

Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi

Y. Şazi MURAT*

ÖZ

Sinyalize kavşakların tasarımı ve işletilmesinde etkili parametrelerden biri taşıt gecikme süreleridir. Bu çalışma kapsamında taşıt gecikme sürelerinin modellenmesi ele alınmıştır. Gecikmenin belirlenmesi için kullanılan geleneksel yaklaşımlar genellikle başarılı olmasına rağmen, özellikle doymuş üstü trafik koşullarında veya talebin kapasiteye yaklaştığı ve hatta aştığı durumlarda yetersiz kalmaktadır. Bu durum doymuş üstü durumlarda artan gecikmenin yeterince tanımlanamaması, belirsizlikler içermesi ve doğru tahmin edilememesinden kaynaklanmaktadır. Bu eksikliği gidermek amacıyla, trafik hacmi, kırmızı sürenin devre süresine oranı, kuyruktaki ortalama taşıt sayısı parametreleri dikkate alınarak ve bulanık mantık tekniğinden faydalanarak, sinyalli kavşaklardaki taşıt gecikmeleri modellenmiştir. Geliştirilen bulanık mantığa dayalı model, mevcut gecikme tahmini yaklaşımları ve gerçek değerler ile karşılaştırılmış ve ümit verici sonuçlar elde edilmiştir.

ABSTRACT

Fuzzy Logic Vehicular Delay Modeling at Signalized Intersections

Delay of vehicles at signalized junctions is one of the main criteria used for evaluation of performances of control systems. The vehicular delay is defined with two parts as uniform and non-uniform. The uniform part of the vehicular delays is determined basically using conventional delay formulas. But the non-uniform part is not easily determined and can not represent the nature of the problem because of randomness in cases. Therefore, the Fuzzy Logic (FL) approach is employed for this aim and a vehicular delay estimation model has been developed. The model is compared with conventional delay calculation methods and the observations. The comparisons show that the results of the FL model are encouraging especially for the case of randomness or non-uniform conditions.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 18.04.2005 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2006 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli – ysmurat@pamukkale.edu.tr

1. GİRİŞ

Kentiçi trafik akımlarının yönetimi, sinyalize kavşaklarda en uygun denetim sisteminin seçimi ve sistem performansının araştırılması gibi boyutları içermektedir. Denetim sistemlerinin performans ölçütlerinden biri gecikme süresidir. Kavşaklardaki ortalama gecikme süreleri belirlenerek, gerektiği durumlarda denetim sisteminin tüm yapısı veya denetim stratejisi değiştirilir. Bu kararı verebilmek için, kavşaklardaki gecikme sürelerinin en doğru ve kolay biçimde belirlenmesi gereklidir.

Gecikme sürelerini, doğrudan arazi gözlemleri veya matematik modeller ile belirlemek mümkündür. Doğrudan arazi gözlemleri yapmak önemli bir insan gücü veya teknolojik olarak yüksek maliyetli cihazları kullanmayı gerektirmektedir. Dolayısıyla, arazi gözlemlerine en yakın sonuçları veren matematik modeller daha çok tercih edilmektedir.

Gecikme konusu, ilk olarak yaklaşık 50 yıl önce trafik mühendisleri ve araştırmacılar tarafından ele alınmış ve çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modellerden yaygın olarak kullanılanları; Webster [1], HCM [2] ve Akçelik [3] modelleridir. Geliştirilen modeller yardımıyla, taşıtların veya trafik akımlarının ortalama gecikme süreleri, özellikle doygun-altı olarak ifade edilen ve şerit kapasitesinin altında bir trafik hacmi olduğu durumlarda gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Fakat doygun-üstü durumlarda söz konusu modeller gerçek değerleri yansıtmamaktadır. Ayrıca gecikme, çok boyutlu ve doğrusal olarak kolayca tanımlanamayacak bir niteliğe sahiptir. Taşıtların hareket kabiliyetleri, sürücü davranış ve psikolojisi, grup veya dağılık 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. Bu parametrelerin bir kısmı birbirleriyle ilişkili, bir kısmı ise tamamen bağımsızdır. Ayrıca bazı parametreler, (örneğin hava durumu) belirsizlikler içermekte, gecikme olayında etkili rol oynamakta ve geliştirilen matematik modellerde dikkate alınmamaktadır.

Çalışma kapsamında, yukarıda belirtilen eksikliği gidermek ve yeni bir yaklaşım getirmek amacıyla bulanık mantığa dayanan bir gecikme tahmini modeli geliştirilmiştir. Bulanık mantığın temel felsefesinde belirsizliklerin modellenmesi yer almaktadır. Ayrıca çok fazla veriye gereksinim olmadan kolayca model geliştirmek mümkündür. Bu özelliklerden dolayı çalışmada kullanılması öngörülmüştür. Bulanık mantık gecikme modelinde yaklaşım kolundaki trafik hacmi, kuyruktaki ortalama taşıt sayısı ve kırmızı sinyal süresinin devre süresine oranı parametreleri dikkate alınmıştır. Geliştirilen model, arazi çalışmalarında gözlenen değerler, HCM ve Akçelik yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın genel yapısı aşağıda verilmiştir. İkinci bölümde, gecikmenin modellenmesi konusunda geleneksel ve yeni çalışmalar verilmiştir. Üçüncü bölümde bulanık mantık tekniğinin genel yapısı ve modelleme mantığı anlatılmıştır. Önerilen bulanık mantık sinyal gecikme modeli, parametreleri ve karşılaştırmalar dördüncü bölüm kapsamında ele alınmıştır. Beşinci bölümde elde edilen sonuçlar verilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında düşünce ve öneriler ifade edilmiştir.

