

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARAYOLU TRAFİK SİMÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERCÜMENT YILMAZ

AĞUSTOS 2006
TRABZON

ÖNSÖZ

Son yüzyıllarda teknolojik gelişmelerin hızındaki artış, sayısız icadın hayatımızda yer etmesine sebep olmuştur. 1769 yılında, mekanik bir güç yardımı ile hareket eden ilk aracı İsveçli mühendis ve Topçu Yüzbaşı Nicolas Joseph Cugnot' un icat etmesi, devamında otomobillerin günümüze dek süren gelişimleri ve trafik sistemlerinde araç yoğunluklarının artışı sonucunda, trafik sıkışıklıkları çözülmesi gereken önemli bir problem olarak karşımıza çıkmıştır. Tezimizin konusu olan Karayolu Trafik Simülasyonu trafik akışlarını yönetmek için geliştirilecek sistem ve çözümleri bilgisayar ortamında modelleyip simüle ederek uygulanabilir olup olmadıklarını bulmayı hedeflemektedir.

Bu konunun seçiminde beni yönlendirip yardım ve desteğini esirgemeyen danışmanım sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Cemal KÖSE' ye gösterdiği ilgi ve anlayışından dolayı sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşım Öğr. Gör. Yasin KAYA' ya ve arkadaşım Tuğrul KARAKAYA' ya teşekkürlerimi sunarım.

Bana verdiği destekten ötürü Enformatik Bölüm Başkanı Doç. Dr. Ahmet ÇOLAK' a, Enformatik Bölümü'ndeki bütün mesai arkadaşlarıma ve lisans eğitimimden bu yana üzerimde emekleri bulunan bütün hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Beni yetiştirip bugünlere gelmemi sağlayan ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Annem, Babam ve ailemin diğer ferlerine sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Ercüment YILMAZ
Trabzon, 2006

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Trafik Simülasyon Modelleri.....	2
1.1.1. Kolektif ve Sürekli Karayolları Trafik Akış Modellemesi.....	2
1.1.2. Sürekli Trafik Akış Modelleri.....	3
1.1.3. Trafik Yoğunluğu Bağımlı Ayrık Modeller.....	3
1.2. Trafik Mühendisliği Temel Prensipleri.....	6
1.2.1. Trafik Mühendisliğinin Ana Elemanları.....	6
1.2.1.1. Yolu Kullananların Karakteristikleri.....	7
1.2.1.2. Araç Karakteristikleri.....	8
1.2.1.2.1. Araçların Boyutları.....	8
1.2.1.2.2. Araçların Hızlanma Karakteristiği.....	10
1.2.1.2.3. Araçların Frenleme Karakteristiği.....	10
1.2.1.3. Yol Karakteristikleri.....	12
1.2.1.4. Kapasite Analizi.....	13
1.2.1.5. Kavşaklar.....	14
1.2.2. Trafik Sinyalizasyon Gereksinimi.....	16
1.2.2.1. Webster Yöntemi İle Sinyalizasyon Analizi.....	18
1.2.2.1.1. Doyum Akımı Ve Kapasite.....	18
1.2.2.1.2. Efektif Yeşil Süre Ve Efektif Kırmızı Süre.....	18
1.2.2.1.3. Sinyal Döngüsü.....	20
1.2.2.2. Kritik Şerit Yöntemi İle Sinyalizasyon Analizi.....	20
1.2.2.3. Yeşil Dalga Sinyalizasyonu.....	22

1.3.	Örnek Simülasyon Yazılımları	22
1.3.1.	Mevcut Yazılımların Bileşenleri.....	23
1.3.1.1.	Nüfus Sentezleyici	24
1.3.1.2.	Rota Belirleyici	25
1.3.1.3.	Aktivite Üretici	25
1.3.1.4.	Mikro simülatör (Mikroskobik Modele Dayalı Simülatör)	26
1.3.1.5.	Emisyon Tahmin Edici	26
1.3.1.6.	Geri Besleme Araçları	27
1.3.2.	Mevcut Yazılımların Çalıştıkları Platformlar	27
1.3.3.	Simülasyon Yazılımları İle Yapılan Çalışmalar	28
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	30
2.1.	Simülasyon Yazılımı Geliştirme Adımları	30
2.1.1.	Çizim İşlemleri.....	31
2.1.1.1.	Yol Tesislerinin Çizimi	32
2.1.2.	Çizimlerin Üzerindeki İşlemler	35
2.1.3.	Kullanılan Nesnelerin Özellikleri	37
2.1.4.	Sinyalizasyon.....	40
2.2.	Simülasyonun Çalıştırılması.....	40
2.3.	Kavşak Simülasyonu	41
2.3.1.	Simülasyon Parametreleri.....	41
2.3.2.	Elde Edilen Sonuçlar	43
2.4.	Orta Ölçekli Bir Trafik Ağının Simülasyonu	47
2.4.1.	Simülasyon Parametreleri.....	47
2.4.2.	Elde Edilen Sonuçlar	48
2.5.	Dört Kavşağa Sahip Yol Simülasyonu	55
2.5.1.	Simülasyon Parametreleri.....	55
2.5.2.	Elde Edilen Sonuçlar	56
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
3.1.	Sinyalizasyon Seçiminin Sonuçlara Etkisi	63
3.2.	Yol Tesisleri Özelliklerinin Sonuçlara Etkisi	63
3.3.	Araç Doğum Oranlarının Sonuçlara Etkisi.....	64
3.4.	Kullanılan Donanımın Simülasyon Sonuçlarına Etkisi	64
3.5.	Öneriler	64

4.	KAYNAKLAR.....	66
	ÖZGEÇMİŞ.....	67

ÖZET

Bu çalışmada karayollarındaki trafik akışını modelleyerek bu modelin bilgisayar ortamında simülasyonunu gerçekleştiren bir yazılımın üretilmesi hedeflenmiştir. Trafik sistemlerindeki araç akışlarını iyileştirmek amacı ile değişik trafik mühendisliği çözüm teknikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen tekniklerin trafik simülasyon yazılımları aracılığı ile test edilebilmesi sayesinde zaman, maliyet ve iş gücü kaybı olmaksızın simülasyon yazılımınca uygulanabilirliği kabul edilmiş çözümler mevcut trafik şebekeleri üzerine uygulanabilmektedir.

Geliştirdiğimiz yazılımda simülasyonlar için kullanılan çözüm üretim yöntemlerinden mikroskobik ya da diğer adıyla ayrık-sürekli yaklaşım esas alınmıştır. Mikroskobik yaklaşımda, bilgisayar performanslarının artmasıyla araçları tek başlarına yol simülasyonlarına dahil etmek mümkün olmuştur. Her bir aracın hareketinin diğer araçlardan bağımsız olarak hesaplanması, simülasyonun gerçeğe daha yakın sonuçlar üretmesine sebep olmaktadır.

Benzer simülasyon yazılımlarında olduğu gibi, simüle edilecek trafik ağını tasarlayıp simülasyon anını izleme imkânını veren görsel simülasyon arabirimi oluşturulmuştur. Simülasyonun verilen farklı sinyalizasyon, yol ve araç parametreleri ile sonuçlar üretebilmesini sağlayan algoritmalar geliştirilmiştir. Sinyalizasyon tekniklerinden Sabit Zamanlı Sinyalizasyon, Yeşil Dalga Sinyalizasyonu ve Adaptif Trafik Sinyalizasyon tekniklerinin her biri simülasyon yazılımı içerisinde uygulanabilmektedir.

Çalışmada, simülasyonda hedef olarak orta ölçekli trafik şebekeleri modellenmiş ve verilen farklı test ve sinyalizasyon parametreleri yardımı ile simülasyondan elde edilen sonuçların karşılaştırılması sağlanmıştır. Bu sonuçların karşılaştırılması sayesinde orta ölçekli trafik şebekeleri için trafik sıkışmalarını önleyecek uygun çözümlerin bulunması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Trafik Simülasyonu, Mikroskobik Simülasyon Yaklaşımı, Sabit Zamanlı Sinyalizasyon, Yeşil Dalga Sinyalizasyonu, Adaptif Trafik Sinyalizasyonu, Trafik Mühendisliği, Görsel Simülasyon Arabirimi

SUMMARY

Highway Traffic Simulation

In this study, modeling of highway traffic flow and developing software which performs simulation of this model on a computer system are aimed. To test traffic engineering solutions which aim to improve vehicle flows on traffic systems, traffic simulation software is implemented. This software enables to measure applicability of the solutions that can be applied on recent traffic network without waste of time, financial and labor force loss.

Software we developed is based on one of the traffic problem solving methods that is microscopic approach or with another name discrete-continuous approach. Due to performance improvement of computers, microscopic approach allows us to include vehicles alone on road simulations. Calculation of every vehicles movement independent from other vehicles causes simulation to produce more realistic results.

Like other simulation software, a visual simulation interface which enables design, monitoring and watching current flow on traffic network was designed. Algorithms, which produce results for different signaling, road and vehicle parameters of simulation, had been developed. Several signaling techniques such as Constant Cycle Signaling, Green Wave Signaling and Adapted Traffic Signaling techniques are also implemented inside simulation software.

Finally, a medium grade traffic network is modeled as simulation target and some results are obtained by using different test and signaling parameters. For the medium grade traffic networks, these results are compared to discover acceptability of solutions on traffic congestions.

Keywords: Traffic Simulation, Microscopic Simulation Approach, Constant Cycle Signalling, Green Wave Signalling, Adapted Traffic Signalling, Traffic Engineering, Visual Simulation Interface

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Farklı detay seviyesindeki modeller ve örnek uygulamalar	4
Şekil 2. VISSIM-trafik simülasyon modellerine bir örnek.....	5
Şekil 3. Trafik mühendisliği ana elamanları ve ilişkileri.....	6
Şekil 4. Araç boyutları.....	9
Şekil 5. Otomobillerin hızlanma ve yavaşlama eğrileri (AASHTO 2001).....	11
Şekil 6. Beş kollu dönel kavşak.....	15
Şekil 7. Spagetti kavşak.....	15
Şekil 8. Dört-Kollu kavşaktaki çakışma noktaları.....	16
Şekil 9. İki fazlı trafik sinyalizasyonu	19
Şekil 10. Dört kollu kavşak ve onun faz diyagramı	19
Şekil 11. Farklı trafik yoğunluğundaki kavşak kolları	20
Şekil 12. Yeşil dalga tayininde trafik akımının sensorlar yardımı ile ölçümü	22
Şekil 13. Transims görsel ara yüzü.....	24
Şekil 14. Nüfus sentezleyici	25
Şekil 15. Simülasyon görüntüsü	26
Şekil 16. TRANSIMS, karbon monoksit emisyonu ölçüm verileri.....	27
Şekil 17. Portland trafik ağının TRANSIMS ekranındaki görüntüsü.....	29
Şekil 18. Portland trafik ağına simülasyon ekranında yakın plan bakış.....	29
Şekil 19. Sim City 4 çizim araçları ve ekran görüntüsü	31
Şekil 20. Simülasyon ekranında yol ve kavşak çizimleri	34
Şekil 21. Araç dokusu örneği.....	37
Şekil 22. Kavşak simülasyonu ekran görüntüsü.....	42
Şekil 23. Dörtlü kavşakta araç sayıları grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon).....	43
Şekil 24. Dörtlü kavşakta araç sayıları grafiği (adaptif sinyalizasyon).....	44
Şekil 25. Dörtlü kavşakta hız ortalamaları grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon).....	44
Şekil 26. Dörtlü kavşakta hız ortalamaları grafiği (adaptif sinyalizasyon).....	45
Şekil 27. Dörtlü kavşakta süre ortalama grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon).....	45
Şekil 28. Dörtlü kavşakta süre ortalama grafiği (adaptif sinyalizasyon).....	46
Şekil 29. Dörtlü kavşakta yakıt harcama grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon).....	46

Şekil 30. Dörtlü kavşakta yakıt harcama grafiği (adaptif sinyalizasyon).....	47
Şekil 31. Trafik ağının simülasyon çalışması esnasındaki ekran görüntüsü	48
Şekil 32. Orta ölçekli ağda araç sayıları grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon).....	49
Şekil 33. Orta ölçekli ağda araç sayıları grafiği (yeşil dalga sinyalizasyonu).....	50
Şekil 34. Orta ölçekli ağda araç sayıları grafiği (adaptif sinyalizasyon).....	50
Şekil 35. Orta ölçekli ağda hız ortalamaları grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon).....	51
Şekil 36. Orta ölçekli ağda hız ortalamaları grafiği (yeşil dalga sinyalizasyonu).....	51
Şekil 37. Orta ölçekli ağda hız ortalamaları grafiği (adaptif sinyalizasyon).....	52
Şekil 38. Orta ölçekli ağda süre ortalama grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon).....	52
Şekil 39. Orta ölçekli ağda süre ortalama grafiği (yeşil dalga sinyalizasyonu).....	53
Şekil 40. Orta ölçekli ağda süre ortalama grafiği (adaptif sinyalizasyon).....	53
Şekil 41. Orta ölçekli ağda yakıt harcama grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon).....	54
Şekil 42. Orta ölçekli ağda yakıt harcama grafiği (yeşil dalga sinyalizasyonu).....	54
Şekil 43. Orta ölçekli ağda yakıt harcama grafiği (adaptif sinyalizasyon).....	55
Şekil 44. Dört kavşağa sahip yol simülasyonu esnasındaki ekran görüntüsü.....	56
Şekil 45. Simülasyon anında ana yoldan giriş yapmış aktif araç sayısı	57
Şekil 46. 600 araç/şerit için hız ortalaması grafiği	58
Şekil 47. 400 araç/şerit için hız ortalaması grafiği	58
Şekil 48. 200 araç/şerit için hız ortalaması grafiği	59
Şekil 49. 600 araç/şerit için yakıt harcama grafiği	59
Şekil 50. 400 araç/şerit için yakıt harcama grafiği	60
Şekil 51. 200 araç/şerit için yakıt harcama grafiği	60
Şekil 52. 600 araç/şerit için süre ortalama grafiği	61
Şekil 53. 400 araç/şerit için süre ortalama grafiği	61
Şekil 54. 200 araç/şerit için süre ortalama grafiği	62

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Araç boyutları (AASTHO).....	9
Tablo 2. Sürtünme katsayısı (AASHTO 1994).....	12
Tablo 3. Tavsiye edilen maksimum eğimler.....	13
Tablo 4. HCM 1997 kapasite değerleri.....	14
Tablo 5. Minimum araç trafiği için hacim şartı.....	17
Tablo 6. Sürekli trafik akımının kesintisi için minimum trafik hacmi şartı	18
Tablo 7. Yol ve kavşakların nesnel yapısı	38
Tablo 8. Araçların nesnel yapısı	39

1. GENEL BİLGİLER

Birçok şehrin yol şebekesinde nüfus yoğunluğuna bağlı olarak trafik sıkışıklıkları, ortaya çıkmaktadır. Ayrıca arazi fiyatlarının yüksekliğinden dolayı cadde genişliklerini ve park alanlarının yetersizliği de bu soruna yol açmaktadır. Bu sıkışıklıklar bilgisayarları kullanarak işletilen trafik akış modelleri ile yapılan tahminler ile önlenebilir. Trafik sıkışıklıklarını azaltmak ve şehir içerisinde etkili yol planlamaları gerçekleştirebilmek için geniş ve karmaşık yol şebekelerini incelemek gereklidir. Birçok simülasyon modeli bu problemi çözmek için geliştirilmiştir. TRANSIMS, TRANSYT, NETSIM, URTRAN, TRACSS ve MITRAM bunlara örnek olarak verilebilir. Bu yazılım paketleri hâlihazırda gerçekçi sonuçlar üretmektedirler.

Trafik simülasyon modelleri farklı amaçlara hizmet vermektedir. Örneğin trafik modellemesi, yolların ve şebekelerin çevrim dışı tasarımını, trafik ışıklarının programlanabilmesini sağlamanın yanında bu modellemeler karmaşık trafik idare sistemlerinin çevrimiçi kontrolünün de temellerini oluşturmaktadır. Yüksek hesaplama performansı elde edebilmek için bu modellemelerde soyutlama derecesinin yükseltilmesi gerekeceği bellidir. Bir modelleme oluştururken önceden var olan modellerin de işin içine katılması yardımcı olacaktır. Örneğin bir trafik modellemesi sırasında trafik ışıklarının kontrolü için yeni bir yöntem yazmak yerine önceden var olan bir modelin kullanılması faydalı olacaktır.

Optimal çözümlere ulaşmak için yeni trafik sistemleri sistematik olarak analiz edilmelidir. Ne yazık ki gerçek dünyada bunları araştırmak genellikle çok zor veya neredeyse imkânsızdır. Saha testleri maliyetli ve bazı durumlarda tehlikeli veya neredeyse imkânsızdır. Örneğin, sadece trafik yönetim sisteminin mekanizmalarının denetimi için otoyol üzerindeki trafiğin kesin durumunu oluşturmak olanaksızdır. Özel teknikler kullanarak, trafik durumları bilgisayar üzerinde makul bir maliyetle ve risk almaksızın simüle edilebilmektedir.

Bu da araç ve trafik teknolojisi gelişiminde bilgisayar simülasyonlarının neden tercih edilen yaklaşımlar olduklarını ortaya koymaktadır. Trafik üzerinde yapılan diğer araştırmaların etkilerini desteklemek, basitleştirmek ve geliştirmek için kullanılabilirler. Bu bağlamda, simülasyon birçok fırsatlar sunmaktadır:

Trafik simülasyonu geniş çapta uygulamaları kapsamaktadır. Özel işlemlere bağlı olarak, karmaşık sistemleri tanımlamada kullanılan modeller belirli bir çözünürlük ve detay seviyesine sahip olacaklardır. Birçok durumda, farklı görünüşlerin aralarındaki limitler keskin bir şekilde çizilememektedir. Örneğin Sürücü Destek Sistemleri sadece araba içerisindeki bir bileşen değil, aynı zamanda ortam ile etkileşim halinde olup çevre trafiği üzerinde tesir gücüne sahip bir bileşendir. Alt mikroskobik seviyede simüle edebilmek için ticari amaçlı birçok simülasyon sistemi mevcuttur. Trafik simülasyonu sistemleri genele çok az hitap etmekte ve birçoğu belirli bir sınıfa ait problemleri adreslemeye yöneliktir (Örneğin otoyollardaki geçiş noktalarındaki ışıklandırma tasarımı için kullanılan trafik yönetim sistemleri). Bu nedenle farklı trafik modelleri, kullanılabilir kontrol bileşenleri, sonuçların görselleştirilmesi ve analizi için gereken özellikler vb. sistemin özel amaçlarına sıkça uyulanır ve sistemin içinde etkili olur.

