

SİNYALİZE KAVŞAKLARDA GECİKME TAHMİNİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ II :ÖNERİLEN GECİKME MODELİNİN DEĞİŞEN ZAMAN VE AKIM KOŞULLARINA BAĞLI ÇÖZÜMLEMESİ

Ali Payıdar AKGÜNGÖR

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
71451, Yahşıhan, Kırıkkale, Türkiye

ÖZET

Bu makalenin amacı, bir önceki makalede geliştirilen gecikme modelinin TRAF-NETSIM benzetim programı yardımı ile değişen akım ve zaman koşullarına bağlı olarak ve özellikle de aşırı doymun trafik akımlarını da göz önüne alarak güvenilirliğini araştırmak ve modeli geçerli kılmaktır. Bu amacı başarmak ve gecikme modelini test edebilmek için benzetim tekniğine dayanan bir çalışma yapılmış ve değişik trafik ve zaman koşullarını yansıtmaları için 48 adet farklı senaryo tasarlanmıştır. Benzetim modelinden elde edilen gecikme tahminleri ile geliştirilen modelden elde edilen gecikme tahminleri doğrusal regresyon çözümlemesi kullanılarak istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Çözümleme sonuçları modelden ve simülasyondan elde edilen gecikme tahminlerinin birbirine yakın olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Gecikme tahmini, Benzetim, TRAF-NETSIM, Doğrusal regresyon

MATHEMATICAL MODELING OF DELAY ESTIMATION AT SIGNALIZED INTERSECTIONS II :THE ANALYSIS OF PROPOSED DELAY MODEL DEPENDENT ON VARIABLE DEMAND AND TIME CONDITIONS

ABSTRACT

The objective of this study is to calibrate and verify the delay model developed in the accompanying paper using TRAF-NETSIM simulation program. The model is time-dependent for signalized intersections suitable for variable demand and time conditions including oversaturated conditions. In the calibration and verification of the model, a simulation study was performed to produce the various traffic and time conditions using 48 different scenarios. The delays obtained from the simulations and the proposed model were statistically compared using linear regression analysis. The results indicated a good agreement between delays generated by the simulations and delays estimated by the proposed model.

Key Words: Delay estimation, Simulation, TRAF-NETSIM, Linear regression.

1. GİRİŞ

Bilgisayar benzetim tekniği, diğer mühendislik bilimlerinin yanı sıra trafik mühendisliği tarafından da yaygın olarak kullanılan bir teknik olup bu teknik sayesinde trafik mühendisleri gerçek hayatta karşılaştıkları karmaşık problemleri çözebilmekte ve trafikle ilgili farklı stratejileri değerlendirebilmektedir. Trafik sistemlerini yansıtan benzetim modelleri genel olarak mikroskopik ve makroskopik benzetim modelleri olmak üzere iki grupta toplanır. Mikroskopik modeller trafiği bireysel araç bazında modellerken, makroskopik modeller trafiği bir bütün olarak ele alıp trafik akışını modellemektedir (1, 2). Bu araştırmada da geliştirilen zamana bağlı gecikme modelini geçerli hale koymak ve performansını test etmek için “Birleştirilmiş Sistem Trafik Programı” olan TSIS (Traffic Software Integrated System) kullanılmıştır (3,4).

TSIS'in ana bölümünü trafik benzetim modeli olan CORSIM oluşturmaktadır. CORSIM (CORridor SIMulation) mikroskopik bir benzetim modeli olup Amerika'daki Federal Karayolları İdaresi (FHWA) tarafından otoyollardaki, şehir içi caddelerdeki ve bunların birleşerek oluşturdukları yol ağlarındaki trafik akımının benzetimini yapmak için geliştirilmiştir (5-7). CORSIM, NETSIM (NETwork SIMulation) (8-11) ve FRESIM (FREeway SIMulation) benzetim modellerinin bir karışımı olup birleştirilmiş bir yol ağındaki trafik akımının araç bazında benzetimini yapabilmektedir. Bu çalışmada geliştirilen model, şehir içindeki sinyalize kavşaklarda gecikme tahmininde kullanılacağından dolayı modelin benzetim tekniğine dayalı incelenmesinde sadece NETSIM programı kullanılmıştır.