2. SİNYALLİ KAVŞAKLARDA GECİKME

Sinyalli kavşaklarda gecikme olayı çok boyutlu ve doğrusal olmayan bir yapı sergilemektedir. Gecikmenin belirlenmesi için geliştirilen modellerde trafik hacmi, kuyruk oluşumu, doygunluk derecesi ve taşıt takip aralığı gibi bazı parametreler dikkate

alınmaktadır. Gecikme tahmini çalışmalarından Akçelik [3] ve HCM [2] yaklaşımları, yaygın kullanımı ve güncelliği göz önünde bulundurularak karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır.

2.1. Avustralya (Akçelik) Yöntemi ile Gecikme Hesabı

Bu yöntemle 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,

$$x_0 = 0.67 + sg / 600 \quad (2)$$

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),
 d_1 = Üniform varışlar kabulüyle üniform kontrol gecikmesi (sn/ta),
 PF = Üniform gecikme dizisi düzeltme faktörü (sinyal süreci etkilerini açıklamak için),
 d_2 = Rastgele varışların ve doymun akımdaki kuyrukların etkisini açıklamak için eklenik gecikme. Burada gecikme bileşeni analiz periyodunun başlangıcında, şerit grubu için başlangıç kuyruk durumunun bulunmadığını kabul eder,
 d_3 = Analiz süresi başlangıcındaki başlangıç kuyruğundan dolayı tüm taşıtlara etkiyen gecikme değeri.

2.2.1 Sinyal Koordinasyonu Düzeltme Faktörü (Progression Factor)

İyi bir koordine sinyal sistemi, yeşilde gelen araçların sayısını arttırmaktadır. Sinyal koordine düzeltme faktörü, yarı etkileşimli kontrol sistemlerinde, etkileşimsiz şerit grupları ile sabit zaman kontrollü tüm koordine şerit gruplarına uygulanmaktadır. Etkileşimli şerit grupları için eşgüdümlü denetimin sağlandığı durumlarda da, bu şerit gruplarına sinyal koordinasyonu düzeltme faktörü (Progression Factor- PF) uygulanabilir. PF 'in değeri;

$$PF = \frac{(1-P)f_{PA}}{1-\frac{g}{c}} \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir ve burada;

P = Yeşilde gelen araçların oranı,
 g/c = Yeşil sinyal süresinin devre süresine oranı,
 f_{PA} = Yeşil süre sırasında gelen araçlar için tamamlayıcı düzeltme katsayısı.

Üniform Gecikme: Denklem (7)'deki gecikme tahmin ifadesi, üniform gelişler, kararlı akım ve başlangıçta kuyruk olmaması durumu içindir. Webster'in gecikme formülünün birinci terimine dayanır ve üniform varışların olduğu ideal durum için gecikmenin bulunuşunu ifade eder.

$$d_1 = \frac{0,5c(1 - \frac{g}{c})^2}{1 - [\min(1, x) \frac{g}{c}]} \quad (7)$$

Burada;

- d_1 = Üniform gelişler kabulüyle üniform kontrol gecikmesi (sn),
 c = Devre süresi (sn),
 g = Şerit grupları için etkin yeşil süre (sn),
 x = Şerit için doygunluk oranı,

Eklenik gecikme: Denklem (8)'de verilen formül ile üniform olmayan gelişlerle rastgele gecikmelere bağlı eklenik gecikmeler ve doygun akım gecikmeleri tahmin edilir. Bu denklemde, analiz periyodunun başlangıcında kuyruk oluşumuna sebep olacak beklenmedik bir talebin olmadığı kabul edilir. Eğer başlangıç kuyruğu yok ise d_3 değeri de 0 alınır. Aksi takdirde d_3 'ün hesaplanması için HCM (2000)'nin Ek F kısmından yararlanılabilir.

$$d_2 = 900T[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8klx}{cT}}] \quad (8)$$

Burada;

- d_2 = Rastgele gelişlerin etkisini açıklamak için eklenik gecikme. Bu gecikme bileşeninde analiz periyodunun başlangıcında şeritte kuyruk olmadığı kabul edilmektedir.
 T = Analiz periyodu,
 k = Eklenik gecikme faktörü,
 l = Ölçüm düzeltme faktörü,
 c = Şerit grubu kapasitesi(ta/sa),
 x = Doygunluk derecesi.

Eklenik Gecikme Kalibrasyon Faktörü: Denklem (8)'e dahil edilmiş olan kalibrasyon katsayısı (k) kontrol tipinin gecikmeye etkisini ifade eder. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemleri için $k=0,5$ alınır.

Ölçüm Düzeltme Faktörü: İzole kavşakların sinyal analizinde ölçüm düzeltme faktörü $l=1$ olarak alınmaktadır [2].