1.1. Trafik Simülasyon Modelleri

1.1.1. Kolektif ve Sürekli Karayolları Trafik Akış Modellemesi

Bu modeller ayrıca makroskopik (çıplak gözle görülebilen) modeller olarak da belirtilir ve çok miktarda aracın davranışlarını ortalama hız için v , trafik yoğunluğu için k ve trafik akışı için q gibi genel parametrelerle tanımlarlar. Burada tek bir aracın davranışı hesaplamaya katılmamaktadır. Kolektif-Sürekli trafik akış yaklaşımı çerçevesinde ayrı araçların hareketlerinin toplamı, devamlı akış süreci olarak varsayılmaktadır. (Kolektif-Sürekli trafik akış yaklaşımını KSY olarak ifade edeceğiz)

Trafik akışı q , belirli uzunluktaki bir mesafeyi T zamanında geçen araçların sayısını N göstermektedir. Trafik yoğunluğu k , uzunluğu X olan bir rota üzerinde t zaman aralığında bulunan araçların sayısını N temsil etmektedir.

Özellikle, trafik talebini saptamak için kurulan modellemeler ve trafik tahsis modelleri KSY yi temel almaktadırlar. Taşımacılık şebekelerindeki akışlar yol trafiği sürekliliği prensibine göre, benzin veya likit gazlar için normale yakın hesaplanabilir. KSY 'nin tek başına olan aracı ihmal etmesinden ve trafik ışıklarının ayrı araçlara (özellikle kamu taşımacılığı yapan araçlar) tepki vermesinden dolayı bu yaklaşım şehir içi trafiğinin modellenebilmesi için yeterli değildir. Bununla birlikte KSY simülasyon

için çok kısa bir hesaplama süresini gerektirmektedir. Bu sebepten dolayı çok geniş şebekelerde yol trafiği şartları hızlı ve verimli bir şekilde hesaplanabilir.

1.1.2. Sürekli Trafik Akış Modelleri

Bilgisayar performanslarının artmasıyla araçları tek başlarına yol simülasyonlarına dahil etmek mümkün olmuştur. Bu yaklaşımlar ayrık-sürekli veya mikroskobik olarak adlandırılır. (Bu yaklaşımları ASY olarak adlandıracağız). Ayrı olarak her bir aracın durumu eşit zaman aralıkları için hesaplanmaktadır. Bu nedenle ASY ler zaman adım tabanlı simülasyon modelleri olarak adlandırılırlar. Araçların hareketleri

- serbest sürüş
- lider aracı takip etme
- yolun sağ tarafının verilmesi
- kırmızı ışıkta ya da bir kuyruğun önünde durmak için yapılan tam bir fren hareketi

gibi süreçleri ayırt eden farklı eşitliklerle ifade edilir. Her sürecin simülasyonu literatürde homojen bir şekilde özetlenmemiştir. Lider aracı takip etme süreci için değişik modifikasyonlarla iki taraflı ilerleme modeli sıkça kullanılmaktadır. Aşağıdaki denkleme göre araçların ivmeleri hesaplanır. Aracın ivmesi kendi ile önündeki araçların hızlarına ve lider araca doğru yapılan ilerlemeye bağlıdır.

Bir başka mikroskobik yaklaşım Wiedmann modeline dayanmaktadır. Bu model boylamasına araç hareketi ve yanal hareketler için geliştirilen bir algoritmayı temel alan bir kural için psikolojik-fiziksel araba takip modelini içermektedir. Bu model VISSIM adında bir yazılım paketi içerisinde uygulanmaktadır.

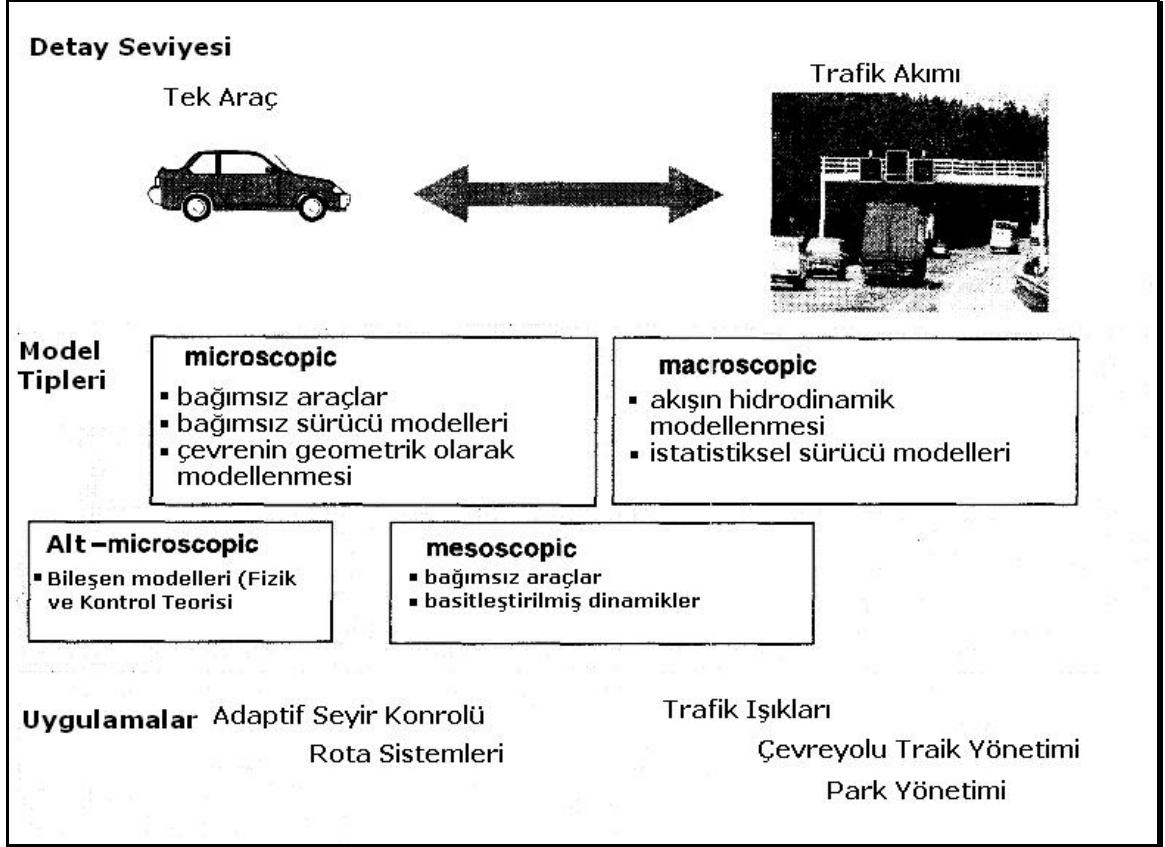
Yol trafiği yaklaşımları, KSY modeller ile karşılaştırıldığında ASY modellerinin simülasyon ve görsel betimlemede avantaj sahibi olduğunu söyleyebiliriz. Yol üzerinde bulunan her bir araç için farklı denklemlerin hesaplanması ve çok ya da az karmaşık algoritmaların işletilmesi çok fazla simülasyon zamanının kullanılmasına sebep olur.

1.1.3. Trafik Yoğunluğu Bağımlı Ayrık Modeller

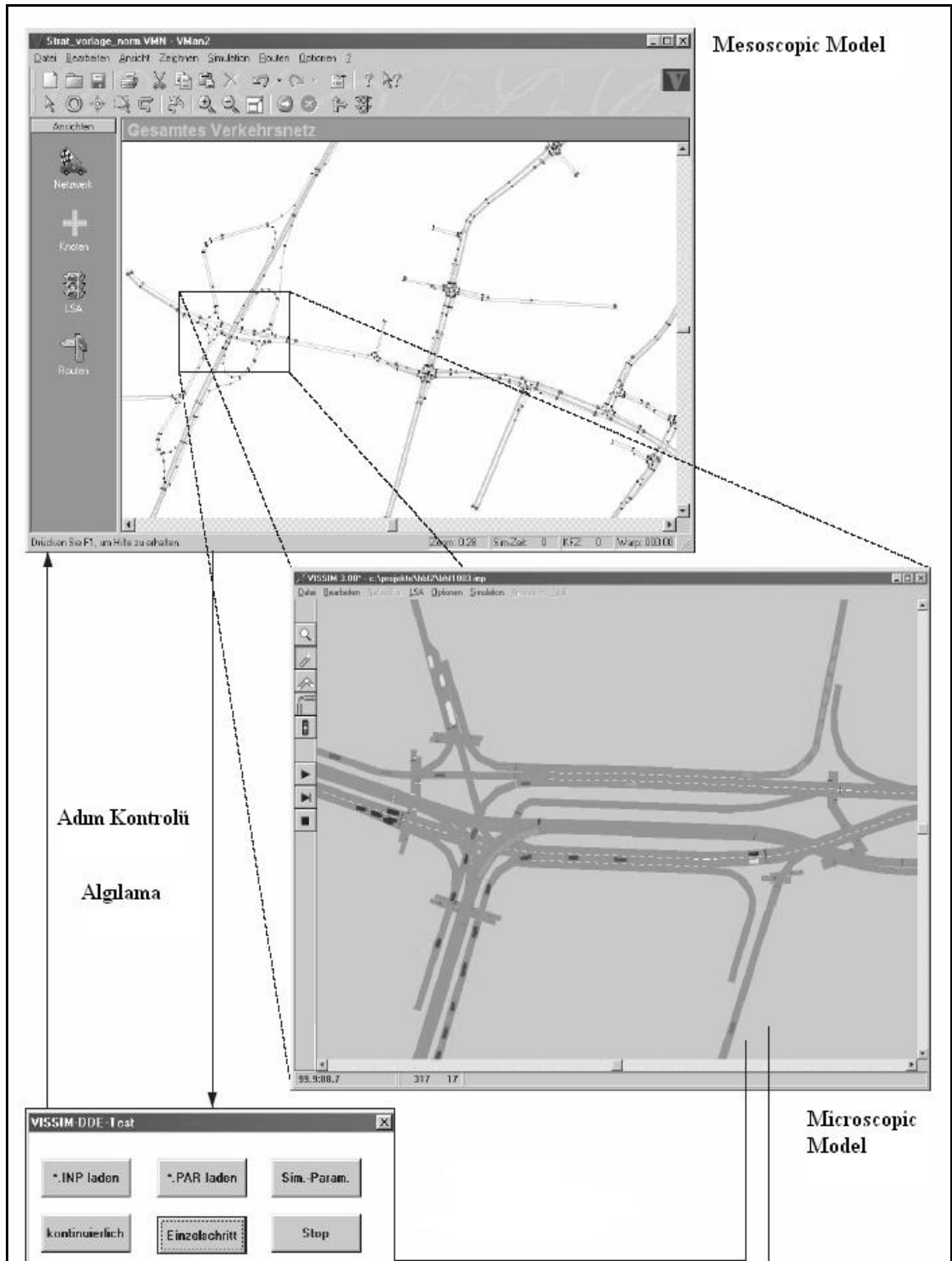
Fazla simülasyon zamanı tüketiminden kaçınmanın bir yolu eşit zaman adımlarında bulunan her bir aracın hareket durumunun hesaplanmasını önlemektir. Bu aynı zamanda

mezoskopik (mesoscopic) olarak da adlandırılan trafik yoğunluğuna bağlı ayırık yaklaşımı ile yapılmaktadır. Burada her aracın hareket durumu parametreleri olaya dayalı olarak hesaplanmıştır. Bir araç yeni bir yol kesimini geçtiği zaman hız-yoğunluk diyagramına bağlı olarak ona yeni bir hız atanır. Bu yaklaşım araçların yol kesiminin sonuna ulaşma sürelerinin sadece tek bir simülasyon adımı içerisinde tayin edildiği için simülasyonu büyük ölçüde hızlandırmaktadır. Simülasyon adımının işletilmesi bir aracı bir yol kesimine girmesi gibi bir olay tarafından tetiklenmektedir.

Olaya dayalı yaklaşım sadece yol trafiği simülasyonunda yeterlidir. Tek kesişme noktalarındaki trafik işlemleri için göreceli olarak kesin sonuçlara ancak eğer trafik sıklıklarının gerçek uzunlukları (sadece bekleyen araçların sayısı kastedilmiyor) daha az ilgili ise ulaşılmaktadır.



Şekil 1. Farklı detay seviyesindeki modeller ve örnek uygulamalar



Şekil 2. VISSIM-trafik simülasyon modellerine bir örnek.

1.2. Trafik Mühendisliği Temel Prensipleri

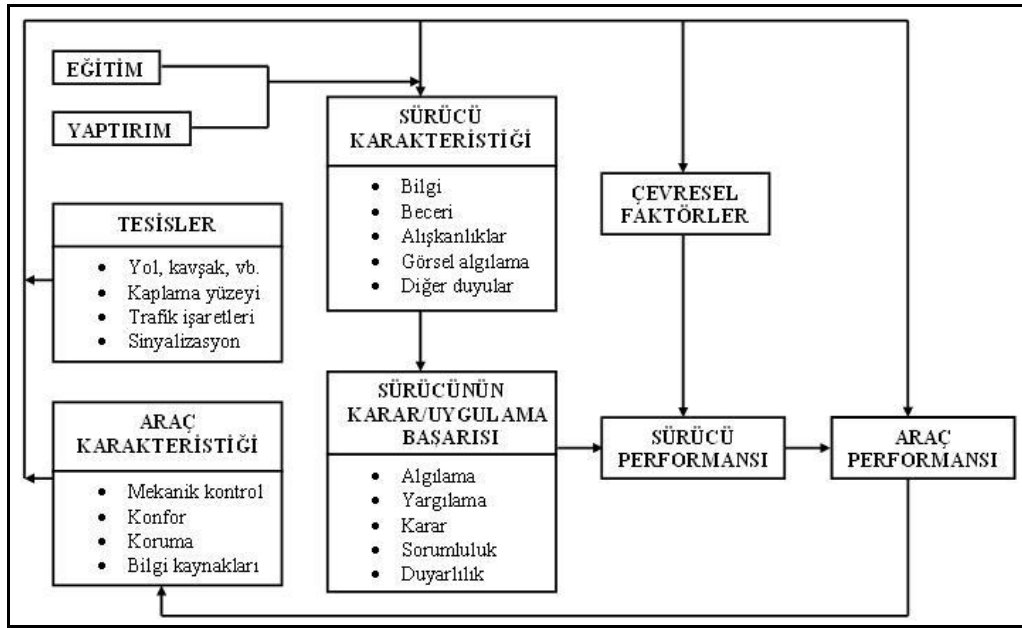
Trafik simülasyon sistemlerini geliştirmek ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için Trafik Mühendisliği'nin temel prensiplerinden yararlanmak gerekmektedir. Simülasyon için hangi model ve yöntem kullanılırsa kullanılsın, sisteme dahil olacak araçlar, çizilecek yollar, sinyalizasyon sistemleri vb. elemanlar için daha önceden belirlenmiş standartlara uymak zorunludur. Ancak, bu standartlara riayet edilmesi durumunda elde edilecek simülasyon sonuçları gerçeğe yakın olabilecektir.

1.2.1. Trafik Mühendisliğinin Ana Elemanları

Trafik mühendisliğinin 3 ana elemanı bulunmaktadır.

- Yolu kullananlar (sürücü ve yaya)
- Araçlar
- Tesisler (yollar, kaldırımlar, trafik kontrol ve sevk araçları, otoparklar, kavşaklar vb.)

Bu üç ana elemanın karakteristikleri ve birbirleri ile olan direkt ilişkileri trafik sistemlerinin planlama, tasarım ve uygulama aşamalarını etkilemektedirler. Her ne kadar bu üç eleman trafik mühendisliği uygulamalarının temelini oluştursa da çevresel faktörler (yağış, kar/buz, karanlık, sis, vb. atmosferik şartlar, yağışlardan dolayı kayganlaşan yüzeyler) de bu üç temel elemanı doğrudan etkilemektedir.



Şekil 3. Trafik mühendisliği ana elemanları ve ilişkileri

1.2.1.1. Yolu Kullananların Karakteristikleri

Trafik mühendisliğinde yolu kullanan sürücü veya yaya konumunda olan insan faktörünün davranışlarının ve karakteristiklerinin bilinmesi

- Araçların
- Yolun
- Trafik kontrol araçlarının

tasarımı, yapımı, işletilmesi, vb. hususlar için önemlidir. Trafik şebekesine dahil olan sürücü ve yayaların kapasitesi ve sınırları yol ve diğer trafik elemanlarının tasarımında da önemli rol oynamaktadır.

Sürücü ve yaya karakteristiklerinin değişkenlik arz etmesinden dolayı trafik mühendisliği yapılarının tasarımında tek bir değer kullanmak zaman zaman mümkün olamamaktadır. Özellikle sürücülerin frenleme reaksiyon sürelerinin değişkenlik göstermesi yol ve araç tasarımlarında bu parametrelere daha çok dikkat edilmesini gerektirmektedir.

Sürücülerin frenleme reaksiyon süresi çok değişkenlik göstermekle birlikte ortalama 0,6 san civarında bir değere karşılık gelmektedir.

Yaya geçişlerindeki yaya yürüme hızları da yine değişkenlik gösterse de 2 ile 2,5 m/san arasında bir değer olarak sinyalizasyon ve yaya geçidi tasarımlarında dikkate alınması gerekmektedir.

Sürücü karakteristikleri içerisinde en önemlisi intikal reaksiyon süresi olup bir olay karşısında sürücünün

- Algılama (intikal)
- Tanımlama
- Yargılama
- Reaksiyon

eylemleri için harcadığı toplam süreyi ifade etmektedir. Sürücü trafik şebekesindeki sürüşü esnasında karşılaştığı bir duruma karşı (durmak, hızlanmak veya yavaşlamak, şerit değiştirmek, manevra yapmak, korna çalmak vb.) karar verip, verdiği kararı uygulamaya geçirmek için belli bir süre kaybedecektir. İntikal reaksiyon süresi için geçecek olan süre sürücünden sürücüye farklı olsa da ortalama bir değer olarak 2,5 saniye olarak hesaplanması öngörülmektedir. Bu sürenin hesaplanması sürücünün görsel ve işitsel duyu organlarının algılama yetenekleri ile doğrudan ilgilidir. Bu sebeptendir ki sürücü

ehliyeti sahip olabilmek için görsel ve işitsel duyu organlarının sağlamlık derecesini ispat edecek bir sağlık raporu istenmektedir.

Yol tasarımlarında yol tesislerini daha çok kullanan araç sürücülerinin karakteristikleri ön planda gibi gözükse de, yaya karakteristiklerinin incelenmesi de en az sürücü karakteristiklerinin incelenmesi kadar önemlidir. Ülkeden ülkeye değişiklik gösterse de, yayaların trafik kazalarına karışma oranları % 15 ile % 45 gibi değerlere karşılık gelmektedir. Özellikle 15 yaş altı çocukların hızla yola fırlamalarının sebep olduğu trafik kazaları bu oranlar içerisinde önemli bir paya sahiptir. Saydığımız bilgiler göz önüne alındığında trafik tesislerinin yapımında yayaların ve araç seyirlerinin emniyetlerini dikkate alacak tasarımlara yer vermek gerekmektedir.