NETSIM tarafından benzetimi yapılacak olan kavşak, birleştirilmiş trafik benzetim sistemleri için interaktif trafik ağı veri editörü olan ITRAF (12-13) ile kolaylıkla tasarlanmaktadır. ITRAF'ın en büyük avantajı kod girilmesine ihtiyaç olmaksızın yol ağı kurulurken veri yapısını kendisinin oluşturması ve aynı zamanda hata denetimi yaparak kullanıcıyı bilgilendirmesidir.

Birleştirilmiş sistem trafik programında benzetim sonuçları bir grafik işlemci olan TRAFVU (14-15) (TRAF Visualization Utility) tarafından görsel olarak da kullanıcıya verilmektedir. TRAFVU benzetim için girilen verileri grafiksel bir ortamda sunmakta, incelenen bir yol ağı veya kavşaktaki trafik akımının ve sinyal sisteminin animasyonunu yapmaktadır. Aynı zamanda TRAFVU benzetim sonuçlarına göre etkinlik ölçülerinin belirlenmesinde kullanılan istatistikleri tablo veya grafik olarak da verebilmektedir.

Bir önceki makalede geliştirilen gecikme modeli, sinyalize kavşaklarda gecikme tahmini için yaygın olarak kullanılan diğer modellerle karşılaştırılmış ve modelin tahmin ettiği sonuçların gerçeğe uygun olduğu görülmüştü. Ancak karşılaştırma sadece analitik bir çalışma olduğundan dolayı akım profilinin değiştiği durumlar için modelin performansını yansıtamadı. Bu yüzden geliştirilen modelin performansını aşırı doymuş trafik koşullarını da göz önüne alarak değişen akım ve zaman koşullarına bağlı olarak görebilmek ve modeli geçerli hale koyabilmek için farklı trafik ve zaman koşullarının kıyaslandığı benzetim tekniğine dayalı bir çalışma yapıldı.

2. PERFORMANS ÇALIŞMASI İÇİN KAVŞAK VE SENARYO TASARIMI

Arazide gecikme ölçümünün zor olması ve sınırlı sayıda verinin kullanılması nedeniyle modelin uygulanabilirliğinin ortaya konması için yapılan performans çalışmasında TRAF-NETSIM benzetim modeli kullanıldı. Bu çalışma da benzetim tekniğinin kullanılmasının diğer nedenleri ise benzetim sonuçlarının gerçek hayata göre daha çabuk elde edilmesi, bazı değişkenlerin sabit tutulabilmesi ve arazide karşılaşılamayan bazı trafik koşullarının benzetim ortamını ile elde edilmesiydi.

Yapılacak olan benzetim için her yaklaşımda bir şerit olan 4 ayaklı ve sabit zamanlı trafik ışıkları ile yönetilen bir kavşak tasarlandı. Başlangıçtaki kayıp zaman 2 sn, serbest akım hızı 48 km/st, ana ve tali yaklaşımlar için şerit genişlikleri 3,65 m, tali yaklaşım uzunluğu 914 m ve ana yaklaşım uzunluğu 1220 m olarak belirlendi. Yaklaşım uzunluklarının bu kadar büyük tutulmasının nedeni kuyruklanmaya bağlı olarak kavşağın kilitlenmesini önlemektir. Yapılan bütün benzetimlerde, tali yaklaşımlar da doymuş olmayan trafiğin var olduğu kabul edildi ve doymuşluk derecesi olarak 0,5 değeri seçildi. Böylece büyük çözümleme süreleri için tali yolun kavşağı kilitlenmesi ve dolayısıyla de ana yaklaşım üzerindeki gecikmeyi yapay olarak arttırması engellenmiş oldu. Kavşakta toplam devre süresi 90 sn olarak seçilirken ana ve tali yaklaşımlar için yeşil ışık sürelerinin dağılımı ise sırasıyla 50 ve 30 sn olarak kabul edildi.