2.3. Önceki Çalışmalar

Taşıt gecikmelerinin tahmini için, önceki bölümde verilen yaklaşımlara ek olarak, pek çok yaklaşım ortaya konmuş ve modeller geliştirilmiştir. Bu çalışmalarda özellikle gecikmenin rastgele olan kısmı ele alınmış, kuyruğa dayalı gecikme ve bazı parametreler ilave edilerek açıklanmaya çalışılmıştır.

Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi

Kimber ve Daly [4], gecikme hesabında kuyruk uzunluğunun etkisini dikkate almış ve zamana bağlı kuyruk modeli geliştirmiştir. Zirve saatlerde 8 yol kesitinde gözlem yapmıştır. Gözlemlerde taşıt aralıkları ve taşıtların kuyruktaki pozisyonları dikkate alınmış ve gecikme modeli bu parametrelere göre geliştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda geliştirilen modelin özellikle kuyruğa dayalı gecikmeyi açıklamak amacıyla kullanılabilmesi ortaya çıkmıştır.

Akçelik [5], yolların kapasitesi el kitabının (HCM-1985) baskısındaki gecikme bağıntısını ele almış ve bir kalibrasyon işlemi önermiştir. Kalibre ettiği gecikme bağıntısını Avustralya ve Kanada yöntemleri ve TRANSYT programı ile karşılaştırmış ve doygun altı ve doygun trafik koşulları için benzer sonuçlar elde etmiştir.

Burrow [6], Akçelik'in HCM 1985 için önerdiği gecikme bağıntısı ile ilgilenmiş ve bazı faktörlerin ilave edilmesini ortaya atmıştır. Bu faktörler, trafik akımlarındaki değişimi ve zirve ve zirve dışı trafik taleplerindeki farklılıkları içermektedir.

Prevedouros ve Koga [7], HCM gecikme bağıntısı ile ilgilenmiş ve 1985 versiyonu ile 1994 versiyonlarını karşılaştırmıştır. Yenilenen gecikme bağıntısının gerçeğe yakın değerler verdiğini belirlemiştir. Ayrıca HCM de kabul edilen ideal doygun akım değerinin gerçek değerlerden farklı olduğunu ve gecikme hesabını etkilediğini vurgulamıştır.

Powell [8], HCM'nin 1997 yılı baskısındaki gecikme bağıntısını iyileştirmek amacıyla yavaşlama ve hızlanma gecikmelerini temsil eden bazı düzeltme faktörleri önermiştir. Bu düzeltme faktörleri, serbest akım koşullarındaki taşıtların ortalama hızı ve kuyruktaki taşıt sayısına bağlıdır. Çalışma sonucunda, başarılı sonuçlar elde edilmiş ve ağır taşıt etkisi, arazi koşullarındaki değişimler gibi bir dizi faktörün de gelecek çalışmalarda dikkate alınması gerektiği önerilmiştir.

Quiroga ve Bullock [9] coğrafi bilgi sistemleri ve küresel konumlandırma sistemleri yardımıyla taşıtların gecikmelerinin ölçülebileceğini gösteren bir çalışma yapmıştır. Toplam gecikmenin bileşenlerini hız-zaman, hız-mesafe ve ivme-zaman ilişkileri yardımıyla belirlemiştir. Ayrıca, hızlanma ve yavaşlama gecikmelerinin kabul edilen değerlerin üzerinde olduğu vurgulanmıştır.

Taşıt gecikmeleri konusu, Qiao ve diğerleri [10] tarafından ele alınmış ve bulanık mantığa dayalı bir benzetim modeli geliştirilmiştir. Bu modelde HCM'nin 2000 yılı baskısında verilen gecikme bağıntısı bulanık mantık ile modellenmiştir. Model, Hong Kong'daki gerçek bir kavşakta test edilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen bulanık mantık modelinin HCM bağıntısına göre gerçek değerlere daha çok yaklaştığı anlaşılmıştır.

Dion ve diğerleri [11], gecikme hesabında kullanılan farklı analitik modelleri INTEGRATION isimli bir yazılım programı ile karşılaştırmıştır. Tüm gecikme modellerinin özellikle düşük trafik talebi durumunda benzer sonuçlar verdiğini, fakat trafik talebinin kapasiteye yaklaştığı durumlarda farklılıkların ortaya çıktığını belirlemiştir.

Washburn ve diğerleri [12], sinyal tasarımı konusunda 3 yazılımın performansını gecikme kriterini dikkate alarak karşılaştırmıştır. Karşılaştırılan yazılımların tamamında, HCM'nin 1997 baskısındaki gecikme hesabı yaklaşımı dikkate alınmasına rağmen, farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu farklılıkların, bağıntıdaki koordine düzeltme faktöründen kaynaklandığı vurgulanmıştır. Çalışmanın sonunda, ele alınan yazılımların karşılaştırmalı olarak özellikleri sıralanmıştır.