Yaş, yorgunluk, alkol, uyuşturucu kullanımı, psikolojik durum vb. hususlar özellikle sürücülerin intikal reaksiyon sürelerinin uzamasına ve kazalara sebep olmalarına yol açmaktadır.

Trafik mühendisliğinin üç ana elamanından biri olan insan faktörü göz önüne alınarak hazırlanacak simülasyonlardan elde edilecek sonuçlar gerçeğe daha yakın çıkmaktadır. Transims yazılımındaki Nüfus Sentezleyici bileşeni buna örnek olarak gösterilebilir.

1.2.1.2. Araç Karakteristikleri

Araçların özelliklerinin birbirinden farklı oluşu trafik akım karakteristiklerini, yolun kapasitesi, fren ve duruş mesafeleri vb. durumları önemli ölçüde etkilemektedir.

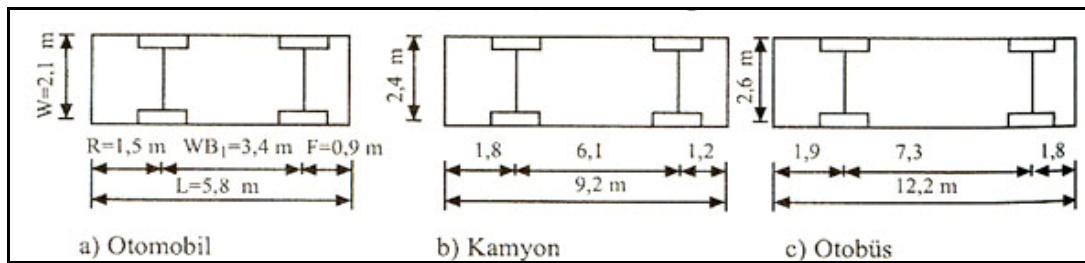
1.2.1.2.1. Araçların Boyutları

AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) karayolu araçlarını Tablo1'de görüldüğü gibi farklı tiplerde gruplandırmıştır.

Tablo 1. Araç boyutları (AASTHO)

Tasarım Araç Tipi	Sembol	Boyutlar (m)		
		H	W	L
Otomobil	P	1,3	2,1	5,8
Kamyon	SU	3,4–4,1	2,4	9,2
Otobüs	BUS-12	3,7	2,6	12,2
Körüklü otobüs	A-BUS	3,4	2,6	18,3
Treyler (orta)	WB-12	4,1	2,4	13,9
Treyler (büyük)	WB-15	4,1	2,6	16,8
Treyler (büyük)	WB-19	4,1	2,6	20,9
Treyler (3 kasalı)	WB-20D	4,1	2,6	22,4
Treyler	WB-33D	4,1	2,6	34,8
Karavan	MH	3,7	2,4	9,2
Oto+treyler	P/T	3,1	2,4	14,8
Oto+bot	P/B	-	2,4	12,8
Karavan+bot	MH/B	3,7	2,4	16,2
Traktör	TR	3,1	2,4–3,1	4,9

Tabloda verilen ölçülere göre, araçların maksimum genişliği 2,6 m ve yükseklikleri 4,1 m dir. Araçların uzunlukları ise birbirinden çok farklıdır. Ülkemizdeki otomobiller ortalama 4,5 m uzunluğundadır.



Şekil 4. Araç boyutları

Karayolları Trafik Yönetmeliğinin 128. Maddesine göre ülkemizde araçların boyutları ve ağırlıkları aşağıdaki gibi olmalıdır.

- a) Azami genişlik: 2.55 m
- b) Azami yükseklik: 2.60 m
- c) Azami uzunluk: 16.00 m

1.2.1.2.2. Araçların Hızlanma Karakteristiği

Araçların hızlanma karakteristiklerinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki bilgilerin bilinmesi gerekir.

- Öndeki aracı geçmek için gereken mesafenin tayini
- Kavşağı geçmek için gerekli sürenin tayini
- Yavaşlama/hızlanma şeritlerinin tasarımı

Araçların hızlanma performansı ağırlık/güç oranına bağlı olarak değişiklik gösterir. Sabit bir güce sahip bir aracın ağırlığı ne kadar az ise hızlanmaya o kadar elverişli olacaktır.

Otomobiller için belli bir başlangıç hızından istenilen bir hıza ulaşabilmeleri için ivmeleri $1.83\text{--}2.74\text{ m/san}^2$ ve kamyonlar için $0.61\text{--}0.91\text{ m/san}^2$ değerleri arasında olmalıdır. Motor gücü, hız ve yolun eğimi gibi üç faktörün hızlanma üzerinde önemli etkisi vardır. Araçların ivmesi düşük hızlarda maksimum iken, hız arttıkça bir miktar azalmaktadır.

1.2.1.2.3. Araçların Frenleme Karakteristiği

Araçların frenleme karakteristiği başlıca iki faktöre bağlıdır. Bunlar:

- Teker ile kaplama arasındaki sürtünme kuvveti
- Yolun eğimi

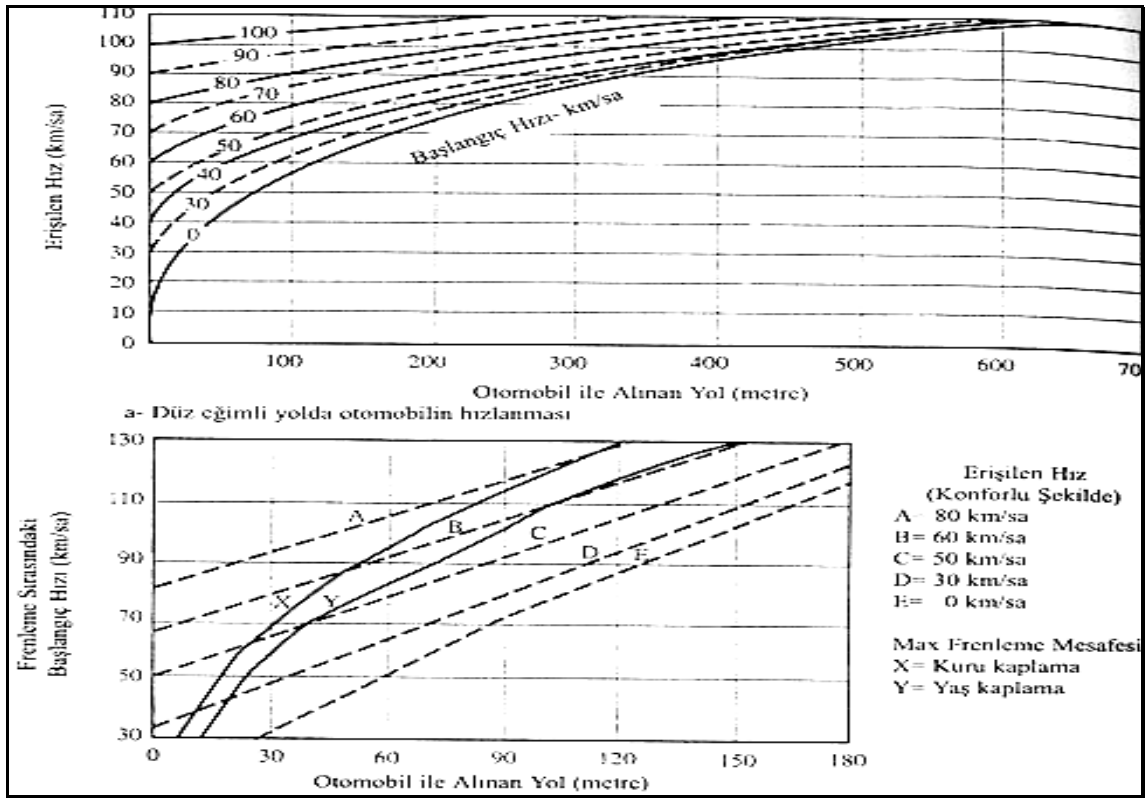
Sürtünme kuvveti ya da katsayısı; lastik tipi ve aşınması, kaplamanın tipi ve ıslaklığı, aracın frenleme gücü vb. özelliklere bağlı olarak değişmektedir.

Frenleme esnasında şu hususlara dikkat edilmelidir

- a) Frenleme ve yavaşlama ivmesi, kaplamanın sürtünme direncinden fazla olamaz. Çünkü sürtünme direnci aşılsa kayma meydana gelir.
- b) Ani frenleme yapıldığında aracın fren sistemi tekerlekleri kilitleyerek, aracın kızaklamasına neden olur. Bu esnada kaplamada fren izleri oluşur ve kaymanın etkisi ile araç yavaşlar. Eğer kızaklama etkisi çok fazla olursa, araç zig zag

yaparak hareket eder. ABS (Anti-Block System – Kızaklamayı önleyici sistem) fren sistemine sahip araçların ve dört çekerli (her iki aksda da tahrik kuvveti olan) araçların üretimi ile bu sakıncalar en aza indirilmiştir.

- c) Frenleme sırasında motorun kilitlemesi ile oluşan motor direnci, aracın yavaşlamasını sağlar. Aracın yuvarlanma ve hava direnci de yavaşlamaya etki eden unsurlardır.



Şekil 5. Otomobillerin hızlanma ve yavaşlama eğrileri (AASHTO 2001)

Frenleme mesafesi aşağıdaki formül ile hesaplanabilir

$$d_b = \frac{V_i^2 - V_f^2}{254(f \pm g)} \quad (1)$$

Burada;

d_b : Frenleme mesafesi, m

V_i : Aracın başlangıç hızı, km/sa

V_f : Aracın nihai hızı, km/sa (Durma için sıfır alınır)

f : Teker ile kaplama arasındaki sürtünme katsayısı

g: Eğim, % (Yokuş yukarı + ve yokuş aşağı - alınacak)

Tablo 2. Sürtünme katsayısı (AASHTO 1994)

Hız (km/sa)	Sürtünme katsayısı (f)
30	0,40
40	0,38
50	0,35
60	0,33
70	0,31
80	0,30
90	0,30
100	0,29
110	0,28
120	0,28

1.2.1.3. Yol Karakteristikleri

Trafik mühendisliğinin üçüncü ana elemanı olan trafik tesislerinin en önemlisi olan yol aynı zamanda bir ulaşım yapısı veya bir mühendislik yapısıdır. Bir yol güzergâhının sahip olduğu özellikler şunlardır:

- Geometrik karakteristikleri
- Kaplama karakteristikleri
- Yol tesisleri

Geometrik karakteristikler

- Yol enkesit elemanları
- Yatay ve düşey aliyman

Yol enkesit elemanları aşağıda sıralandığı gibidir.

- Araç Bölgesi (Yol Platformu): Yüzey, genişlik, çatı eğimi, şerit sayısı,...
- Yol kenarı: Banket, durma şeridi, oto korkuluk, drenaj hendekleri, kaldırım, yürüme yolu, bisiklet yolu, toplama yolu, yol kenarı kesitleri,...

- c) Yol Tesisleri: Refüj, hemzemin veya farklı kotlu kavşaklar, sinyalize veya kontrolsüz kavşaklar, alt veya üst geçit, adalar, yaya geçitleri, para toplama gişesi, dinlenme tesisleri,...
- d) Yolun boyuna eğimi araçların frenleme ve emniyetli duruş görüş mesafesine etki etmektedir. Ayrıca, yolun kapasitesine ve taşıt işleme giderlerine de etki eden önemli bir faktördür. Tablo 3’de tavsiye edilen maksimum eğimler verilmiştir.

Tablo 3. Tavsiye edilen maksimum eğimler

Tasarım Hızı (km/sa)	Maksimum Eğim (%)
50	6,0–9,0
60	5,0–8,0
70	4,5–7,5
80	4,0–7,0
90	3,5–6,5
100	3,0–6,0
110	3,0–5,0
120	3,0–4,0

Eğim arttıkça otomobillerin hızları önemli ölçüde azalırken %3’den daha az eğimlerde eğimin etkisi yok gibidir. Eğimin etkisi kamyonlar üzerinde daha fazla olduğundan dolayı ağır taşıt trafiği yoğun olan yollarda kapasite azalması, trafik kaza riskinin artması, vb. hususlar önem kazanmaktadır. Maksimum müsaade edilir eğimin yanı sıra yolun tasarımı sırasında eğimin kritik uzunluğu da gözüne alınmalıdır. Eğimin uzunluğu ve miktarına bağlı olarak AASHTO, yüklü bir kamyonun ortalama hız kaybının 15 km/sa olmasını önermektedir.

1.2.1.4. Kapasite Analizi

Bir bölgedeki trafik hacminin kapasitenin altında olması durumunda serbest akım oluşmaktadır. Trafik hacminin kapasiteye yaklaşması ve kapasitenin üstüne çıkması durumunda trafik sıkışıklığı ve gecikme artmaktadır. Bu sebepten dolayı bir yol

kesiminin birim zaman içerisinde geçirebileceği maksimum araç sayısını saptamak gereklidir.

Kapasite analiz teknikleri iki şeritli karayolu, çok şeritli karayolu, otoyol, kent içi yollar, toplu taşıma, yaya hareketleri ve bisiklet yolları gibi birçok ulaşım sisteminde farklı yaklaşımlarla gerçekleştirilmektedir.

HCM (Highway Capacity Manual – Karayolu Kapasite El Kitabı) 1997 verileri göz önüne alındığında ideal şartlar altındaki kapasite değerleri Tablo 4’ deki gibidir.

Tablo 4. HCM 1997 kapasite değerleri

Otoyol	120 km/sa hız için	2400 otomobil/sa/şerit
	110 km/sa hız için	2340 otomobil/sa/şerit
	100 km/sa hız için	2300 otomobil/sa/şerit
	90 km/sa hız için	2250 otomobil/sa/şerit
Çok şeritli karayolu	100 km/sa hız için	2200 otomobil/sa/şerit
	90 km/sa hız için	2100 otomobil/sa/şerit
	80 km/sa hız için	2000 otomobil/sa/şerit
	75 km/sa hız için	1900 otomobil/sa/şerit
İki şeritli karayolu		2800 otomobil/sa/her iki yönde
Kesintili akımlar (kavşaklar)		2400 otomobil/yeşil saat/şerit

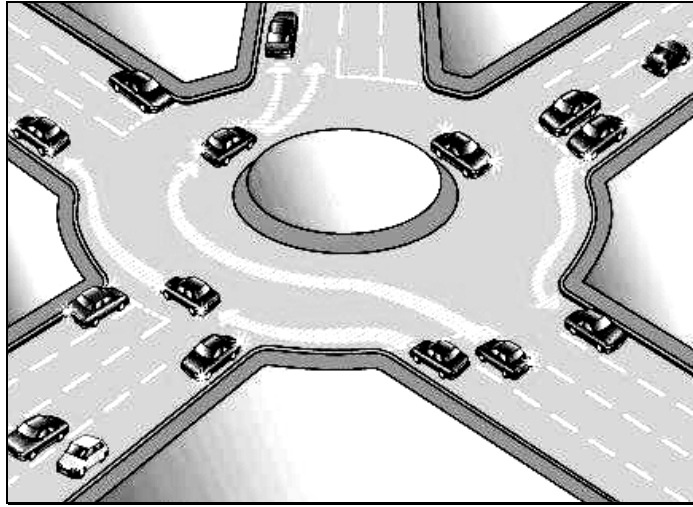
1.2.1.5. Kavşaklar

Kavşaklar, kent içi veya kent dışı karayollarında araç ve yaya trafiğinin çakıştığı noktalarda yapılan trafik tesislerindedir. Kavşaklar, araç ile aracın ve/veya araç ile yayaların iki, üç veya daha fazla yol ile kesiştiği yerlerde trafik akımının

- Sürekliliğinin (erişme kontrol) kesilmesi
- Emniyet azalması
- Hızın azalması
- Durma ve gecikmelerin artması
- Taşıt işletme maliyetinin artması
- Kapasitenin azalması

gibi olumsuzlukların giderilmesi amacı ile yapılmaktadırlar. Kavşaklar yol mühendisliğinden çok trafik mühendisliğinin uğraş alanı olup, trafik mühendisliğinin temel prensiplerine bağlı olarak tasarlanmaktadır.

Aynı noktada çakışan yolların güzergâh ve sayılarına bağlı olarak değişik tiplerde kavşaklar tasarlanabilir. En basit üç veya dört-kollu kavşaklardan dönel kavşaklara ve en karmaşıklarından yonca tipi farklı seviyeli kavşak tasarımları ihtiyaç dahilinde trafik tesislerinin oluşturulması adımlarında yer alabilmektedirler.

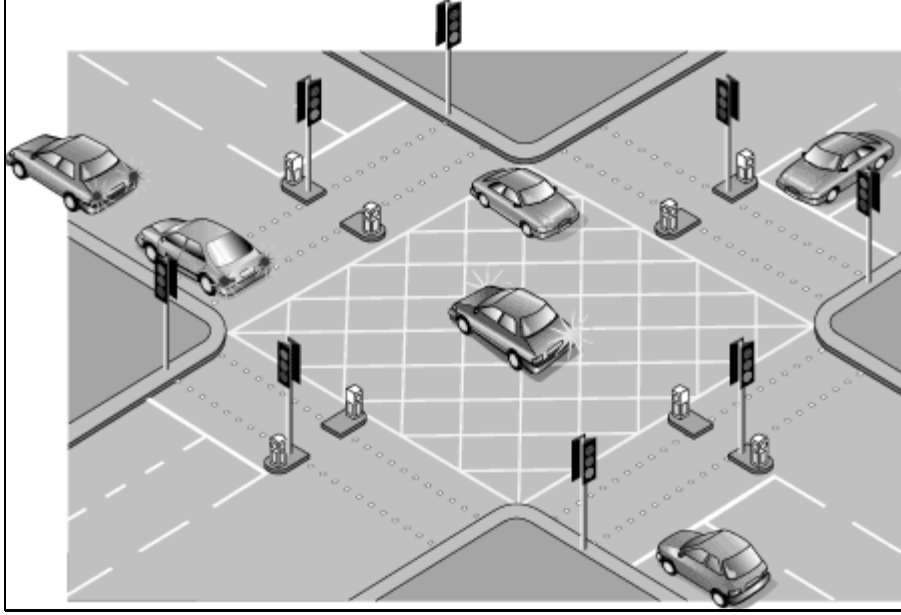


Şekil 6. Beş kollü dönel kavşak



Şekil 7. Spagetti kavşak

Şekil 8'deki gibi klasik dört-kollu kavşakta farklı yönlerde hareket eden araçlar 8 katılma, 8 ayrılma ve 16 kesişme olmak üzere toplam 32 adet çakışma noktası oluşmaktadır. Bu da emniyetin ve hızın azalmasına veya durma zorunluluğunun oluşmasına, trafik tıkanıklığına vb. durumlara sebebiyet vermektedir.