Modelin performans çalışmasında, benzetim süresi olarak 60 dakika seçildi ve bu 60 dakika trafik akımındaki dalgalanmayı yansıtmak için birbirini takip eden 3 farklı zaman dilimine bölündü. Birinci zaman dilimi başlangıç dilimi olup uzunluğu 5 dakika olarak belirlendi ve bu dilimdeki bütün senaryolar için 0,7 doymuşluk derecesi kullanıldı. İkinci zaman dilim gerçek çözümleme süresini yansıtmakta idi. Bu zaman diliminde doymuşluk derecesi 1,1 ile 1,4 değerleri arasında değişen 4 adet aşırı doymuş trafik akımı göz önüne alındı. Bu zaman diliminde ki çözümleme süresi ise 5 dakikadan 30 dakikaya kadar değişen 6 adet çözümleme süresi seçildi. Son zaman dilimi dağılım zaman dilimi idi ve bu zaman dilimindeki doymuşluk dereceleri 0,5 ve 0,7 değeri kabul edildi. Son zaman diliminin süresi ise ikinci zaman diliminde oluşan aşırı trafik akımının dağılımına bağlı olarak değişmekte idi. Böylece modelin performansını test etmek ve modeli geçerli hale koymak için 48 adet farklı senaryo ele alınmış oldu.

Benzetim yapılırken farklı rasgele numaralar kullanıldığından dolayı aynı senaryo için farklı gecikme değerleri tahmin edildi. Her senaryo için benzetim 10 defa tekrarlandı. Kavşakta 2 adet ana yaklaşım

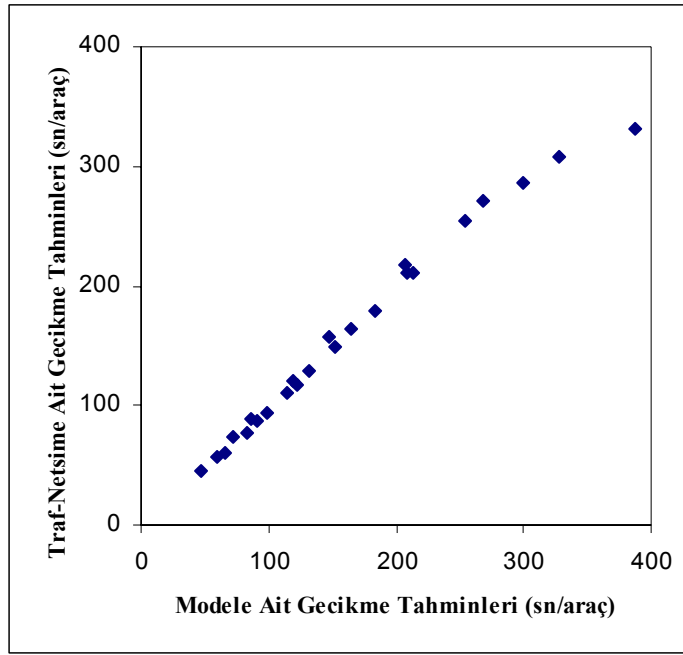
olduğundan dolayı her senaryodan 20 adet gecikme tahmini bulundu. Sonuç olarak toplam 48 senaryo için 480 benzetim yapıldı ve modelin performansını test etmek için 960 gecikme değeri kullanıldı.