Yukarıda ifade edilen tüm çalışmalarda, önemli bulgulara ulaşılmasına rağmen, gecikmenin belirlenmesindeki belirsizlikler devam etmektedir. Örneğin kuyruktaki taşıt sayısı bir devrede temizlenebilir olmasına rağmen sürücülerin algılama düzeyinin düşük olması veya yavaş hareket etmesi nedeniyle, takip aralığı değişmekte, kuyruk iki veya daha fazla

devrede temizlenmekte ve dolayısıyla gecikme süresinde beklenmedik bir artış meydana gelmektedir. Bu kapsamda, kuyruktaki taşıt sayısı ve sürücü davranışları belirsizlik içeren parametreler olarak gecikme olayında etkili olabilmektedir. Bunun dışında, konu ile ilgili olarak sürücü psikolojisi, yaşı, hava durumu gibi pek çok diğer parametre sayılabilir. İfade edilen belirsizliklerin giderilebilmesi veya tanımlanması ve çeşitli trafik koşullarında sinyalizasyon kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin tahmini amacıyla, bu çalışma kapsamında, bulanık mantığa dayalı bir yaklaşım getirilmiştir.

3. BULANIK MANTIK TEKNİĞİ

Küme teorisinden yola çıkılarak geliştirilen bulanık mantık tekniği, özellikle, çoklu değerler ile değerlendirme yapması nedeniyle problemlerin çözümünde kolaylık ve gerçeğe yakınlık gibi üstünlüklere sahip olmaktadır. Klasik kümede sadece iki değer (0 ve 1) söz konusudur. Bundan dolayı, ele alınan problemler kolaylıkla çözülememektedir. Bu problem, klasik mantığın kabulü olan var-yok çiftinin ara değerlerini tanımlamakla ortadan kaldırılabilir. Şekil 1 a.'da gösterildiği gibi klasik A kümesi (uzun boylu insanlar kümesi), bulanık küme kapsamında değerlendirildiğinde, kümenin elemanı olma veya olmama hali belirli üyelik dereceleri ile ifade edilmektedir (Şekil 1.b). Buna göre A bulanık kümesinin elemanları ve üyelik dereceleri liste olarak aşağıdaki biçimde verilmektedir:

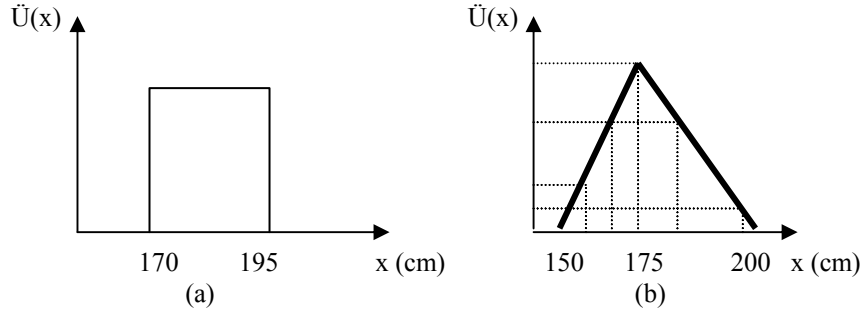
$$A = \{ 0.2/160 + 0.9/170 + 1/175 + 0.8/180 + 0.1/196 \}$$

İfadeden anlaşıldığı üzere, klasik küme kavramında eleman olarak kabul edilmeyen 160 ve 200 cm.'lik boyların da bulanık küme kavramında belirli bir üyelik derecesi ile eleman olarak kabulü söz konusu olmaktadır. Bu kabul aslında gerçek hayata dayanmaktadır. Çünkü gerçek hayatta da bir çok olayı keskin sınırlarla ifade etmek hatalı olmaktadır. Dolayısıyla bir esneklik tanıyarak ele almak daha çok gerçeğe yaklaşmayı sağlamaktadır. Bulanık küme teorisinin ortaya atılmasından sonra, Zadeh, bulanık küme teorisinin, en büyük yaklaşıklıkla insanın karar verme sistemini modelleyebilecek yeterlilikte olduğu fikrini ortaya atmış ve bu doğrultuda çalışmalar gerçekleştirmiştir [13].

Bulanık mantık, problemleri daha esnek değerlendirme imkanı sağlamanın yanında, günlük hayatta sıklıkla kullanılan belirsiz sözel ifadeleri de kolayca ve sayısal olarak tanımlamaya oldukça elverişlidir. Örneğin “suyu ılıklaştır”, “yemeği biraz pişir”, “hava çok rüzgarlı” ifadelerinde yer alan “ılık”, “biraz”, “çok” kelimeleri belirsiz ama rastgele olmayan kelimelerdir. Klasik mantık yaklaşımı ile bu belirsiz ifadeleri gerçeğe yakın biçimde tanımlamak çok zordur. Fakat bulanık mantık ile bu kelimeler kolayca ve fazla ilave bilgiye ihtiyaç duyulmadan tanımlanabilir. Bu ve bunun gibi sayılabilecek pek çok üstün özelliklerinden dolayı bulanık mantık yaklaşımı, tasarımcılar ve mühendisler tarafından kabul görmüş ve çeşitli modeller geliştirilmiştir [14].