Şekil 8. Dört-Kollu kavşaktaki çakışma noktaları

Örnek şekillerden de anlaşılacağı üzere, yol tesisleri üzerindeki çakışma noktalarında karar verilecek olan kavşak tipi trafik akış hızı üzerinde önemli etkiler yapmaktadır. Belli bir güzergâh üzerinde yol çakışması, kavşak oluşturulmasına ve bu noktadaki kavşağın hangi tipte olacağına çok iyi karar vermek gerekir. Trafik ağı üzerine eklenecek gereksiz kavşaklar araç akışını rahatlatmaktan çok trafiğin daha da sıkışık hale gelmesine sebep olabilirler.

Tezimizin konusu olan simülasyon yazılımları, sisteme yeni bir yol tesisi veya kavşak eklenmesinin trafik akışının üzerindeki olumlu veya olumsuz etkilerini fiziki bir uygulamaya geçmeden önce test edebilme imkânını sunmaktadırlar.

1.2.2. Trafik Sinyalizasyon Gereksinimi

Kaza risklerinin azaltılması, kavşak kapasitelerinin artırılması ve anayolun korunması amacıyla trafik kontrol tesislerinin sistem içerisinde yer almasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Trafik kontrol tesislerine duyulan ihtiyaç üç farklı seviyede kendisini göstermektedir.

- Seviye I (Pasif Kontrol)
 - Anayolda tali yol bağlantısı ikaz işareti
 - Tali yolda anayol bağlantısı ikaz işareti
- Seviye II (Geçiş üstünlüğünün atanması)
 - YOLVER trafik işareti
 - DUR trafik işareti
 - Dönüş yasakları (sağ, sol veya U)
- Seviye III (Pozitif kontrol)
 - Mühendislik tesisleri (özel sol veya sağ dönüş şeritleri, trafik adaları vs.)
 - Trafik sinyalizasyonu
 - Trafik polisi

Trafik sinyalizasyonu, yoğun trafik hacmine sahip kavşaklarda trafik polisi ile yönlendirme haricinde en etkin trafik kontrol sistemidir. Farklı yönlerdeki trafik akımlarının meydana getirdiği çakışma noktaları trafik sinyalizasyonu sayesinde azaltılabilmektedir.

Kavşak trafik hacmi Tablo 5’ de belirtilen değerlerden fazla olması halinde kavşağın trafik sinyalizasyonu ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Tablo 5’ de belirtilen değerler ortalama bir günün herhangi bir 8 saatinin her biri için hesaplanmış trafik hacmidir.

Tablo 5. Minimum araç trafiği için hacim şartı

Her bir yaklaşım için şerit sayısı		Anayoldaki Araç/Saat Trafiği (Her iki yönün toplamı için)	Tali Yol Yaklaşımında En Yüksek Araç/Saat Trafiği (Sadece bir yöndeki)
Anayol	Tali Yol		
1	1	500	150
≥2	1	600	150
≥2	≥2	600	200
1	≥2	500	200

Eğer anayol ve tali yol trafik hacmi Tablo 6’ da verilen değerlerin üstünde ise kavşak, trafik sinyalizasyonu ile kontrol altına alınmalıdır.

Tablo 6. Sürekli trafik akımının kesintisi için minimum trafik hacmi şartı

Her bir yaklaşım için şerit sayısı		Anayoldaki Araç/Saat Trafiği (Her iki yönün toplamı için)	Tali Yol Yaklaşımında En Yüksek Araç/Saat Trafiği (Sadece bir yöndeki)
Anayol	Tali Yol		
1	1	750	75
≥2	1	900	75
≥2	≥2	900	100
1	≥2	750	100

1.2.2.1. Webster Yöntemi ile Sinyalizasyon Analizi

Webster yöntemi kesintili trafik akımını esas alan bir yaklaşımdır. Sinyalize kavşaklardaki trafik akımı trafik sinyalleri ile kesintiye uğratıldıklarında kesintili akımın karakteristiği kesintisiz akımın karakteristiğinden farklı olmaktadır.

1.2.2.1.1. Doyum Akımı ve Kapasite

Bir kavşakta belirli bir yön için daima yeşil ışığın yandığı varsayılarak, yani $g/C=1.00$ (yeşil süre/periyo t süresi oranı) olduğu kabul edilerek kavşaktaki her bir şeritten geçebilen maksimum trafik akımıdır.

1.2.2.1.2. Efektif Yeşil Süre ve Efektif Kırmızı Süre

Yeşil ve kırmızı sinyale tahsis edilen süreler kayıp sürelerden dolayı değişecektir. Bu nedenle sinyalizasyon analizlerinde efektif süreler göz önüne alınmalıdır. Efektif yeşil süre (g) 2 numaralı formüldeki gibi olacaktır.

$$g_i = G_i + Y_i - t_L = G_i + (y + r_h) - t_L \quad (2)$$

Burada;

g_i : i fazı için efektif yeşil süre, san

G_i : i fazı için gerçek (fili) yeşil süre, san

t_L : Toplam kayıp süre, san

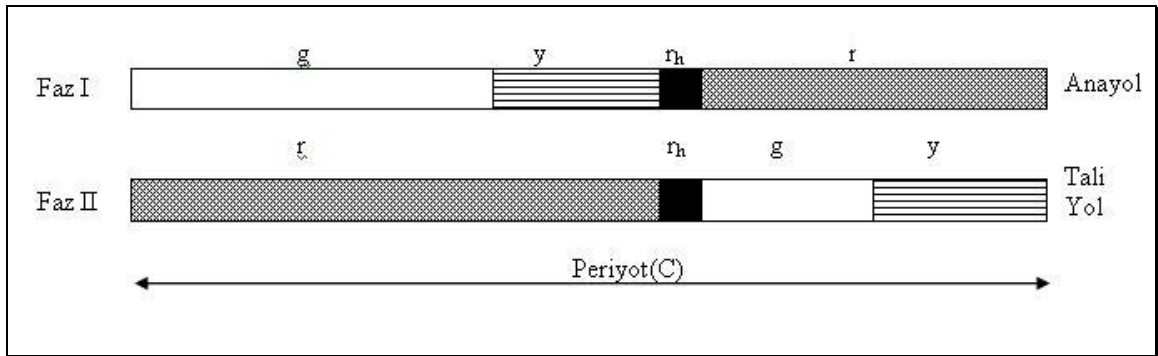
Y_i : Sarı+tüm kırmızı süre, san

r_h : Hep kırmızı süre, san

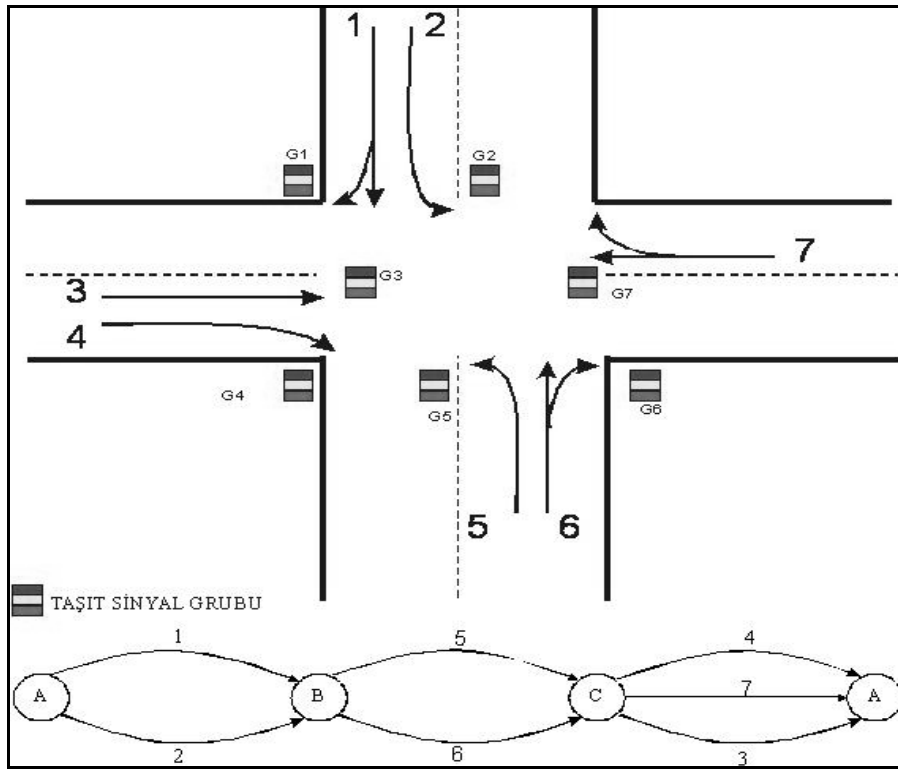
y : Sarı süre, san

Efektif kırmızı süre (r) ise 3 numaralı formül ile bulunur

$$r_i = r + t_L = C - g_i \quad (3)$$



Şekil 9. İki fazlı trafik sinyalizasyonu



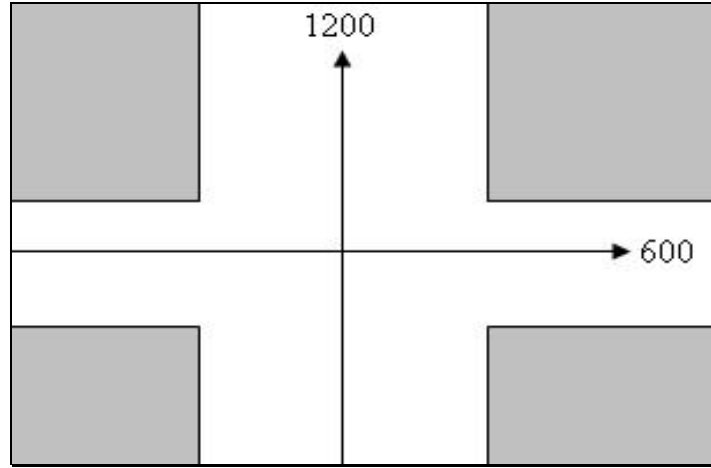
Şekil 10. Dört kollü kavşak ve onun faz diyagramı

1.2.2.1.3. Sinyal Döngüsü

Sinyal döngüsü ya da başka bir deyişle periyot genellikle 60 ile 120 saniye arasındadır. Ancak çok özel şartlar haricinde periyodun 60 ile 80 saniye arasında seçilmesi genellikle uygun olmaktadır. Eğer periyot uzun tutulursa her bir koldaki araç bekleme süresi artar. Buna karşılık periyot kısa tutulursa her bir faz için oluşan toplam kayıp süre daha fazla tekrarlanacağından dolayı uzun periyoda nazaran 1 saat içinde daha fazla kayıp süre oluşacaktır. Bu nedenle optimum periyot süresinin tayini minimum gecikme ve minimum toplam kayıp süre yönünden önemlidir.

1.2.2.2. Kritik Şerit Yöntemi ile Sinyalizasyon Analizi

Kritik şerit yöntemi minimum periyot süresinin tayin edilmesinde kullanılır. Kritik şerit kavramı sürenin hangi yönlere tahsis edileceğini belirlemek için ifade edilir. Herhangi bir fazda kavşağa yaklaşan kollarda birden fazla şerit olduğundan, bu şeritlerden en yoğun trafiğe sahip olan belirlenebilirse bu süre diğer şeritler için de aynı fazda yeterli olacaktır.



Şekil 11. Farklı trafik yoğunluğundaki kavşak kolları

Kritik şerit gruplarındaki akım oranlarının toplamı uygun periyot süresinin bulunması amacı ile kullanılabilir.

$$Y_c = \sum_{i=1}^n \left(\frac{v}{s} \right)_{ci} \quad (4)$$

Burada;

Y_c : kritik şerit gruplarındaki akım oranları toplamı

$(v/s)_{ci}$: i inci kritik şerit grubundaki akım oranı

n: kritik şerit grupları adedi

c: şerit grubu kapasitesi (taşıt/saat)

$$L = \sum_{i=1}^n (t_L)_{ci} \quad (5)$$

Burada;

L: periyot içindeki toplam zaman kaybı

$(t_L)_{ci}$: i inci kritik şerit grubundaki toplam kayıp zaman

n: kritik şerit grupları adedi

$$C_{\min} = \frac{LxX_c}{X_c - \sum_{i=1}^n \left(\frac{v}{s} \right)_{ci}} \quad (6)$$

Burada;

Cmin: minimum gerekli periyot uzunluğu (sn)

L: periyot

X_c : kesişimdeki kritik v/c oranı

$(v/s)_{ci}$: i inci kritik şerit grubundaki akım oranı

n: kritik şerit grubu adedi

c: şerit grubu kapasitesi (taşıt/saat)

Bütün bu formüllerden faydalanılarak kritik şerit yöntemi ile gerekli olan yeşil sürenin hesaplanması 7 numaralı formül yardımı ile gerçekleştirilir.

$$g_i = \left(\frac{v}{s} \right)_{ci} \left(\frac{C}{X_i} \right) \quad (7)$$

Burada;

g_i : i inci faz için efektif yeşil süre

$(v/s)_{ci}$: i inci kritik şerit grubundaki akım oranı

C: periyot süresi (sn)

X_i : i inci şerit grubundaki v/c oranı

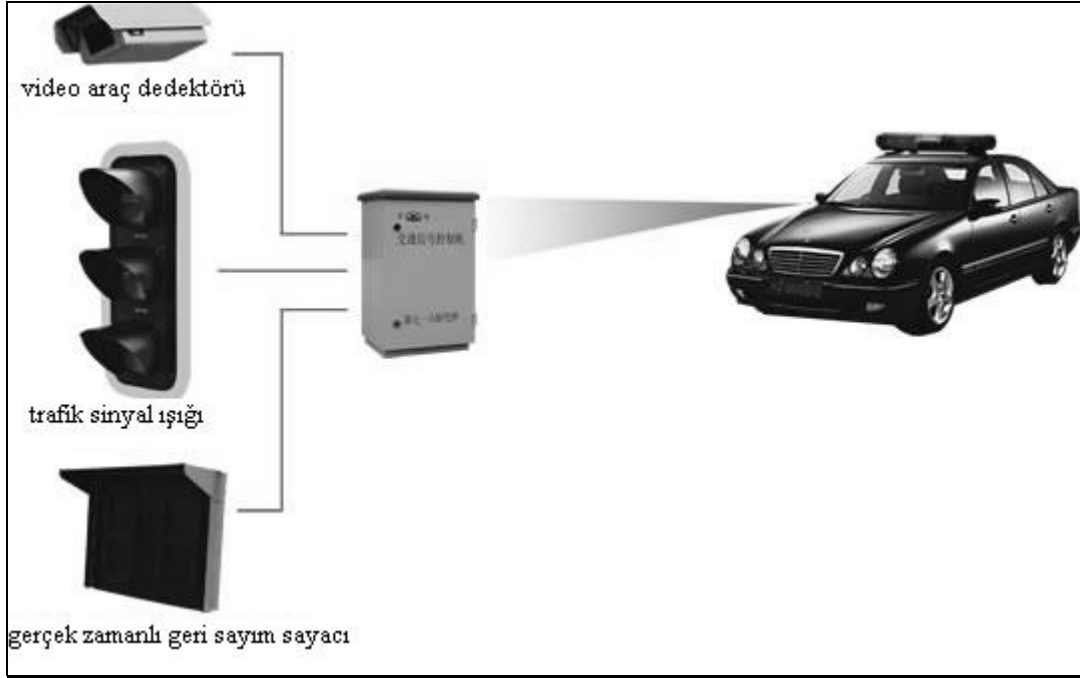
c: şerit grubu kapasitesi (taşıt/saat)

1.2.2.3. Yeşil Dalga Sinyalizasyonu

Yeşil dalga, birbiri ardı gelen trafik ışıkları serisinin birkaç kavşak üzerinden tek yönlü olarak trafik akışının kesintisiz olarak sürmesini koordine etmek olarak adlandırılır.

Yeşil dalga boyunca hareket edecek herhangi bir aracın, önceden kararlaştırılmış uygun bir sabit hızda seyretmesi halinde sinyalizasyon kavşaklardan geçerken, durmaksızın yoluna devam edebilmesi mümkün olmaktadır.

Sinyallerin koordinasyonları, bazen Şekil 12' deki gibi, mevcut trafik akımını ölçen sensorlardan alınan veriler sayesinde dinamik olarak gerçekleştirilmektedir. En yüksek trafik akımına sahip yollar üzerindeki kavşaklarda bu sinyalizasyon sistemi uygulanmaktadır.



Şekil 12. Yeşil dalga tayininde trafik akımının sensorlar yardımı ile ölçümü

1.3. Örnek Simülasyon Yazılımları

Karayollarındaki trafik akışlarını modellemek için kullanılan TRANSIMS, VISSIM, ARTIST, UTRAN vb. trafik akışlarının simüle edilmesini sağlayan örnek yazılımlardır.

Örnek vermek gerekirse Transims, açılımı Transportation Analysis Simulation System (Ulaşım Analiz ve Simülasyon Sistemi) olarak ifade edilen ve içerdiği özelliklerle ulaşım modelleme alanında çözüm üretme amacı güden bir trafik simülasyon yazılımıdır.

Transims ve benzeri birçok yazılım gerçekleştirdiği simülasyonlar dâhilinde, her bir sürücü ve araç hareketini büyük bir şehrin geniş ulaşım ağında dahi tek başlarına ele alarak simüle etme özelliğine sahip ajan tabanlı bir simülasyon yazılımıdır. Anlaşılacağı üzere bu yazılımlar, mikroskobik (microscopic) model tabanlı sistemlerdir.

