hacmi (taşıt/saat)	Kuyruktaki ortalama taşıt sayısı	Gözlem
52	72	3	25,41
49	169	4	20,6
56	194	5	23,54
52	235	6	27,4
52	283	7	24,71
56	390	8	35,37
36	432	8	25,75
55	587	9	39,78
51	656	10	37,64
60	814	11	47,69
60	841	12	49,03
50	1000	15	57,87

Tablo-4 Test verilerinden bazıları

Kırmızı Süre(sn)	Trafik Hacmi (taşıt/saat)	Kuyruktaki ortalama taşıt sayısı	Gözlem
38	140	4	25,32
58	210	5	38,75
65	274	6	34,00
52	283	7	24,71
36	432	8	25,75
37	550	9	38,89
55	698	10	39,67
60	841	12	49,03
50	944	13	52,20

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sinyalizasyon kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin tahmini amacıyla bulanık mantık ve yapay sinir ağı tekniklerinden faydalanılmıştır. Modelde, trafik hacmi, taşıt kuyruk uzunluğu ve kırmızı sinyal süresi dikkate alınmıştır. Bulanık mantık yaklaşımımızda diğer bulanık mantık çalışmasına göre gözlem sonucuna daha yaklaşık sonuçlar elde ettik. Bulanık mantık kullanan 2 teknikte geleneksel sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde etmesi açısından dikkate değerdir. Ayrıca giriş parametrelerinin artırılması ve üyelik fonksiyonlarının yeniden gözden geçirilmesi ile gözlem değerlerine daha yaklaşık sonuçlar elde etmemiz mümkündür. Bir başka yaklaşımımız olan yapay sinir ağı tekniğinde ise bulanık mantık yaklaşımımıza göre gözlem sonuçlarından biraz daha uzak sonuçlar elde ettik. Elde bulunan veriler ışığında

oluşturduğumuz eğitim ve test setlerindeki verilerin arttırılması yapay sinir ağı tekniğinin daha başarılı olmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada uygulanan Bulanık Mantık ve Yapay sinir ağı tekniklerinin geleneksel yaklaşımlardan daha üstün ve daha az hata payına sahip olması açısından dikkate değerdir.

#### **References (Referanslar)**

[1] Webster, F. V., Traffic Signal Settings, Road Research Technical Paper, No 39, Road Research Laboratory, Her Majesty Stationary Office, London, UK, 1958.

[2] TRB, Special Report 209: Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA, 2000.

[3] Akçelik, R., Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, Research Report 123, Australian Road Research Board, Melbourne, Australia, 1981.

[4] Kimber, R. M., Daly, P. N., Time-Dependent Queuing At Road Junctions: Observation And Prediction, Transportation Research Part B, 20B, pp 187-203, 1986.

[5] Akçelik, R., The Highway Capacity Manual Delay Formula for Signalized Intersections, ITE Journal, pp 23-27, 1988.

[6] Burrow, I., A Note on Traffic Delay Formulas, ITE Journal, pp 29-32, 1989.  
*Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi*  
3916

[7] Başkan, Ö., İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tez çalışması, 108 s., 30.06.2004, Denizli.

[8] Mathworks Inc., Matlab, The language of technical computing, version 6.5, 2002.

[9] Y. Şazi MURAT, Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi, İMO Teknik Dergi, 2006 3903-3916, Yazı 258.