3. SENARYO İNCELENMESİ VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

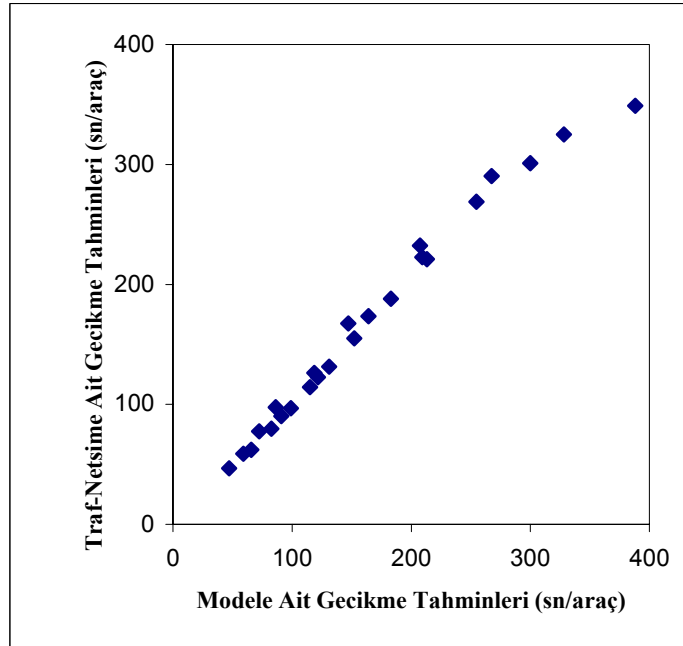
Akım profilinin “0,7-Aşırı Doygun Akım (A.D.A)-0,5” olduğu durumda çözümleme süresine bağlı olarak benzetimden elde edilen ortalama toplam gecikmeler 45 sn ile 330 sn arasında değişirken, profilin “0,7-A.D.A-0,7” olduğu durumda ise yine çözümleme süresine bağlı olarak gecikme değerleri 46 sn ile 348 sn arasında değişti. Benzetim sonuçları incelendiğinde son zaman dilimi olan dağılım zaman diliminde trafik akımı kapasitenin altında olduğu sürece bu dilimde doygunluk derecesindeki değişimin ortalama gecikme üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı ortaya çıktı. Geliştirilen modelden hesaplanan gecikme değerleri ise 47 sn ile 388 sn arasında değişti. Bu sonuçlara göre modelden ve benzetimden elde edilen gecikme değerleri birbirine oldukça yakındı. Ancak, çözümleme süresi 30 dakika olduğunda ve doygunluk derecesi 1,4 iken modelin tahmin ettiği gecikmeler benzetimden elde edilen gecikme değerlerinden belirgin derecede daha fazla idi. Bunun nedeni araştırıldığında benzetim karşılaştırma grafikleri gösterdi ki doygunluk derecesi yükselirken çözümleme süreleri de uzadığında doğrusal olarak artan gecikme değerleri bu noktalardan sonra belirgin bir şekilde yataya yaklaşarak artmakta, bu yüzden TRAF- NETSIM, gecikmeleri daha düşük tahmin etmekteydi. Her iki akım profili içinde modelin ve benzetimin tahmin etmiş olduğu gecikme değerleri, kıyaslama yapmak için bir bütün olarak Tablo 1 ve Şekil 1, 2 de verilmektedir.

Tablo 3. Akım Profilinin 0,7-A.D.A-0,5 ve 0,7-A.D.A-0,7 Olması Durumunda Modelden ve TRAF-NETSIM den Elde Edilen Gecikme Tahminlerinin Karşılaştırılması.

Çözümleme Süresi (dakika)	Modele Ait Gecikme Tahminleri	Akım Profilinin 0,7-A.D.A-0,5 Olması Durumunda Traf-Netsim Benzetim Tahminleri	Akım Profilinin 0,7-A.D.A-0,7 Olması Durumunda Traf-Netsim Benzetim Tahminleri
Doygunluk Derecesi 1,1			
5	47,08	45,71	46,68
10	65,57	60,68	62,14
15	82,55	77,54	79,72
20	98,93	94,34	96,83
25	115,17	111,21	114,24
30	130,99	128,05	131,53
Doygunluk Derecesi 1,2			
5	59,06	56,48	58,90
10	90,99	86,29	90,19
15	121,77	117,25	122,61
20	152,25	148,58	155,17
25	182,93	179,87	187,95
30	213,16	211,44	221,15
Doygunluk Derecesi 1,3			
5	72,26	73,39	77,42
10	118,65	120,08	126,23
15	164,01	164,63	173,57
20	209,18	210,15	222,81
25	254,81	254,08	268,93
30	299,84	286,04	300,98
Doygunluk Derecesi 1,4			
5	86,09	88,95	97,49
10	147,31	157,99	167,39
15	207,45	218,12	232,26
20	267,47	271,18	290,29
25	328,14	307,13	324,89
30	388,06	330,80	348,74