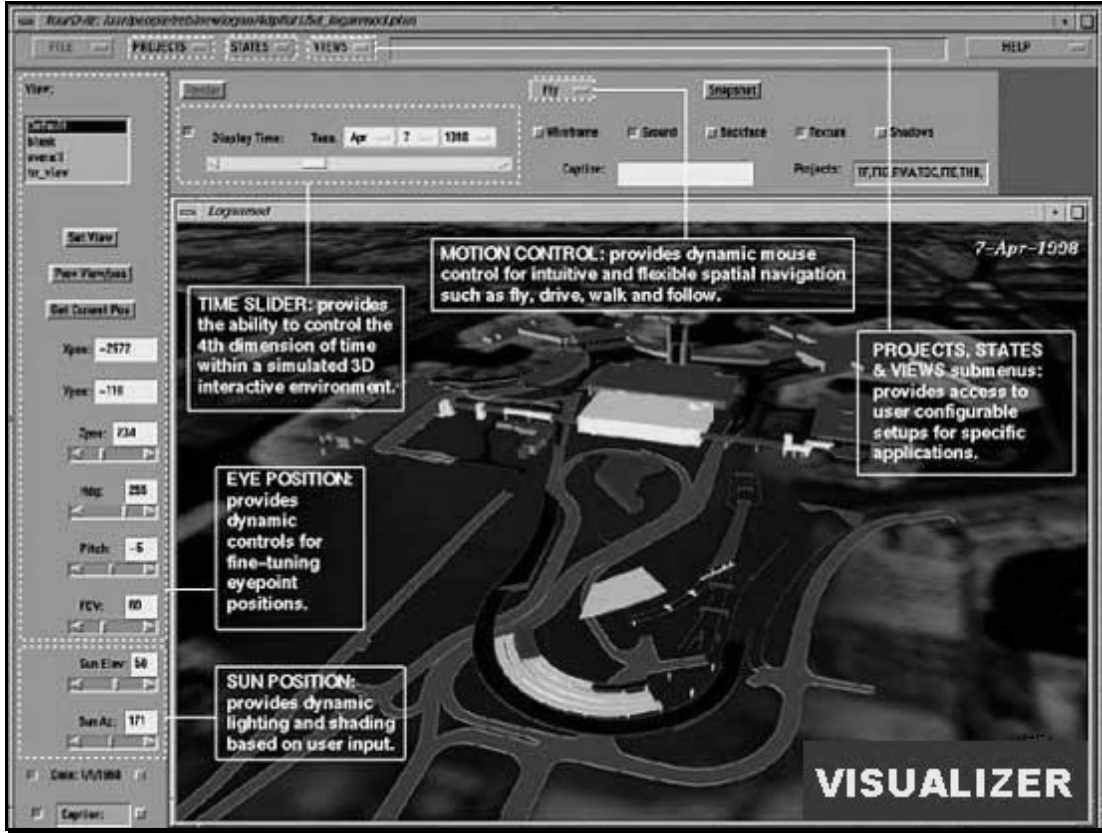
Büyük veya orta ölçekli trafik ağlarını modellemek için bu tür yazılımların üretilmesi, ancak büyük finansmanları olan güçlü bir proje takımının çalışmaları sonucunda mümkün olabilmektedir.

Yine örnek vermek gerekirse, Transims Amerika Ulaşım Departmanı ve Amerika Çevre Koruma Ajansı finansmanı ile Los Alamos Ulusal laboratuvarında sekiz yılı aşkın bir çalışmanın sonucunda üretilmiş bir yazılımdır. IBM İşletme Danışmanlığı TRANSIMS projesinin aynı isimle, modelleme fonksiyonları için kolayca kullanılabilen bir grafik ara yüzüne, Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı şebeke editörüne, üç boyutlu görsellik ve animasyon özelliklerine ve bir raporlama sistemine sahip ticari yazılımını geliştirmiş bulunmaktadır.

1.3.1. Mevcut Yazılımların Bileşenleri

Trafik simülasyon yazılımları genellikle, sanal bir Büyükşehir bölgesini, her bir evdeki hane halkının ulaşım alt yapısını kullanarak günlük aktivitelerini gerçekleştirmek için yaptıkları seyahatleri o bölgedeki popülasyona bağlı olarak ele alabilecek detaya sahip bir şekilde tasarlama ve simüle etme imkânı vermektedir. Transims vb. trafik simülasyon yazılımlarının ortak özellikleri, simüle edilecek yol şebekesini görsel olarak çizmek ve canlandırmak için barındırdıkları grafik tabanlı simülasyon ara yüzleridir. Arka planda yapılan her türlü hesaplama ve istatistiğin görsel olarak yansıtıldığı bu önemli bileşen sayesinde simülasyonun çalışması esnasında sürücüleri, yolcuları ve araçların hareketlerini ve ulaşım ağındaki o anki pozisyonlarını açıkça görebilmek mümkündür. Görsel olarak ifade edilen simülasyon işlemlerinin yanı sıra raporlama ara yüzleri sayesinde sonuçları istatistiksel veriler olarak elde etmek mümkündür.

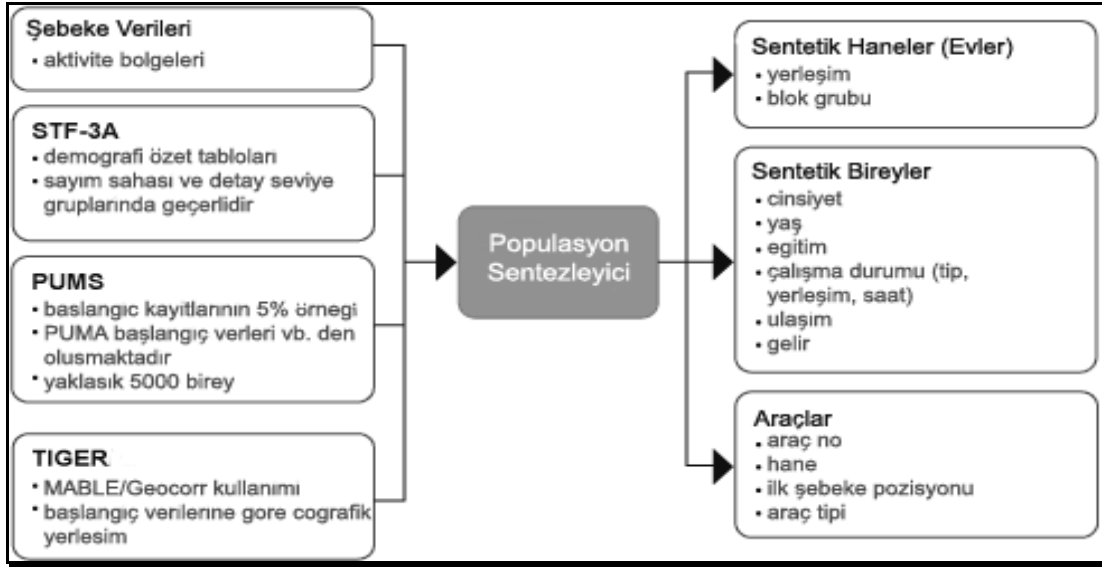
Genellikle bu tip yazılımların içerisinde saydığımız bu özellikleri barındıran aşağı yukarı altı farklı bileşen bulunmaktadır.



Şekil 13. Transims görsel ara yüzü

1.3.1.1. Nüfus Sentezleyici

Nüfus sentezleyici, simüle edilecek gerçek şehir bölgesindeki nüfusu taklit edecek şekilde yapay bir nüfus üretilmesini sağlamaktadır. Örnek olarak, o bölgede 1 milyon insan veya 400 bin hane bulunduğu bilinmekte ise Nüfus Sentezleyici 1 milyon yapay insanı 400 bin haneye dağıtacak şekilde sentezleyebilmektedir. Yapay insanlar kullanıcının seçimine bağlı olarak yaş, cinsiyeti eğitim durumu gibi özellikleri kendilerine özgü olarak birbirlerinden farklı olarak üretilirler. Nüfus Sentezleyicinin bu imkânları sayesinde simülasyon anındaki bireylerin davranışları ve simülasyona etkileri farklılaşmaktadır.



Şekil 14. Nüfus sentezleyici

1.3.1.2. Rota Belirleyici

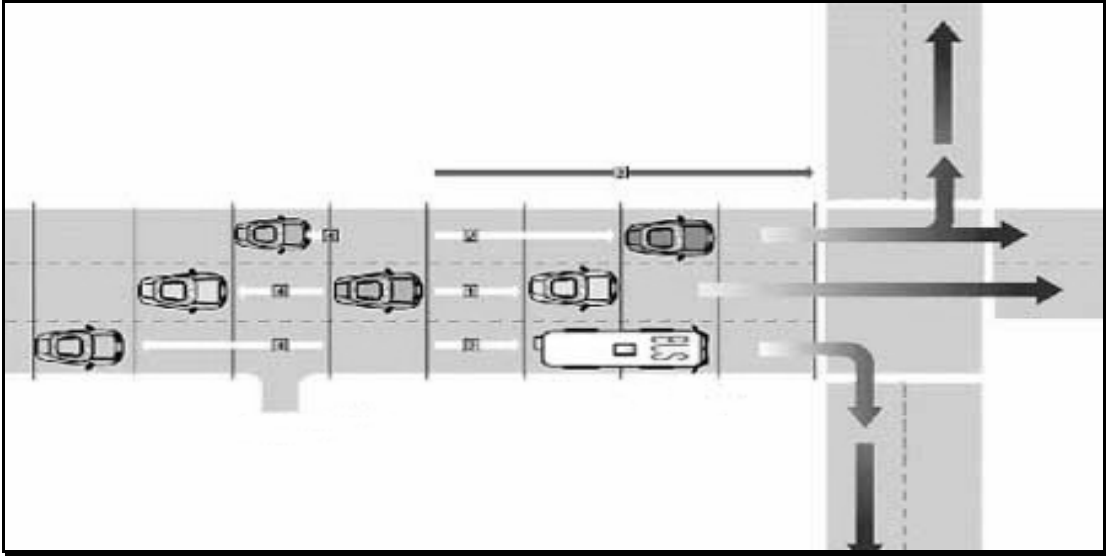
Rota belirleyiciler, Nüfus Sentezleyici tarafından üretilen bireylerin, bir aktiviteyi gerçekleştirmek için yapacakları her bir seyahatteki optimum rotanın bulunmasını ve seyahat yönünün tayin edilmesini sağlamaktadır. Yapay bireyler ve araçlar şehrin ulaşım ağında bir noktaya yerleşirler ve mikro simülatörden (mikroskobik modele dayalı simülatörler) alınan geri beslemeler ve yapılan analizler sayesinde bu ağ üzerindeki bir başka noktaya Yön Tayin Edici tarafından belirlenen rota sayesinde ulaşabilmektedirler.

1.3.1.3. Aktivite Üretici

Nüfus Sentezleyici tarafından üretilen bireylere, gün içinde gerçek hayattaki insanlar gibi çalışmak, evde oturmak, alışveriş yapmak, okula gitmek gibi aktiviteleri atayarak bu bireylerin hareket ve davranışlarına göre trafiğin de akışının şekillenmesini sağlayan önemli bir bileşendir. Trafikteki en önemli unsur seyahat eden kişilerin kararları ve hareketleri olduğuna göre, bireylerin gerçekleştirecekleri aktiviteler onların trafik akışına dahil olup olmamaları ve gidecekleri rotanın belirlenmesinde belirleyici rol oynayacaktır.

1.3.1.4. Mikro Simülâtör (Mikroskobik Modele Dayalı Simülâtör)

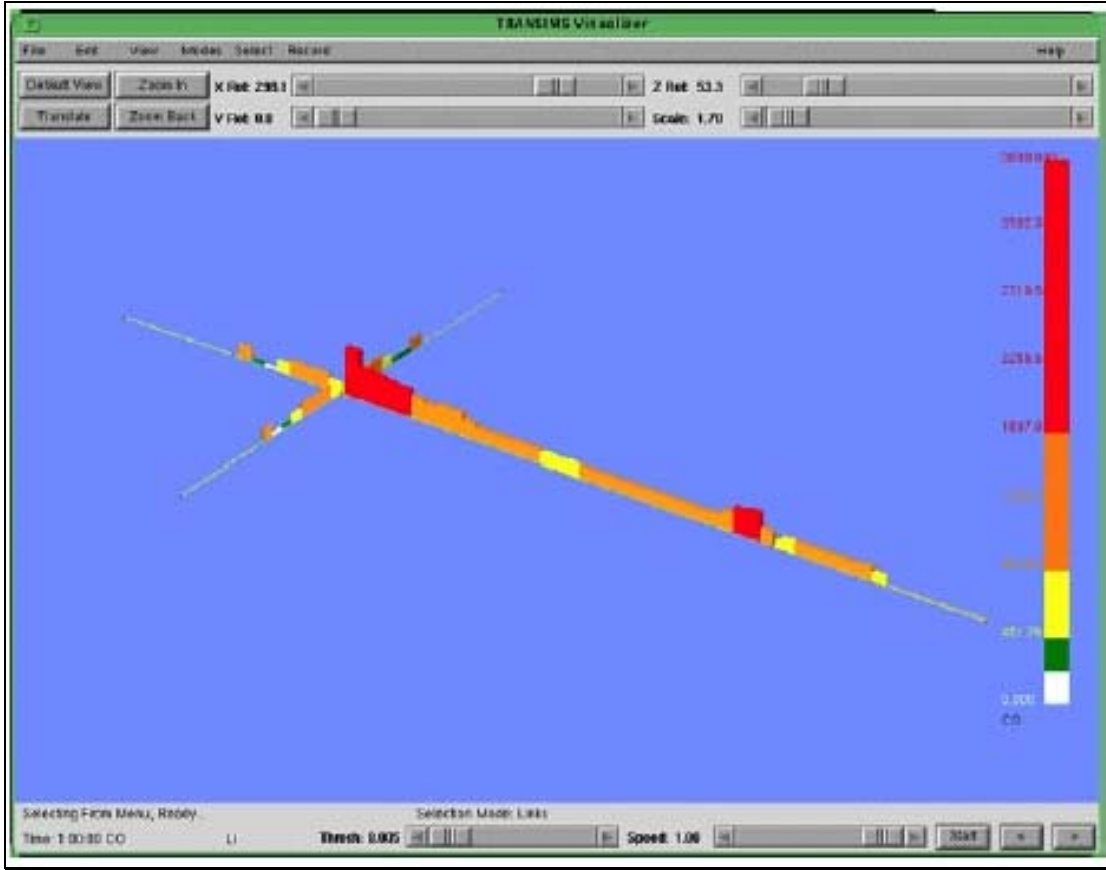
Mikro simülâtör Yön Tayin Edici tarafından belirlenen seyahat planını işleterek simülasyonun gerçekleşmesini sağlar. Uygulama sahasındaki yolcuların ve araçların hareketlerini, kesişimlerini simüle eden bileşendir. Mikro simülâtör trafik dinamikleri, araç ve yolcu durumları, trafik kontrol araçlarının anlık durumları gibi zengin bir bilgi yığınını üretebilmektedir. Simülasyonun girdilerini kullanarak görsel ve istatistiksel sonuçların alınmasını sağlayan, daha kısa tabirle simülasyonu gerçekleştiren asıl bileşendir.



Şekil 15. Simülasyon görüntüsü

1.3.1.5. Emisyon Tahmin Edici

Emisyon tahmin edici, çevresel birtakım faktörleri göz önüne alarak, arabaların hareketleri sonucunda ortaya çıkan nitrojen oksit, hidrokarbon, karbon monoksit ve karbon dioksit gibi gazların yakıtın yakılması sonucunda hangi oranlarda atmosfere bırakıldığını tahmin etmektedir. Bu tahminler sayesinde simüle edilen trafik akışı esnasında ortaya çıkacak gazların çevre kirliliğine etkileri hakkında bilgiler elde edilebilmektedir.



Şekil 16. TRANSIMS, karbon monoksit emisyonu ölçüm verileri

1.3.1.6. Geri Besleme Araçları

Simülasyon yazılımlarında bulunan geri besleme araçları sayesinde simülasyon esnasında ve sonucunda elde edilen bütün bilgileri elde etmek ve değerlendirmek mümkün olmaktadır. Bu araçlar sayesinde simülasyona dâhil olan araçların anlık bilgileri, simülasyona ait istatistikî veriler rapor halinde elde edilebilmektedir. Simülasyonun özetlenmesi veya raporlanması için kullanılan araçlardan oluşan bileşenler olduklarını rahatlıkla söyleyebiliriz.

1.3.2. Mevcut Yazılımların Çalıştıkları Platformlar

Büyük ölçekli ağ şebekelerinin simülasyonunu gerçekleştiren yazılımların içerilerindeki programlar farklı donanım/yazılım platformları üzerinde dağıtık uygulamalar halinde işletilmektedir. Benzer sistemleri kullanabilmek için aşağıdakilere benzer sistem gereksinimlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

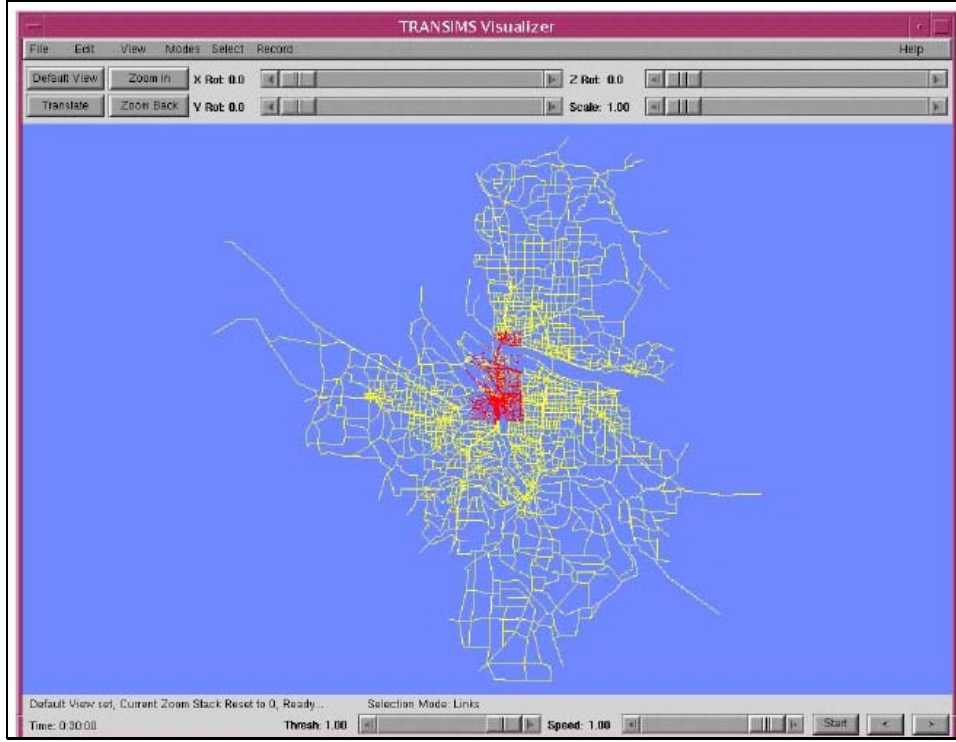
- TRANSIMS gibi yazılımların çekirdeğini barındıracak Unix/Linux sunucu(lar), Oracle veritabanı. Bu sunucular üzerinde yazılımdaki modelleme ara yüzü'ne ait sunucu taraflı bileşenler çalıştırılmaktadır. Daha geniş çaptaki problemlerin çözümü için çoklu hesaplama yapabilecek Linux tabanlı sunucu kümesi kullanılabilir.
- Windows iş istasyonları şebeke editörü, istemci tabanlı modelleme ara yüzü ve Crsytal report benzeri raporlama uygulamaları için kullanılmaktadır.
- Opsiyonel olarak Linux iş istasyonları görselleştiricinin işletilmesi amacı ile sisteme dâhil edilebilirler. Alternatif olarak, Linux sunucu yüksek performanslı bir grafik kartı ile donatılarak bu amaç için kullanılabilir. Görselleştiricinin Windows iş istasyonu üzerinde çalışacak başka bir sürümü geliştirilme aşamasındadır

1.3.3. Simülasyon Yazılımları ile Yapılan Çalışmalar

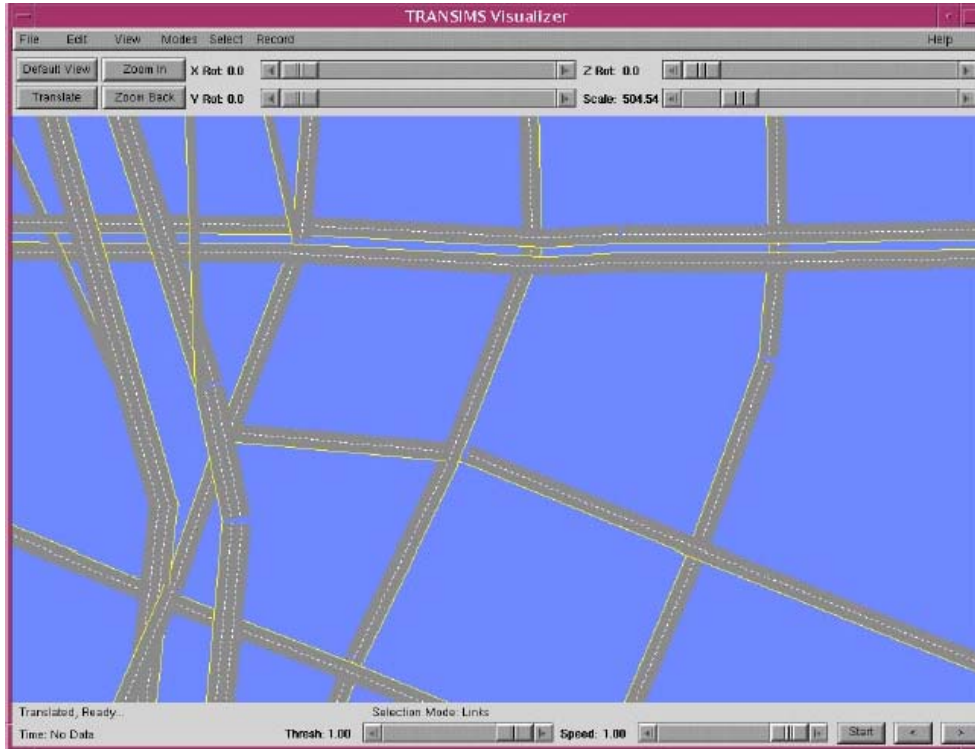
Büyük ölçekli şehir içi ve şehirlerarası yolların simülasyonunu gerçekleştiren bu tip yazılımlar şu ana dek değişik bölgelerdeki trafik ağlarının tasarımında yardımcı rol oynamıştır.