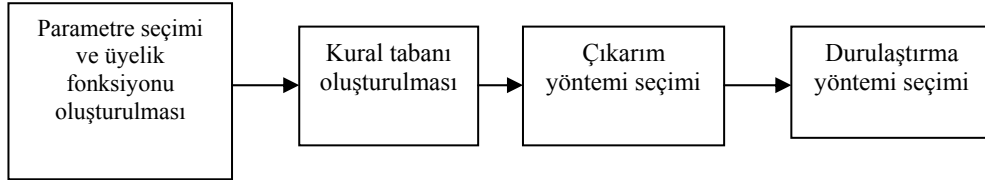
Bulanık mantık modellemenin ilk aşaması, problemin tanımlanması ve buna göre uygun parametrelerin seçilerek üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasıdır. Daha sonra ilgili parametreler ve oluşturulan bulanık alt kümelerle göre problemin çözümünü içeren kurallar dizisi veya kural tabanı oluşturulur. Üçüncü aşamada ise, bu kurallardan ve tümevarım ya da tümdengelim yolu ile geliştirilen birtakım çıkarım yöntemleri (En büyük- en küçük, en büyük çarpım v.b. gibi) seçilir [15]. Son aşamada ise, bulanık olan değerlerin tekrar durulaştırılması veya klasik sayılara dönüştürme yöntemi (ağırlık merkezi, ağırlıklı ortalama v.b.) belirlenir. Bulanık mantık sisteminin çalışma yapısı Şekil 3'te gösterilmiştir [16].

Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi

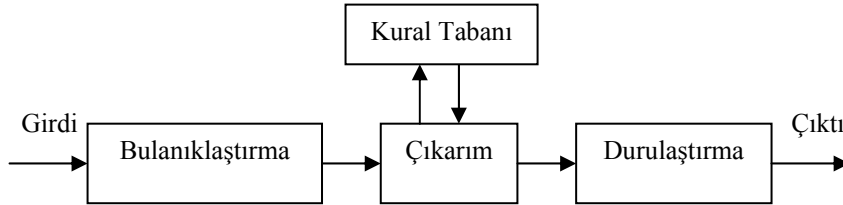


Şekil 1 Uzun Boylu İnsanlar kümesinin (a) Klasik ve (b) Bulanık gösterimi

Bulanık mantık modelleme aşamaları Şekil 2'deki gibi verilebilir.



Şekil 2 Bulanık mantık modelleme aşamaları.



Şekil 3 Bulanık mantık sisteminin genel yapısı

Şekil 3'te görüldüğü gibi, öncelikle girdiler üyelik fonksiyonları ile değerlendirilerek bulanıklaştırılır. Daha sonra, seçilen çıkarım yöntemine göre ve kural tabanından faydalanarak çıkarım yapılır ve elde edilen bulanık sonuç durulaştırılarak klasik sayı haline dönüştürülür.

Yukarıdaki ifadelerden anlaşıldığı üzere, bulanık mantık yardımı ile, özellikle belirsizlikler içeren, doğrusal olmayan ve eksik verilerin bulunduğu problemler kolayca modellenebilmektedir. Bu yapısı nedeni ile, öncelikle kontrol, karar verme ve tahmin problemleri olmak üzere pek çok alanda bulanık mantık yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [17]. Bu çalışmada sinyalli kavşaklarda taşıtların ortalama gecikmesini tahmin amacı ile bulanık mantık gecikme modeli geliştirilmiştir.

4. BULANIK MANTIK GECİKME MODELİ

Bulanık mantık gecikme modelinde, yaklaşım kolundaki trafik hacmi, kırmızı sinyal süresinin devre süresine oranı ve kuyruktaki ortalama taşıt sayısı dikkate alınmış ve bu parametrelere göre gecikme tahmin edilmiştir.

Model çalışmasında kullanılan gecikme değerleri, Denizli ve İzmir’de izole olarak tesis edilmiş çeşitli kavşaklarda yapılan gecikme etütlerinden sağlanmıştır [18]. Gözlenen trafik hacimleri saatlik olarak 50-1000 taşıt aralığındadır. Gözlemler sabah (7.30-8.30), öğle (12.30-13.30) ve akşam (16.30-17.30) olmak üzere zirve saatlerde yapılmıştır. Gözlem süresi boyunca (1 saat) her bir kavşak kolunda kırmızı, sarı ve yeşil süreler ölçülerek gözlem föyüne yazılmıştır. Gecikme değerlerini gözlemek üzere, kavşak kolunda oluşan kuyruk uzunluğuna göre ve bu uzunluğun dışında kalmak üzere bir nokta seçilmiş ve taşıtın bu noktadan geçişi ile kavşağı terk etmesi arasında geçen zaman gecikme olarak gözlem föyüne yazılmıştır. Ayrıca gözlem süresi boyunca (1 saat) kavşaktan geçen toplam araç sayısı gözlenmiş ve ortalama gecikme değeri, gözlem süresi boyunca geçen taşıtların toplam gecikmelerinin toplam taşıt sayısına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Gözlemler, genellikle ikişer şerit bulunan yaklaşım kollarındaki her bir şerit için yapılmıştır. Toplam 10 sinyalli kavşaktan, yalnızca dört kavşakta üçer şeritli yaklaşım kollarının bulunduğu kaydedilmiştir.