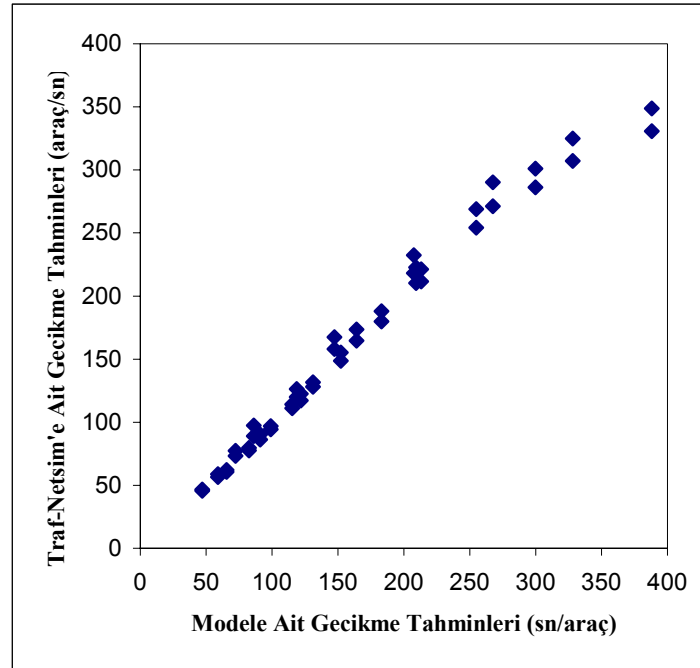
Şekil 1. Akım Profiline 0,7-A.D.A-0,5 Olması Durumunda Modelden ve TRAF-NETSIM den Elde Edilen Gecikme Tahminlerinin Karşılaştırılması.



Şekil 2. Akım Profiline 0,7-A.D.A-0,7 Olması Durumunda Modelden ve TRAF-NETSIM den Elde Edilen Gecikme Tahminlerinin Karşılaştırılması.

Akım Profiline 0,7-A.D.A-0,5 ve 0,7-A.D.A-0,7 olduğu trafik durumları için benzetim sonuçlarından ve modelden elde edilen verilere doğrusal regresyon uygulamak için Şekil 3 de gösterildiği gibi gruplandırıldı. Şekilden de görüldüğü üzere, modelden ve benzetimden elde edilen gecikme değerleri birbirine çok yakın olduğu için aralarında çok iyi bir doğrusal ilişki olduğu gözlemlendi. Bununla birlikte daha önceden de açıklanan sebepten dolayı birkaç veri, bu doğrusal ilişkinin kısmen dışında kaldı. Doğrusal regresyon çözümlemesinde, geliştirilen model bağımlı değişken, TRAF-NETSIM ise bağımsız değişken olarak seçildi ve aralarındaki doğrusal ilişki kesişimin olmadığı ve olduğu her iki durum için incelendi. Kesişimin olmadığı durumda regresyon denklemi zorlanarak sıfırdan geçirildi. Böylece benzetimden elde edilen gecikme sıfır olduğunda

modelden elde edilen gecikme de sıfır olacaktı. Diğer taraftan verilerin özgün yapısını etkilemeden modelle benzetim sonuçları arasındaki farkın gerçek büyüklüğünü ortaya koymak için regresyon çözümlemesinde kesişim durumu da göz önüne alındı.



Şekil 3. Bütün Veriler İçin Modelden ve TRAF-NETSIM den Elde Edilen Gecikme Tahminlerinin Karşılaştırılması.

Kesişimin olduğu ve olmadığı her iki durum içinde regresyon istatistikleri incelendiğinde regresyon belirleme katsayısının % 97'nin, korelasyon katsayısının da % 98'in üzerinde olduğu görüldü. Bu sonuçlara göre, geliştirilen gecikme modelinin güvenilir ve başarılı bir model olduğunu söylemek mümkündür. Her iki durum için elde edilen regresyon denklemleri ise aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$d_m = -5,255 + 1,033d_n \quad (R^2=0,979 \quad \% 95 \text{ Güvenirlik düzeyinde}) \quad (1)$$

$$d_m = 1,0083d_n \quad (R^2=0,979 \quad \% 95 \text{ Güvenirlik düzeyinde}) \quad (2)$$

d_m geliştirilen modele ait ortalama toplam gecikme ve d_n TRAF-NETSIM'e ait ortalama toplam gecikme.