Örneğin, Transims trafik simülasyon yazılımı Portland Şehrinin trafik şebekesini simüle etmek ve trafik akışını rahatlatmak için çözümler üretmek amacı ile kullanılmıştır. Portland şehri gibi büyük ölçekli bir çalışma sahasını, 100 000 civarındaki aracı aynı anda tek bir Pentium tabanlı CPU yardımı ile gerçek zamana göre 8 kat hızlı bir şekilde simüle edebilmiştir. Simülasyonda Şekil 15' de gösterildiği gibi, Portland (Oregon) Büyükşehir sahasında 20 000 civarındaki trafik şebekesi için yaklaşık 20 000 link kullanılmıştır.

Transims bileşenlerinin Portland şehrine özgü verilerle yaptıkları işlemler sonucunda şehrin trafik şebekesi ile ilgili gerçekçi çözümler üretme imkânı doğmuştur.



Şekil 17. Portland trafik ağının TRANSIMS ekranındaki görüntüsü



Şekil 18. Portland trafik ağına simülasyon ekranında yakın plan bakış

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

Yapılan çalışmada, orta ölçekli bir trafik ağının farklı parametreler ile simülasyonunu gerçekleştirecek bir yazılım üretilmesi amaçlanmıştır. Bu yazılım aracılığı ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile en uygun trafik mühendisliği çözümünün tespit edilmesi hedeflenmiştir. Özellikle sabit zamanlı sinyalizasyon, yeşil dalga sinyalizasyonu ve adaptif sinyalizasyon modelleri aynı yol modelleri üzerinde ayrı ayrı test edilerek trafik sıkışıklıklarını gerçek hayatta en aza indirecek ve trafik akışını rahatlatacak sinyalizasyon modelinin de belirlenmesine çalışılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada simülasyon yazılımını geliştirmek için Borland Delphi (Pascal) masaüstü yazılım geliştirme aracı kullanılmıştır. Simülasyonun görsel ara yüzünü hazırlamak amacı ile 2 veya 3 boyutlu grafikleri çizdirmek için kullanılan bir API (Uygulama Programlama Ara yüzü) olan OpenGL' den (Açık Grafik Kütüphanesi) faydalanılmıştır. Delphi programlama ara yüzünde OpenGL kütüphanesinden daha kolay ve etkin bir biçimde faydalanmayı sağlayan GScene bileşeni aracılığı ile görsel arayüz geliştirilmiştir.

Trafik simülasyonu için hazırlanan algoritmalar Trafik Mühendisliği Kavram ve verilerine dayanarak belirlenmiştir. Yol, kavşak, araç, sinyalizasyon ile ilgili Trafik Mühendisliği standartları esas alınarak yazılım geliştirilmiş ve simülasyonlarda gerçekliğin yakalanması amaçlanmıştır.

2.1. Simülasyon Yazılımı Geliştirme Adımları

Geliştirilen yazılım nesne tabanlı (object oriented) olarak tasarlanmıştır. Mikroskobik simülasyon modelini temel alan yaklaşımı benimsediğimiz için, sistemde yer alacak olan her bir objenin verisi diğer bütün objelerden ayrı tutulmuştur.

Hazırladığımız sistem karayolu trafik simülasyonunu için kullanılacak tüm objelerin simülasyon alanı üzerine uygulanması ve birbirleri ile otomatik olarak ilişkilendirilmeleri mümkün kılacak şekilde dizayn edilmiştir. Benzer sistemlerde olduğu gibi uygulama ekranının bir bölümü menüler, düğmeler ve gerekli simülasyon parametrelerinin verilebilmesini sağlayan bilgi giriş elemanları ile donatılmıştır. Uygulama ekranının büyük bir kısmı görsel çizim ve simülasyon anını izlemeye yarayan

bölüme ayrılmıştır. OpenGL API kütüphanesinin özelliklerinden faydalanılarak, bu alan üzerinde aşağıda saydığımız trafik elemanları çizilebilmektedir.

2.1.1. Çizim İşlemleri

Simülasyon sisteminde trafik ağını tasarlamaya yarayan ve simülasyonun temelini oluşturan en önemli unsur çizim ekranı ve yazılımın sunduğu çizim yetenekleridir.

Çizim işlerini gerçekleştirebilmek için ekran görüntüsünde objeleri poligonlar ve küpler yardımı ile oluşturmayı hedefledik. Yol bileşenleri ve simülasyon anında ortaya çıkan araçları resim dosyalarından doku halinde yükleyerek görüntülemeyi düşündük ve OpenGL kütüphanesinin bu önemli özelliklerinden faydalandık.

EA (Electronic Arts) firmasının sürekli geliştirdiği kent simülasyonu oyunu olan Sim City' de kullanılan yol ve kavşak gibi elemanların çizim teknikleri simülasyon yazılımımızda yapmak istediğimiz çizim yöntemlerine örnek teşkil etmiştir.



Şekil 19. Sim City 4 çizim araçları ve ekran görüntüsü

2.1.1.1. Yol Tesislerinin Çizimi

Hiç şüphesizdir ki, yol tesisleri trafik şebekelerinin oluşturulmasındaki en önemli mühendislik yapılarıdır. Seyahatin bir noktadan bir başka noktaya doğru gerçekleşebilmesi için o istikamette uygun bir yol tesisinin inşa edilmesi gerekmektedir. İşte bu noktada trafik simülasyon yazılımı dahilinde tek şeritli, çift şeritli ve üç şeritli, gidiş ve geliş istikametleri bulunan yol tesislerinin çizimine ve kullanımına imkân sağlanmıştır.

Yol tesislerinin sisteme eklenmesinde bazı hususlar göz önüne alınarak çizim işleminin tam ve eksiksiz olarak yapılması amaçlanmaktadır.

- Yol tesisinin çizimi fare aracılığı ile serbestçe gerçekleştirilebilmelidir. Simülasyon penceresinin sol tarafındaki menüden seçilecek şerit sayısına bağlı olarak yol dokusu aktif çizim dokusu olarak belirlenmelidir. Çizim ekranı üzerinde farenin sol tuşu basılı tutularak bir noktadan bir başka noktaya doğru sürükleme yöntemi sayesinde yol tesisi rahatlıkla çizilebilmelidir.
- Yolun çizimi esnasında bir başka yol tesisi ile çakışması durumunda kesişme noktasına otomatik olarak bir kavşak eklenebilmelidir. Eğer ki o noktada bir kavşak mevcutsa ve çakışma noktasındaki kol birleşimi boş ise yol tesisi kavşak noktası ile birleştirilebilmelidir.
- Yolun ekrandaki çizim açısı farenin sürükleme yönüne göre otomatik olarak ayarlanabilmelidir. Açı sınırlaması olmamalıdır.
- Yolun çizimi için ilk tıklanılan pozisyonda başka bir yol tesisi mevcut ise bu noktaya yine otomatik olarak bir kavşak eklenebilmelidir. Eğer ilk tıklanılan pozisyonda hâlihazırda bir kavşak mevcut ise kavşağın boş olan kol birleşimi istikametinde yolun çizimine devam etmeye imkân sağlanmalıdır. Kavşağın kol birleşimleri dolu ise çizim otomatik olarak iptal edilmelidir.
- Yolun tıklanıldığı pozisyon başka bir yol tesisinin uç noktalarından biri ise, şerit sayısının aynı olması kaydı ile yeni çizimin önceki yolun devamı şeklinde olması sağlanabilmelidir. Açı yönünün farklı olması halinde birleşim noktasındaki açığa göre otomatik olarak viraj verilebilmelidir.
- Yolun uzunluk bilgisi çizim işlemi gerçekleştirilirken takip edilebilmelidir.

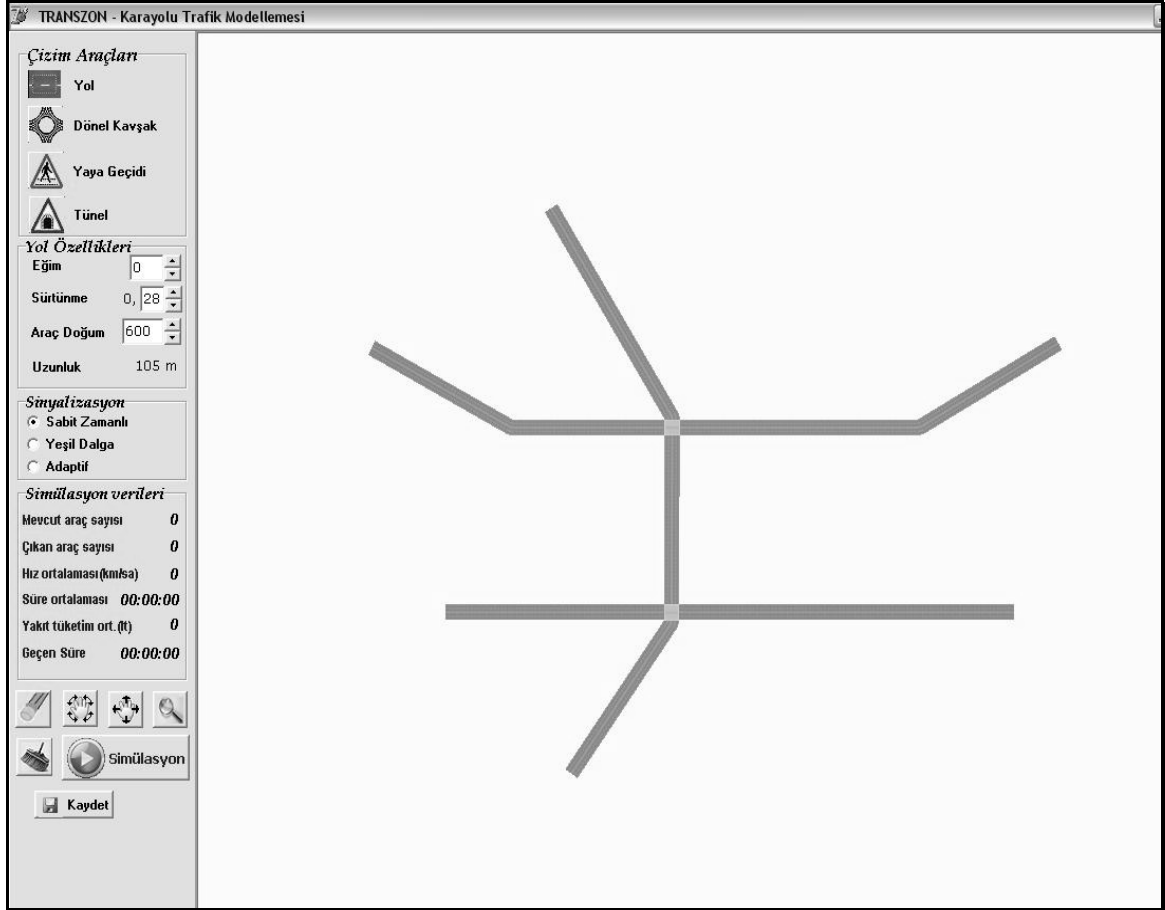
- Eklenecek yol tesisinin boş bulunan herhangi bir uç noktasından simülasyonun başlatılması anında saat başına sisteme dâhil olacak araç sayısı şeritlere bağlı olarak ayarlanabilmelidir.
- Yolun en temel özellikleri olan eğim bilgisi ve sürtünme katsayısı ayarlanabilmelidir. Bu parametreler, simülasyon anındaki araç seyirlerine ve elde edilecek sonuçlara direkt olarak etki edecektir. Mevcut trafik sistemlerinin oluşturulmasında çevresel faktörler göz önüne alındığında araziye de bağlı olarak yol eğimleri ve araç ile kaplama arasındaki sürtünme kuvvetini belirleyen sürtünme katsayısı parametreleri değişmektedir. Bu değişkenliğin simülasyon içerisinde de oluşturulabilmesi gereklidir.

Bir trafik sistemi içerisinde gerçekleştirilen seyahat esnasında yolcular başlangıç noktasından seçime göre farklı noktalara ulaşabilmelidirler. Gidilecek istikametlerin her biri için ayrı bir yol tesisi kurulması mümkün değildir. Kaldı ki gidilecek istikamet in seyahat esnasında değiştirilebilmesi bu şekilde mümkün olmayacaktır.

Kavşaklar yolların kesişim noktalarındaki trafik tesisleri olup trafiğin ve seyir istikametinin değiştirilmesi ve yönlendirilmesini sağlayan kritik bir bileşendir. Simülasyon sistemi içerisinde kavşakların oluşturulması ve özelliklerinin belirlenmesi için çizim anında dikkat edilecek hususlar bulunmaktadır.

- Kavşaklar yol tesislerinin kesişim noktaları olduğuna göre, çizim anındaki yol çakışmaları esnasında otomatik olarak yerleşebilmelidirler.
- Kavşağın kesiştiği kollardaki şerit sayısına bağlı olarak genişlik ve yükseklik değerleri değişik olabilir.
- Kavşaklar çakışan kol sayısına bağlı olarak iki kollu, üç kollu veyahut dört kollu kavşaklar olarak otomatik olarak uygulanabilmelidir. Kullanıcı çizim esnasında kavşağın fiziksel özelliklerini belirlemek için uğraşması gerekmez.
- Kesişim noktasında dört kollu kavşak bulunması halinde, bu kavşağın tipi dört kollu dönel kavşak olarak sonradan değiştirilebilmelidir.
- İki kollu bir kavşağın yol tesisi üzerine eklenmesi düşünülüyorsa, dönel kavşak seçeneğinin menüden tercih edilmesi ve ilgili yol bölümüne tıklanılarak bu pozisyonda iki kollu dönel kavşak çizilmesi mümkün olmalıdır.

- İki kollu kavşağın eklenileceği pozisyonda başka bir kavşak türü mevcut ise ekleme işlemi geçersiz sayılmalıdır. Ancak yolun boş kısımlarına iki kollu kavşak eklenilebilmelidir.



Şekil 20. Simülasyon ekranında yol ve kavşak çizimleri

Trafik şebekeleri seyahat için sadece araçlara değil, aynı zamanda yayalara da hizmet vermektedirler. Yolların birer parçası olan kaldırımlar ve benzeri yapılara yayaların aynı istikamette serbestçe ilerlemelerine imkân sağlamaktadır. Nasıl ki araçlar kavşaklara geldikleri zaman yönlerini değiştirebiliyorlar ise, yayaların da seyahat anında yollarını değiştirmek ve karşıdan karşıya geçmek gibi hakları olmalıdır. Sistem içerisinde yaya geçitlerinin de varlıkları düşünülmüş ve trafiğin belli bir anında önceliğin yayalara verilmesi sağlanmıştır.

Yaya geçitlerinin sisteme eklenmesi esnasında şu hususlara dikkat edilmektedir.

- Yaya geçidi seçeneği yine bir düğmeye tıklanılması sureti ile aktif hale getirilebilmeli ve ilgili yol üzerindeki belirli bir noktaya tıklanılması sonucunda otomatik olarak eklenilebilmelidir.
- Yaya geçidinin eklendiği pozisyonda yol tesisi dışında kavşak, tünel vb bölümler bulunuyorsa çizim işlemi iptal edilmelidir. Yaya geçitleri sadece yolların boş kısımlarına eklenebilmelidir.

Bilindiği üzere tünel, bir yandan diğer yana geçmek için yeraltından kazılan yola verilen addır. Ya da bir başka ifade ile çevresi tamamen kapalı olan yol tesislerine tünel adı verilmektedir.

Yine gerçekçi bir simülasyon yazılımı oluşturabilmek için arazi ve çevre şartları sonucunda, yol güzergâhı üzerindeki dağ veya küçük tepeleri delerek oluşturulan tünelleri modelimiz içerisinde kullanmayı amaçladık.

Sistemimizde tünellerin oluşturulmasında şu hususları göz önüne aldık.

- Tünel dokusu çizim araçları arasından seçilip aktif hale getirilebilmelidir. Aktif haldeki dokuyu fare yardımı ile herhangi bir yol kesimi üzerine tıklamak suretiyle tünelin bu bölgeye yerleştirilmesi sağlanmalıdır.
- Tünellerin yerleştirileceği yol kesiminin şerit sayısı göz önüne alınarak genişlik değeri otomatik olarak verilmeli ve bu sonuç görsel çizime de yansımalıdır.
- Araçların tünel bölgesine girişlerinde çoğu zaman yol şeritlerinde daralma gözlemlendiği düşünülürse, bu özellik hem çizime hem de obje özelliklerine yansıtılmalıdır.