4.1. Model Parametreleri

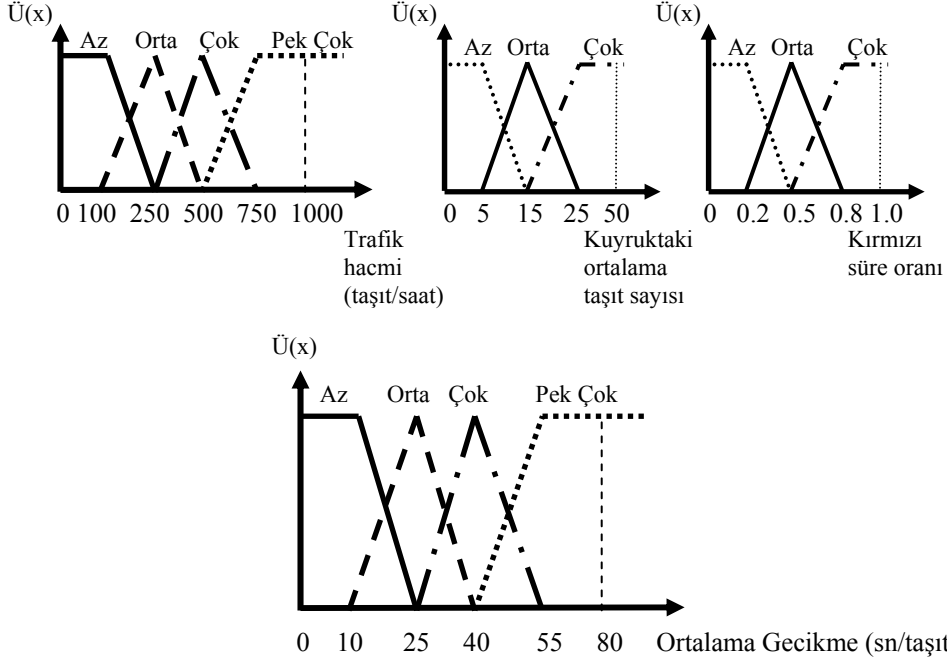
Model parametrelerinin belirlenmesinde gecikme olayının yapısı ve etkili koşullar dikkate alınmış, kolayca genişletilebilir ve güncellenebilir bir model geliştirilmiştir. Trafik hacmi, şeritteki ortalama kuyruk uzunluğu, ve kırmızı sinyal süresinin devre süresine oranı belirleyici parametreler olarak dikkate alınmıştır.

Parametrelerin üyelik fonksiyonlarının tespitinde, gözlemlerden elde edilen verilerin, maksimum, minimum değerleri ve standart sapması göz önünde bulundurulmuştur. Parametreler ve üyelik fonksiyonları Şekil 4’te gösterilmiştir. Kural Tabanından örnekler Tablo 1’de verilmiştir.

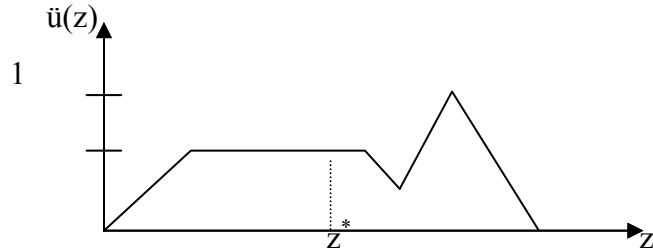
Bulanık mantık gecikme modelinin üyelik fonksiyonları ve kural tabanının oluşturulması için MATLAB [19] yazılımının bulanık mantık işlevinden faydalanılmıştır. Durulaştırma için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Ağırlık merkezi yöntemi, bulanık mantık tekniğinde en yaygın olarak kullanılan durulaştırma yöntemidir. Birleşik çıkarım şeklinin ağırlık merkezinde yer alan üyelik derecesine karşılık gelen sayının bulunması ilkesine dayanmaktadır. Şekil 5 'te gösterilen bu yöntemin matematik ifadesi denklem 9’da verilmiştir.

$$z^* = \frac{\int \ddot{u}_c(z) \cdot z dz}{\int \ddot{u}_c(z) dz} \quad (9)$$

Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi



Şekil 4 Bulanık mantık gecikme tahmin modeli parametreleri ve üyelik fonksiyonları



Şekil 5 Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma.

4.2. 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. Webster [1] yöntemi özellikle doyumluk derecesinin 1'den büyük olduğu durumlarda anlamsız değerler verebildiğinden dolayı dikkate alınmamıştır.

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, geleneksel yöntemlerin özellikle doyum üstü trafik koşullarında, gerçek değerlerden çok uzaklaşmasına rağmen, bulanık mantık gecikme modelinin, gerçek değerlere yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Karşılaştırma sonuçları Tablo 2 ve Şekil 5'te gösterilmiştir.