Şekil 3 den de görüldüğü üzere, geliştirilen model ile TRAF-NETSIM arasındaki ilişki doğrusal bir şekilde başlayıp devam ederken, gecikme değeri 400 sn civarına geldiğinde ikisi arasındaki bu doğrusal ilişki hafifçe saptmakta ve birbirlerinden ayrılmaktadır. Sapan noktalar incelendiğinde ise bu noktaların çözümleme süresinin 30 dakika, doyumluk derecesinin ise 1,4 olduğu son iki senaryoda görülmektedir. Daha önceden de açıklandığı gibi TRAF-NETSIM benzetim modeli yüksek doyumluk derecelerde ve uzun çözümleme sürelerinde gecikmeyi gerçek değerinden daha az tahmin etmektedir. Geliştirilen modelle TRAF-NETSIM arasındaki doğrusal ilişkinin yüksek gecikme değerlerinde ayrılmasının nedeni de budur. Eğer bu iki senaryoya ait veriler regresyon çözümlemesinde ayıklanırsa, modelin gerçek performansı daha iyi ortaya konacaktır. Bu iki senaryoya ait veriler atıldıktan sonra her iki durum içinde ayıklanmış verilere ait regresyon denklemleri aşağıda ifade edilmektedir.

$$d_m = 1,143 + 0,980d_n \quad (R^2=0,989 \quad \% 95 \text{ Güvenirlik düzeyinde}) \quad (3)$$

$$d_m = 0,986d_n \quad (R^2=0,989 \quad \% 95 \text{ Güvenirlik düzeyinde}) \quad (4)$$

Regresyon çözümleme istatistiklerine göre, model ve benzetim arasındaki korelasyon ve belirleme katsayısı yaklaşık 0,99 dur. Bu sonuçlara göre, modelden elde edilen gecikme tahminleri benzetimden elde edilen gecikme tahminleri ile istatistiksel olarak çok iyi bir uyum ve ilişki içerisinde. Dolayısı ile de geliştirilen

modeli sinyalize kavşaklarda değişen akım ve zaman koşulları için gecikme tahmininde güvenilir bir model olarak kullanmak mümkün olacaktır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sinyalize kavşaklarda gecikme tahmini birçok değişkene bağlı olmasına rağmen, çözümleme süresi (T) gecikme üzerinde en fazla etkin olan değişkenlerden bir tanesidir. Bu etki özellikle akımın kapasiteyi aştığı trafik koşullarında daha da belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle sabit bir gecikme değeri yerine, zamana bağlı bir değişkenin kullanılması gecikme tahmin sonuçlarını daha gerçekçi ve anlamlı kılacaktır. Gecikme değişkeni k nın modellenmesinde kullanılan benzetim sonuçlarına göre, çözümleme süresi artarken k değeri de artmakta ve çözümleme süresinin etkisi gecikme üzerine daha belirgin yansımaktadır. Geliştirilen modelin geçerli hale konması için yapılan regresyon sonuçları modelden elde edilen gecikme tahminleri ile benzetimden elde edilen gecikme tahminlerinin birbirine yakın olduğunu % 95 güvenilirlik düzeyindeki $R^2=0,989$ değeri ile açıklanmaktadır. Son zaman dilimi olan dağılım zaman diliminde doygunluk derecesi kapasitenin altında olduğu sürece, bu zaman dilimindeki doygunluk derecesindeki değişim gecikme üzerinde çok da etkili olmadığı anlaşılmıştır. Yine bu araştırma sonuçlarına göre, TRAF-NETSIM benzetim programı uzun çözümleme sürelerinde ve aşırı doygun trafik akımlarındaki gecikme tahmininde başarısız olmaktadır. Son olarak, yapılan benzetim ve istatistiksel çözümleme sonuçları göstermiştir ki, bu araştırmada geliştirilen gecikme modeli sinyalize kavşaklarda zamana bağlı değişen trafik koşullarındaki gecikme tahmininde oldukça başarılıdır ve yaygın olarak kullanılabilir.