2.1.2. Çizimlerin Üzerindeki İşlemler

Kimi zaman yapılan çizim işlemleri üzerinde bazı değişiklikler yapma ihtiyacı hissedilebilir. Çizim işlemi kullanıcının el hassasiyetine dayandığı için yanlış veya eksik çizimlerin bertaraf edilmesi gereklidir.

Sistem içerisine hatalı çizimleri veya silinmesi gereken bölümleri ortadan kaldırmaya yarayacak araçların da eklenmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu sebeple çizilen herhangi bir trafik tesisi (yol, kavşak, tünel, yaya geçidi) üzerinde tıklanıldığı zaman bu öğeyi ve ona bağlı özellikleri çizim alanından kaldırmaya yarayacak bir silme aracı hazırlanmıştır.

Yine uygulama ekranında sol tarafta yerleşen silgi düğmesine tıklanıldığı zaman serbest çizim işlemi durdurulur ve bu bileşen aktif hale getirilir. Çizim ekranı üzerindeki belli bir noktaya tıklanıldığı zaman fare imlecinin denk geldiği çizim öğesi ve buna bağlı özellikler ortadan kaldırılır.

Ayrıca, bütün çizimin iptal edilmesi yoluna gidilecekse, çizim alanını tamamen temizlemeye yarayan bir özelliğin de olması düşünülmüş ve temizle düğmesi yine sol taraftaki düğmeler arasına yerleştirilmiştir.

Simülasyon ve çizim ekranı görüntü itibari ile mevcut ekran çözünürlüklerine bağlı olarak yazılım penceresindeki en büyük alana sahiptir. Ancak bu görüntü alanı orta ölçekli yol şebekelerinin çizimlerinin sığacağı kadar büyük değildir. Bu sıkıntıyı aşmaya yarayacak yardımcı çözüm elemanları yine sistem içerisinde düşünülmüştür.

Benzer yazılımlarda da olduğu gibi, çizim alanını sağa sola hareket ettirerek çizimin daha geniş alanlara yayılmasına imkân sağlayan bir başka araç yine araç düğmeleri arasındaki yerini almıştır. Bu kaydırma aracını aktif hale getirmek suretiyle çizim ekranını fare ile sürükleyip farklı alanlara doğru kaydırmak mümkün olmuştur.

Aynı zamanda çizim ekranını 360 derece döndürmeye ve çizim ekranına farklı açılardan bakmayı sağlayan bir de döndürme aracı eklenmiştir. Benzer araçlarda olduğu gibi tek yapılması gereken şey bu bileşeni ilgili düğmeye tıklayıp aktif hale getirmek ve fareyi çizim alanında basılı tutarak ekranı kendi eksenini etrafında döndürmekten ibarettir.

Çizim ekranına farklı mesafelerden bakmayı mümkün kılan büyüteç özelliği de sisteme entegre edilmiştir. Büyüteç nesnesinin seçimi ile beraber çizim alanında farenin sol tuşuna her tıklanması işlemi çizim alanına daha yakından bakmaya, her sağ tıklama işlemi de çizim alanına daha uzaktan bakmaya imkân sağlamaktadır. Bu bileşenler simülasyon anında yol şebekesini farklı mesafelerden daha rahat takip etme imkânını da sağlamaktadır.

Simülasyonun en önemli gayesi taşıtların trafik sistemi içerisindeki hareket ve davranışlarını kararlaştırmak ve aynı zamanda bu hareketleri görsel olarak simülasyon ekranına yansıtmaktır.

Sistemdeki taşıtlar, hesaplanan koordinatlara otomatik olarak yerleştirilen ve her simülasyon adımında koordinatları güncellenen küp nesnelere oluşmaktadır. Derinlik bilgisi olmayan farklı ebatlardaki küplere araç resimlerinin doku olarak yüklenmesi sayesinde, yol elemanları üzerinde gerçekçi bir araç görüntüsü elde edilebilmektedir.

Farklı araç tipleri için farklı resimler kullanılarak, simülasyon ortamındaki araçların çeşitliliğinin artması sağlanmıştır.



Şekil 21. Araç dokusu örneği

2.1.3. Kullanılan Nesnelerin Özellikleri

Simülasyonun gerçekleşmesini sağlayan bütün nesnelerin kendilerine has bazı özellikleri önceden tanımlanmıştır. Tanımlanan bu özelliklerin kullanılması ile simülasyon yazılımı nesne tabanlı (object oriented) bir uygulama haline gelmiş ve sistem dahilindeki bütün nesnelerin birbirleri ile olan ilişkileri objelere ait değişkenlerde tutulan değerler aracılığı ile belirlenebilmiştir. Ayrıca bilinen bu nesneye özel değerler aracılığı ile simülasyon sonuçlarında kullanılan bazı ortalama verileri içeren değişkenlerin hesaplanabilmesi mümkün olmuştur. Objelerin ve bu objelerde tutulan özelliklerin listesi Tablo 7 ve 8’ de görülebilir.

Tablo 7. Yol ve kavşakların nesnel yapısı

Nesne Adı	Özellikleri	Kullanım Amacı
Yol	baslangic	İlgili yol nesnesinin başlangıç noktasından başka bir yol nesnesinin devam edip etmediğini ve varsa obje indeksine göre kaç numaralı eleman olduğunu tutar.
	surtunme	Araçların hızlanma ve frenleme hareketlerinin en önemli parametresi olan sürtünme kuvvetinin o yola ait değerini barındırır.
	egimaci	Yolun arazi düzlemine göre eğiminin yüzde kaç olduğunu tutar.
	aracoran	Çizilen yol üzerindeki boş olan başlangıç ve bitiş noktalarından saat başına doğacak araç sayısının şerit başına düşen miktarını saklamaktadır.
Kavşak	yerlesim	Yol çizimleri esnasında meydana gelen çakışmanın oluşturduğu kavşağın hangi yol üzerine inşa edildiğini ifade eden sayısal bilgidir. Buradaki değer kavşağın yerleştirildiği yolun, obje indeksindeki sıra numarası ile aynıdır.
	ust, alt	Kavşağın üst ve alt kollarına bağlı yolların olup olmadığı, varsa bağlı olan nesnenin indeks numarasını saklayan değişkenlerdir.
	p0,p1,p2,p3	Kavşaklara uygulanacak sinyalizasyona göre içeriği değişebilen, dört koldaki sinyalizasyon için sinyal periyotlarının tutulduğu değişkenlerdir.

Tablo 8. Araçların nesnel yapısı

Nesne Adı	Özellikleri	Kullanım Amacı
Araç	tip	Sisteme giriş yapan aracın tipini sayısal bilgi olarak tutar. Araç tipleri 1-Motosiklet 2-Araba 3-Minibüs 4-Otobüs 5-Kamyon olarak belirlenmişlerdir.
	yerlesim	Aracın simülasyonun herhangi bir anında hangi yol bloğu üzerinden geçmekte olduğu bilgisini tutar. Böylelikle simülasyon adımları içerisinde sürekli yol ile aracın çakışma testlerinin yapılmasına gerek kalmaz. Araç yerleşim değişkeninde verilen yolun özelliklerine bağlı olarak simülasyonda ilerler.
	hız	Aracın o anki hızını saklamaya yarar.
	ortalama hız	Aracın simülasyonda kaldığı süre içerisinde, kavşaklarda ve sıkışıklarda durduğu anlar da hesaba katılarak ortalama hız bilgisini saklamak için kullanılır. Bu bilgi sistemdeki genel araç hız ortalamasının da bulunmasına yardımcı olmaktadır.
	süre	Aracın simülasyonda bulunduğu sürenin tutulduğu değişkendir. Yine hız bilgisinde olduğu gibi, sistemden çıkan araçların ortalama kalış sürelerinin hesaplanmasında bu değerlerden faydalanılır.
yakıt	Araç tiplerine bağlı olarak, bilinen standart değerlere göre kat edilen mesafelerde veya durma anlarında aracın harcadığı toplam yakıt bilgisinin hesaplanmasında kullanılır ve yine sistem ortalama yakıt tüketim değerlerinin bulunmasını sağlar.	

2.1.4. Sinyalizasyon

Gerçekleştirilecek simülasyonlardaki ölçümlere seçilecek olan sinyalizasyon tipi önemli ölçü de etki edecektir. Simülasyonun çalıştırılmasından önce veyahut çalıştırılması esnasında sinyalizasyon tipini belirlemeye yarayan üç seçenek kullanıcıya sunulmaktadır. Bunlar;

- Sabit zamanlı sinyalizasyon
- Yeşil dalga sinyalizasyonu
- Adaptif sinyalizasyon

olarak belirlenebilmektedir.

Sinyalizasyon algoritmaları giriş kısmında incelediğimiz tekniklere ait formüller sayesinde oluşturulmuştur. Bu algoritmaların işletilmesi, kavşaklara ait sinyal periyotlarının tutulduğu değişkenlerin değerlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Araçların kavşağa ulaşmaları halinde bu parametreye bağlı olarak çalışan sinyalizasyon sistemine bağlı olarak kavşakta bekler ya da kavşak geçişini gerçekleştirebilmektedirler.

2.2. Simülasyonun Çalıştırılması

Çizim işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve gerekli bütün parametrelerin belirlenmesinin ardından simülasyon çalıştırılarak kurulan modelin test edilmesi sağlanır. Test işlemi esnasında araçların başlangıç noktalarından doğuş anları ve simülasyon ekranındaki hareketleri görsel olarak rahatça izlenebilmektedir.

Ayrıca, simülasyon yazılım penceresinin solunda yer alan bölümde simülasyona ait birtakım verilerin sürekli güncellenerek gösterilmesi sağlanmaktadır.

Simülasyonun çalışması esnasında aşağıda saydığımız işlemler gerçekleşmektedir.

- Araçlar çizilen yolların boş uçlarından o yolun araç doğum oranına bağlı olarak belirli aralıklar ile sisteme dahil olurlar.
- Araçların o anki hızlarına bağlı olarak her simülasyon adımında yol kesimi üzerinde belli bir mesafeyi kat ederler.
- Araçların hareketleri esnasında fren mesafeleri (frenleme sonrası durmak için kat edilmesi gereken mesafe) hesaplanarak bu mesafe içerisinde önlerinde başka bir araç, kavşak, yaya geçidi olup olmadığı test edilir. Eğer araçların önlerinde bu saydıklarımızdan herhangi birisi var ise hızları azaltılır.

- Hız, yolun sürtünme ve eğim katsayılarına bağlı olarak, yavaşlama ivmesi oranında azaltılabilir.
- Araçlar rasgele hızlanma gerçekleştirecekler ise, her araç tipine bağlı olarak değişkenlik gösteren hızlanma ivmesi oranınca hız artışı gerçekleştirilir.
- Araçların kavşaklara geldikleri zaman olabildiğince yavaşlarlar. Eğer gittikleri yön için kavşakta yeşil ışık yanıyorsa rasgele bir yön seçerek kavşak boyunca ilerleme hareketlerini devam ettirirler. Gittikleri yön için kavşakta kırmızı ışık yanıyor ise, o yönde yeşil ışık aktif olana kadar beklerler.
- Araçlar tünel kesimlerine geldikleri zaman yavaşlarlar ve bu bölümde şerit sayısı bir eksilerek yollarına daha sıkışık bir akış ile devam ederler.
- Araçların bütün hareketleri için ilgili simülasyon adımları içerisinde hız, süre, ortalama hız, yakıt bilgileri hesaplanıp sürekli güncellenir.
- Araçlar bir yol kesiminin boş olan ucuna ulaştıkları anda sistemden çıkarılırlar. Bu esnada araçların o anki verileri simülasyon verilerinin ortalamasına katılır ve obje ortadan kaldırılır.
- Ekrandan takip edilebilen simülasyon verileri belli periyotlar ile (5 dakikada bir) kayıt edilir. Kayıt edilen veriler daha sonradan istatistiksel grafiklerin çizdirilmesi ve sonuçların değerlendirilebilmesi amacı ile bir dosyada saklanılabilmektedir.

2.3. Kavşak Simülasyonu

Simülasyon yazılımını kullanarak her biri ikişer şeritten oluşan dört kollu bir kavşağın simülasyonunu gerçekleştirmeye çalıştık.

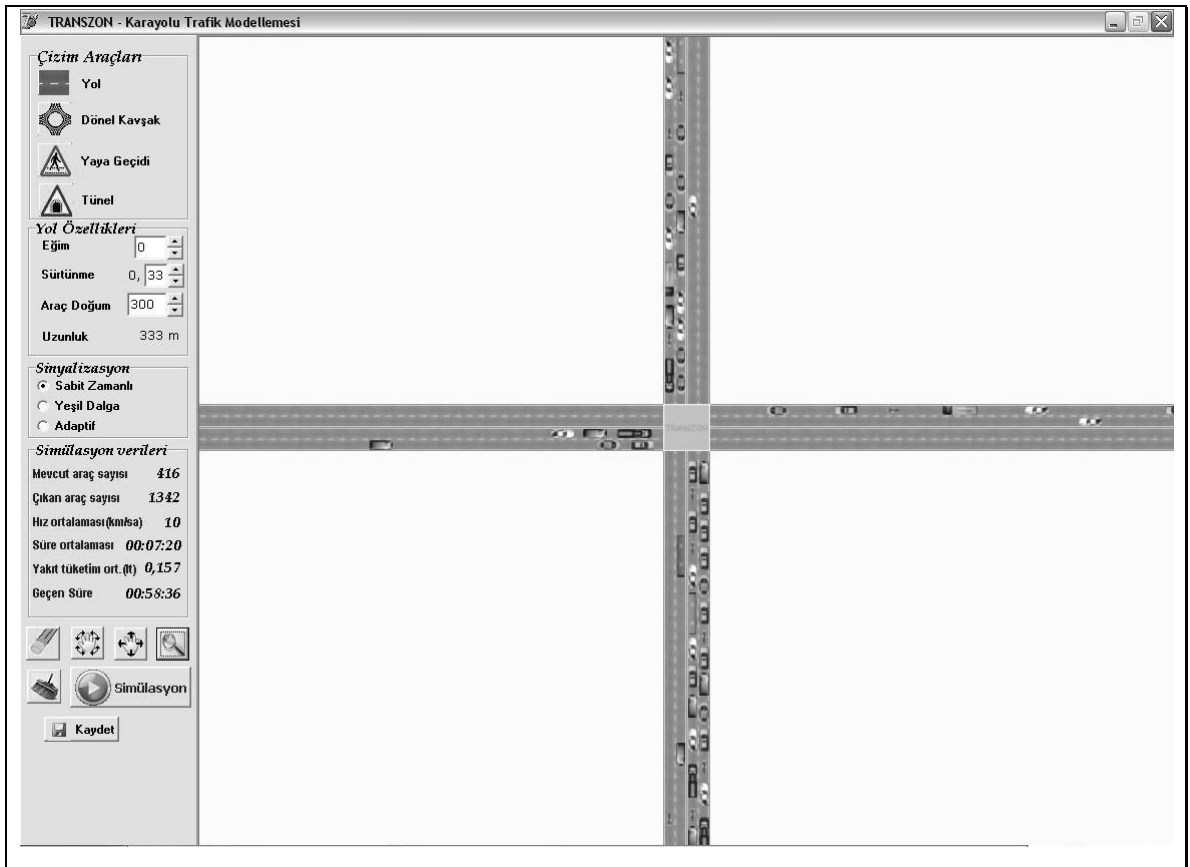
2.3.1. Simülasyon Parametreleri

Simülasyon P4 1600 Ghz işlemcili, 512 RD ram a ve 32 MB GeForce ekran kartına sahip bir bilgisayar sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir.

- Kavşak simülasyonu dört saatlik bir zaman zarfı içerisinde yapılmıştır.
- Her dört saatlik simülasyonda sabit zamanlı sinyalizasyon, adaptif sinyalizasyon teknikleri ayrı ayrı denenmiştir. Yeşil dalga birden fazla kavşak

içeren trafik sistemleri için kullanılabilir olduğundan simülasyonda denenmemiştir.

- Kavşakta kesişen yol parçası uzunlukları 500 er metre olarak verilmiştir.
- Kavşakta birleşen yolların eğimleri sıfır kabul edilmiş, sürtünme katsayıları da 0,28 ve 0,33 değer aralığında verilmiştir.
- Kavşak kollarından doğan araç sayıları her bir şerit için saat başına 300 araç olarak belirlenmiştir.
- Doğacak araç tipleri rasgele olarak belirlenmiştir.



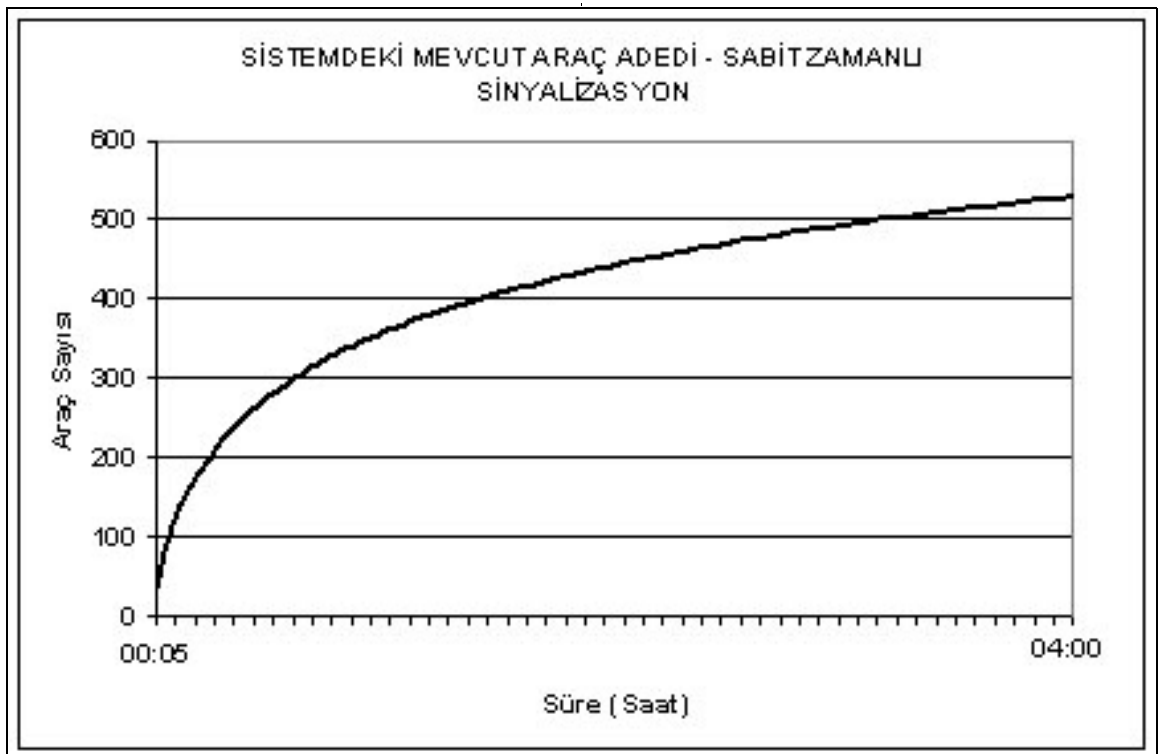
Şekil 22. Kavşak simülasyonu ekran görüntüsü

Simülasyonun sonuçlandırılmasının ardından elde edilen veriler yardımı ile çizilen grafikler, yapılan iki ayrı simülasyonda kurulan modeller arasındaki farkı ortaya koymaktadır.