Tablo 1 Bulanık mantık gecikme modeli kural tabanından örnekler

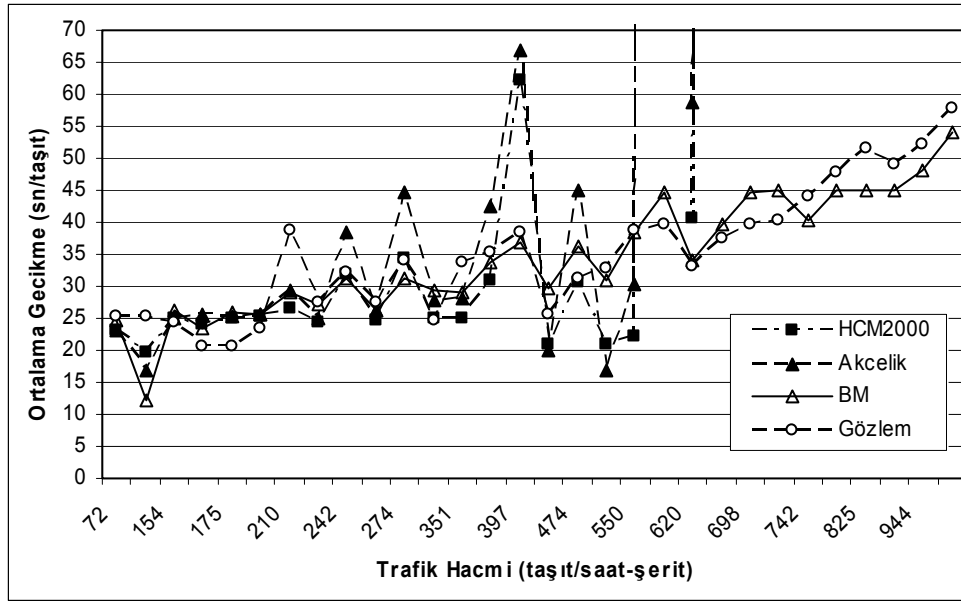
1.Eğer TH Az ve KOTS Az ve KSO Az ise OG Az
3.Eğer TH Az ve KOTS Çok ve KSO Az ise OG Orta
.
8.Eğer TH Az ve KOTS Orta ve KSO Çok ise OG Orta
.
16.Eğer TH Orta ve KOTS Az ve KSO Çok ise OG Orta
.
36.Eğer TH Pekçok ve KOTS Çok ve KSO Çok ise OG Pekçok

Tablo 2 Gecikme bağıntıları ile bulanık mantık gecikme modeli sonuçlarının karşılaştırılması

Test Verileri	Devre Süresi (sn)	Kırmızı Süre(sn)	Trafik Hacmi (taşıt/saat-şerit)	Kuyruktaki ortalama taşıt sayısı	Ortalama Gecikme (sn/taşıt)			
					HCM 2000	Akçelik	BM modeli	Gözlem
1	87	52	72	3	24,88	23,05	25,1	25,41
2	84	38	140	4	19,39	16,83	22,7	25,32
3	91	56	154	4	28,80	25,07	31,1	24,45
4	84	49	169	4	29,10	25,68	30,6	20,6
5	91	56	175	4	29,38	25,36	31,6	20,64
6	91	56	194	5	29,95	25,74	31,1	23,54
7	90	58	210	5	32,95	29,30	32,3	38,75
8	87	52	235	6	29,00	24,96	30,3	27,4
9	102	65	242	6	40,99	38,29	32	32,10
10	91	56	263	6	24,73	26,30	26,30	27,40
11	102	65	274	6	44,27	44,55	32	34,00
12	87	52	283	7	25,11	27,66	29,40	24,71
13	87	52	351	8	24,86	28,23	29,00	33,87
14	90	56	390	8	30,99	42,56	33,70	35,37
15	88	57	397	8	62,15	66,90	37,00	38,48
16	87	36	432	8	23,58	20,05	26,1	25,75
17	83	50	474	8	30,74	45,12	36,40	31,24
18	104	41	500	8	20,89	16,82	30,80	32,95
19	78	37	550	9	22,13	30,21	38,40	38,89
20	85	55	587	9	899,23	512,79	44,60	39,78
21	87	36	620	9	47,46	58,61	28,1	33,16
22	90	51	656	10	441,35	251,12	39,80	37,64
23	85	55	698	10	1403,83	1095,21	44,60	39,67
24	88	60	738	10	1547,01	1327,42	45,00	40,45
25	88	42	742	10	681,82	444,09	36,4	44,20
26	88	60	814	11	1888,77	1960,77	45,00	47,69
27	90	60	825	12	2204,36	2514,37	45,00	51,66
28	88	60	841	12	2010,21	2224,88	45,00	49,03
29	78	50	944	13	1987,42	2454,01	48,20	52,20
30	90	50	1000	15	1489,69	730,62	54,10	57,87

Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi

Tablo 2 ve Şekil 5'te verilen karşılaştırmalar sonucunda, BM gecikme modeli sonuçlarının, gözlem değerleri ile uyumlu bir eğilim sergilediği belirlenmiştir. Trafik hacimleri açısından değerlendirildiğinde, özellikle saatlik olarak 300 taşıt ve daha az olduğu durumlarda, HCM 2000 ve Akçelik gecikme bağıntıları ve BM modelinin birbirine yakın sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Yüksek trafik hacmi olarak nitelendirilebilecek 600 taşıt/saat-şerit ve daha büyük olan hacimler için ise, BM gecikme modelinin açık bir şekilde üstün olduğu ve gözlem değerlerini daha gerçekçi biçimde temsil ettiği belirlenmiştir. HCM 2000 ve Akçelik gecikme bağıntılarının yüksek trafik hacimlerinde gerçek değerlerden uzaklaştığı ve abartılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 5 Gecikme bağıntıları ile bulanık mantık model sonuçlarının karşılaştırılması