Çözümleme süresine ilave olarak yeşil oranı olarak bilinen yeşil ışığın devre süresi içindeki miktarı (g/C) ve kapasite (c) gecikme üzerinde etkili olan diğer iki değişkendir. Bu değişkenlerinde modellenmesi gecikme tahminlerinde daha etkili sonuçların alınmasını sağlayacaktır. Çözümleme süresinin gecikme üzerindeki etkisi akımın kapasiteyi aştığı trafik koşullarında daha belirgin olduğundan dolayı incelemelerde bu trafik koşulları göz önüne alınmış doygun olmayan trafik koşulları değerlendirmeye katılmamıştır. Modelin tüm yönleri ile gerçek performansını görme açısından gelecekteki çalışmalarda doygun olmayan trafik koşulları içinde model performansı test edilmelidir.

KAYNAKLAR

1. May, Adolf, D., Traffic Flow Fundamentals Englewood Cliffs, New Jersey : **Prentice Hall**, pp. 338-375, 1990.
2. Young, W., Taylor, M, A, P., and Gipps, P, G., Microcomputers in Traffic Engineering Research Studies Press LTD, **John Wiley & Sons Inc**, pp.400-422, 1989.
3. TSIS User's Guide Kaman Sciences Corporation, Version 4.01, **FHWA**, June 1997
4. Daigle, G., Krueger, G. D., Clark, J., "TSIS : Advanced Traffic Software Tools for the User", **Proceedings of Traffic Congestion and Traffic Safety in the 21st Century, Chicago, Illinois**, (New York: American Society of Civil Engineers), pp. 563-569 June 8-11, 1997.
5. Corsim User's Manual, Version 1.03, Kaman Science Corporation, Office of Safety and Traffic Operations, Intelligent Systems and Technology Division, **FHWA**, U.S. Department of Transportation, April 1997
6. Halati, A., Lieu, H., and Walker, S., , "CORSIM- Corridor Traffic Simulation Model" **Proceedings of Traffic Congestion and Traffic Safety in the 21st Century**, Chicago, Illinois, (New York: American Society of Civil Engineers), pp. 570-576, June 8-11, 1997.
7. Introduction to CORSIM Training Course, Viggen Corporation, **Student Workbook Sterling VA** January, 1998
8. Rathi, A, K., and Santiago, A, J., "Urban Network Traffic Simulation: Traf-Netsim Program" **Journal of Transportation Engineering** Vol. 116, No. 6, pp. 734-743, November / December 1990.
9. Wong, S., "TRAF-NETSIM: How It Works, What It Does" **ITE Journal**, Vol. 60, No. 4, p. 22-27, April, 1990.
10. Chang, G.L., and Kanaan, A., "Variability Assessment for TRAF-NETSIM," **Journal of Transportation Engineering**, Vol. 116, No. 5, , pp. 636-657, September/October 1990.
11. Andrews, B., Lieberman, E, B., and Santiago, A. J., "The Netsim Graphics System," Transportation Research Record 1112, **Transportation Research Board**, National Research Council, Washington, D.C., pp. 124-131, 1987.
12. ITRAF User's Guide Version 2.0 The Oak Ridge National Laboratory, **The University of Tennessee Transportation Center**, the Oak Ridge Institute of Science and Education, and Viggen Corporation,

- Office of Safety and Traffic Operations, Intelligent Systems and Technology Division, FHWA, U.S. Department of Transportation
13. Franzese, O., and Rathi, A.K., "ITRAF, a GUI for the TRAF Family of Models" **Proceedings of Traffic Congestion and Traffic Safety in the 21st Century**, Chicago, Illinois, (New York: American Society of Civil Engineers), pp. 577-583, June 8-11, 1997.
 14. TRAFVU User's Guide, Version 1.0, Kaman Science Corporation Federal Highway Administration, **U.S. Department of Transportation**, April 1997
 15. Koscielny, A. J., Tomich, D. J., Clark, J. E., and Lundgren, T. J., "TRAFVU, A Graphics Processor for Traffic Simulation Models" **Proceedings of Traffic Congestion and Traffic Safety in the 21st Century**, Chicago, Illinois (New York: American Society of Civil Engineers), pp. 584-589, June 8-11, 1997.