Karşılaştırılan veriler için ortalama mutlak hata, toplam karesel hataların ortalamaları ve ortalama nisbi hata değerleri hesaplanmış ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 Ortalama hata değerleri

	HCM 2000	Akçelik	BM modeli
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	473.37	440.74	3.57
Karesel Hataların Ortalaması (MSE)	769829	796087	20.09
Ortalama Nisbi Hata (%)	1012.96	933.69	11

Ortalama mutlak hata değeri, model değerleri ile gerçek değerler farkının mutlak değerinin toplam veri sayısına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Karesel hataların ortalaması ise, her veri için hesaplanan mutlak hataların karesinin ortalamasının belirlenmesi ile elde edilmiştir. Ortalama nisbi (görelî) hata değeri de, yine her bir veri için hesaplanan mutlak hatanın gözlem değerine bölünmesi ile tespit edilmiştir.

Tablo 3'te görüldüğü üzere, BM modeli, en küçük ortalama hata değerlerini vermiştir. Bu durumda gerçek değerlere en yakın sonuçları verdiği anlaşılmıştır. BM gecikme tahmin modeli HCM 2000 ve Akçelik gecikme bağıntılarına seçenek olarak kullanılabilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sinyalizasyon kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin tahmini amacıyla bulanık mantık tekniğinden faydalanılmıştır. Gecikme olayının doğrusal olmayan karmaşık yapısı ve belirsizlikler içermesi nedeniyle bulanık mantık tekniği kullanılmıştır. Modelde, trafik hacmi, taşıt kuyruk uzunluğu ve kırmızı sinyal süresi dikkate alınmıştır. BM gecikme modeli arazi çalışmasından elde edilen değerler kullanılarak süregelen bazı yaklaşımlar ile karşılaştırılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle doygun ve doygun üstü trafik koşulları olarak adlandırılan talebin kapasiteye çok yakın veya üzerinde olduğu durumlarda, BM modelinin gerçek değerleri başarılı biçimde temsil ettiği, Akçelik ve HCM bağıntılarının ise, gerçek gecikme değerinden oldukça farklı sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Çalışma, bulanık mantık gibi esnek ve uyarlanabilir bir modelleme tekniğinin trafikteki gecikme tahmininde uygulanabilirliğini göstermiştir.

BM modelini genişletmek veya yeni parametreler ilave etmek oldukça kolaydır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, devre süresi, takip aralığı, hava durumu v.b. gibi diğer bazı etken parametrelerin de modelde temsil edilmesi ile, çeşitli trafik ve yol koşulları için gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek olanaklı görünmektedir. BM gecikme modelinde kullanılan parametrelerin üyelik fonksiyonları çeşitli deneyler ile elde edilmiştir. Söz konusu fonksiyonların sınırlarının, genetik algoritmalar veya yapay sinir ağları yardımıyla belirlenmesi ile model daha fazla geliştirilebilir. Ayrıca gelecekte yapılabilecek çalışmalarda, koordine veya trafik uyarımlı sinyalizasyon sistemleri için bulanık mantık tekniği ile gecikme modelleri geliştirilmesi ve ilginç sonuçlar elde edilmesi mümkündür.

Kaynaklar

- [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

- [7] Prevedeorus, P. D., Koga, C. A., Comparison of 1985 and 1994 HCM: Signalized Intersection Delay Estimates, ITE Journal, pp 26-30, 1996.
- [8] Powell, J. L., Field Measurement of Signalized Intersection Delay for 1997 Update of the Highway Capacity Manual, Transportation Research Record, Paper No.1416, 1998.
- [9] Quiroga, C. A., Bullock, D., Measuring Control Delay At Signalized Intersections, Journal of Transportation Engineering, 125, pp 271-280, 1999.
- [10] Qiao, F., Yi, P., Yang, H. and Devarakonda, S., Fuzzy Logic Based Intersection Delay Estimation, Mathematical and Computer Modelling, pp 1425-1434, 2002.
- [11] Dion, F., Rakha, H. and Kang, Y. S., Comparison of Delay Estimates at Under-Saturated and Over-Saturated Pre-Timed Signalized Intersections, Transportation Research Part B, 37, pp 1-24, 2003.
- [12] Washburn, S. S., Larson, N., Signalized Intersection Delay Estimation: Case Study Comparison of TRANSYT-7F, Synchro and HCS, ITE Journal, pp 30-35, 2002.
- [13] Zadeh, L.A., Fuzzy Sets. Information and Control, Vol. 8, No.3., 1965.
- [14] Zimmerman, H.J., Fuzzy Set Theory and Its Applications. Kluwer Ac. Publishing, 400p., 1990.
- [15] Ross, T., Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill Inc., ISBN 0-07-053917-0., 1995.
- [16] Kaynak, O. ve Armağan, G., Süreç Denetiminde Yeni bir Yaklaşım: Bulanık Mantık, Otomasyon Dergisi, Temmuz-Ağustos 1992 sayısı, sayfa 74-82, 1992.
- [17] Murat, Y.Ş., Gedizlioğlu, E., A Fuzzy Logic Multi-phased Signal Control Model for Isolated Junctions, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 13, pp 19-36, 2005.
- [18] 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.
- [19] Mathworks Inc., Matlab, The language of technical computing, version 6.5, 2002.