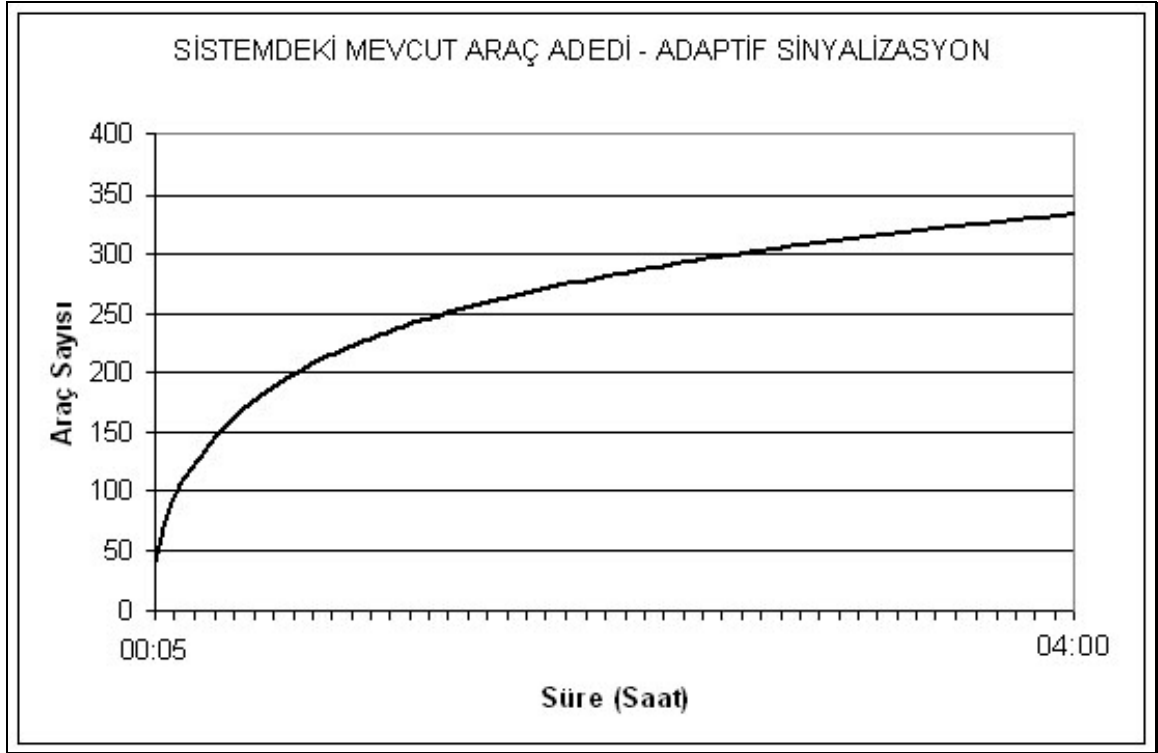
2.3.2. Elde Edilen Sonuçlar

Simülasyonun sonuçlandırılmasının ardından elde edilen veriler yardımı ile çizilen grafikler, yapılan iki ayrı simülasyonda kurulan modeller arasındaki farkı ortaya koymaktadır.

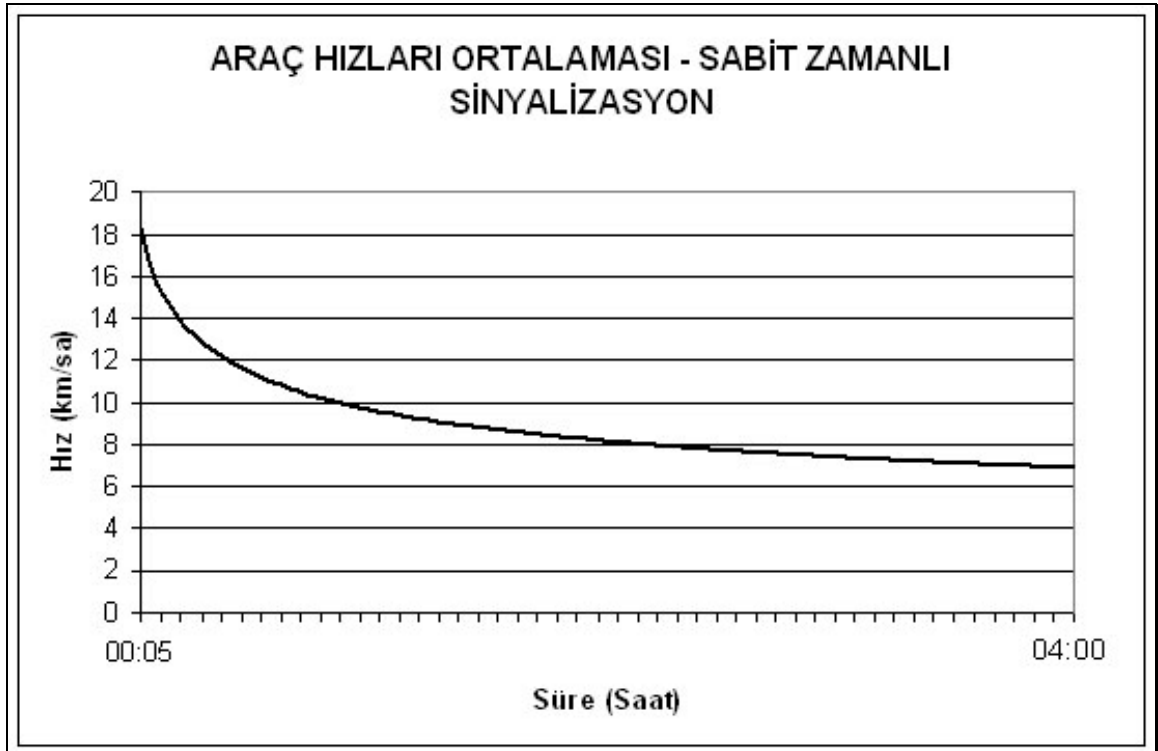
Elde edilen grafikler incelendiği takdirde, aynı şartlarla adaptif sinyalizasyon ile gerçekleştirilen tek kavşak simülasyonu, sabit zamanlı sinyalizasyona göre trafik sıkışmalarını daha aza indirmiş ve trafik akışını rahatlatmıştır.



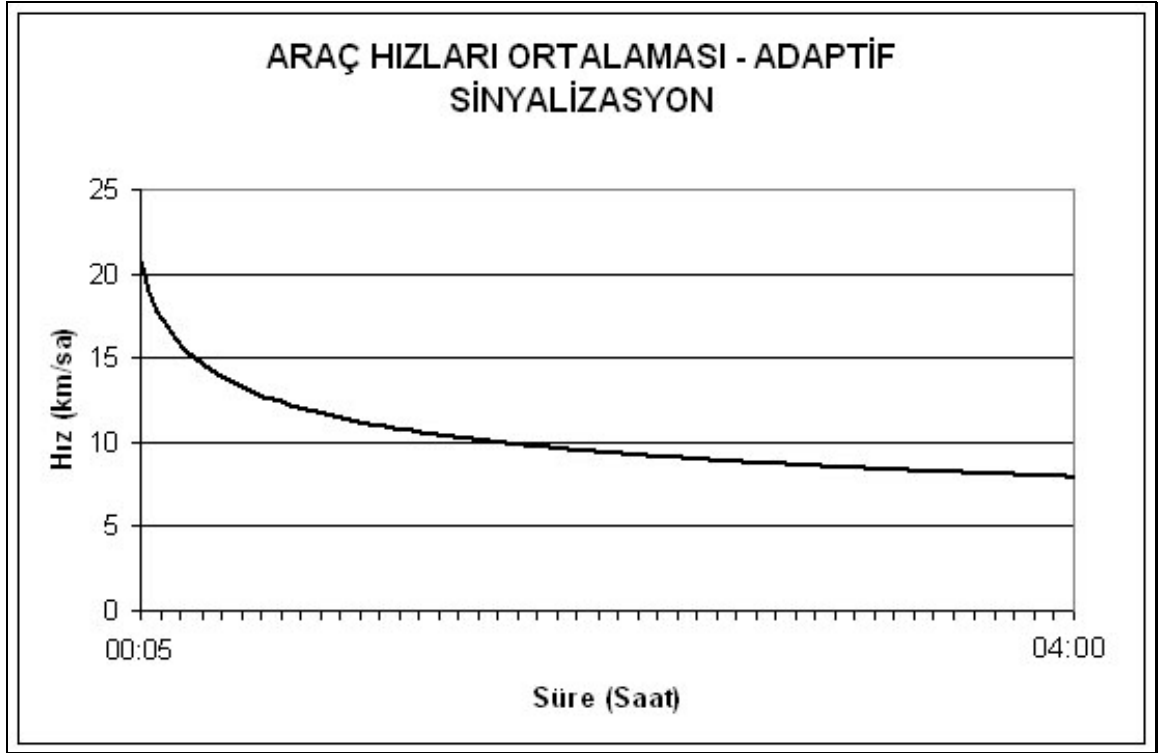
Şekil 23. Dörtlü kavşakta araç sayıları grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon)



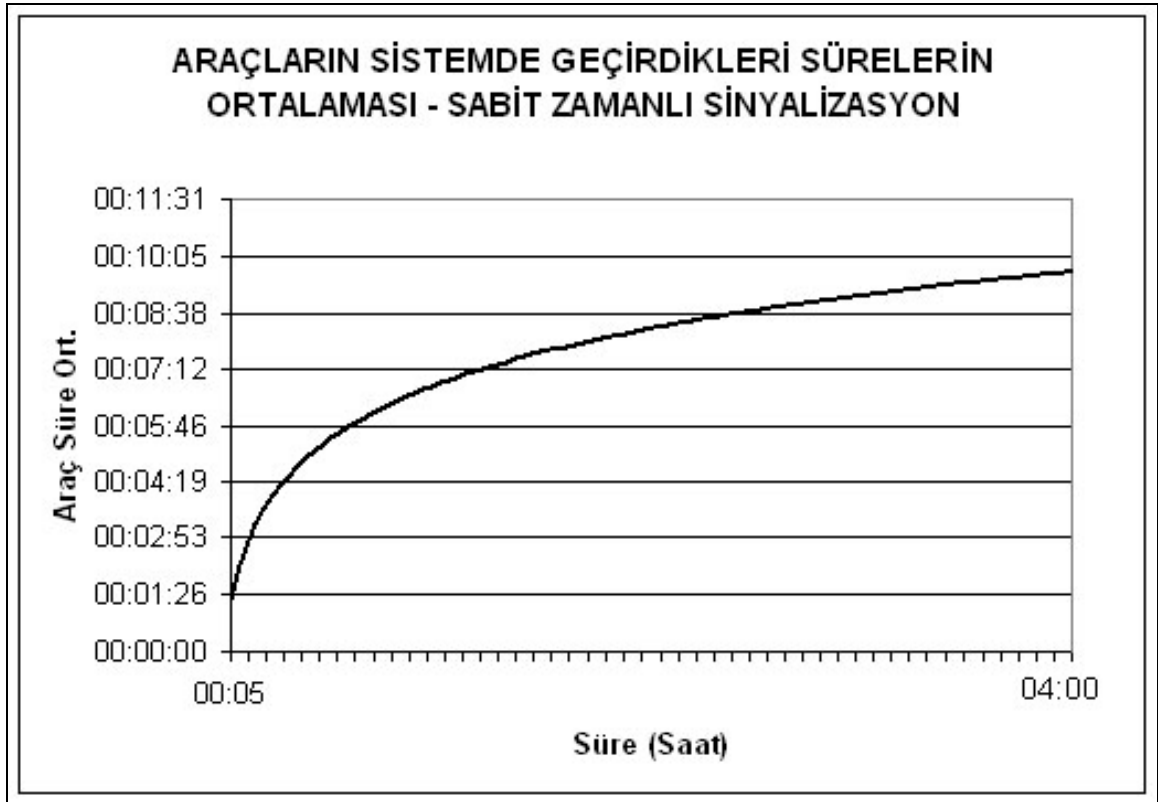
Şekil 24. Dörtlü kavşakta araç sayıları grafiği (adaptif sinyalizasyon)



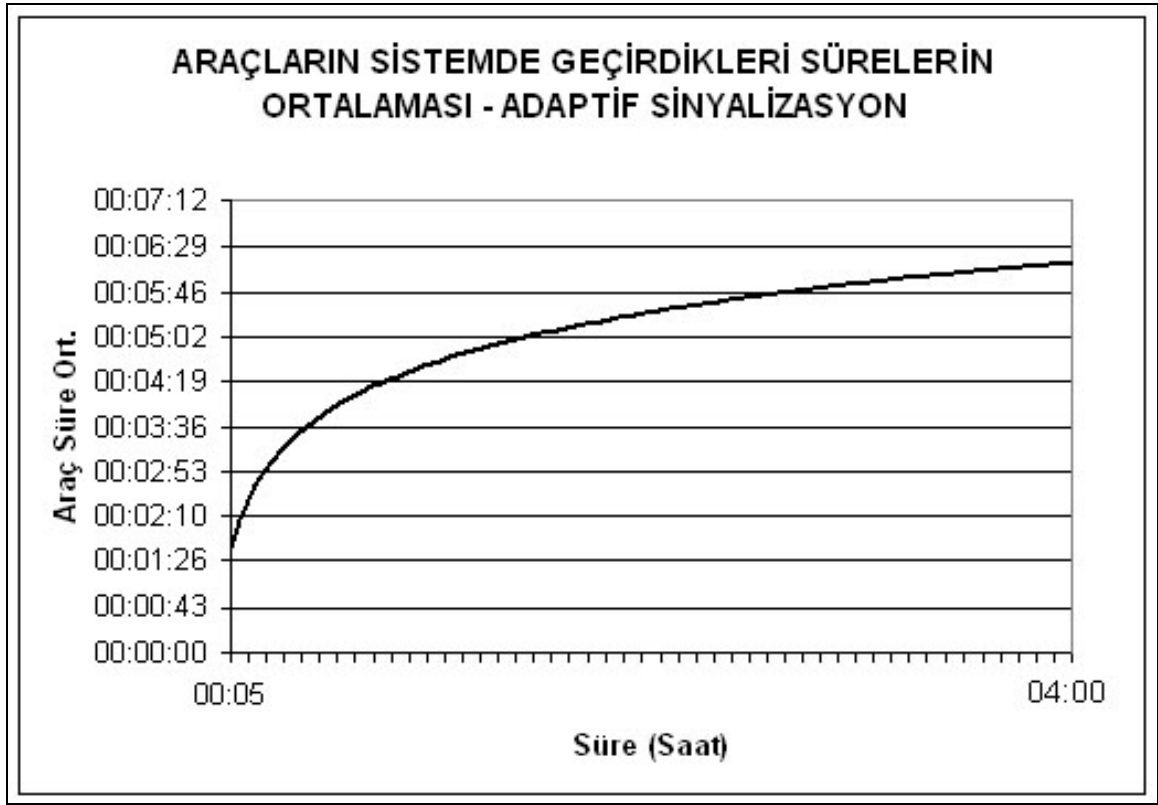
Şekil 25. Dörtlü kavşakta hız ortalamaları grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon)



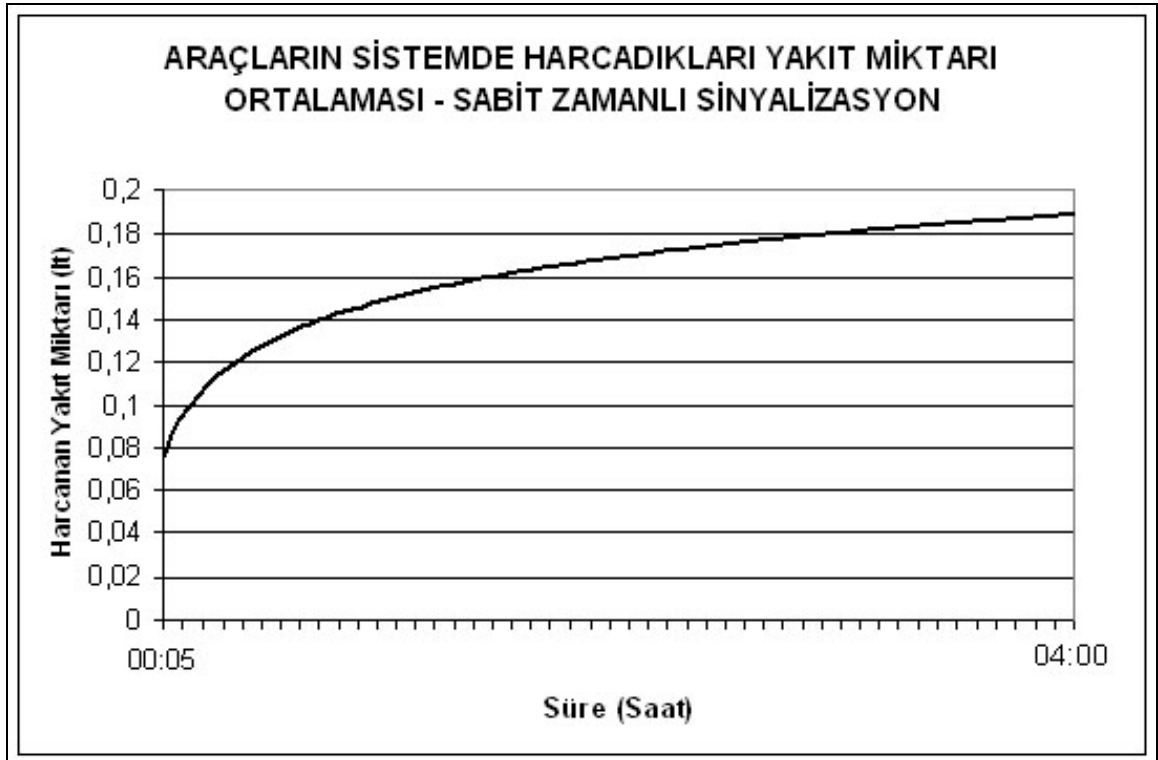
Şekil 26. Dörtlü kavşakta hız ortalamaları grafiği (adaptif sinyalizasyon)



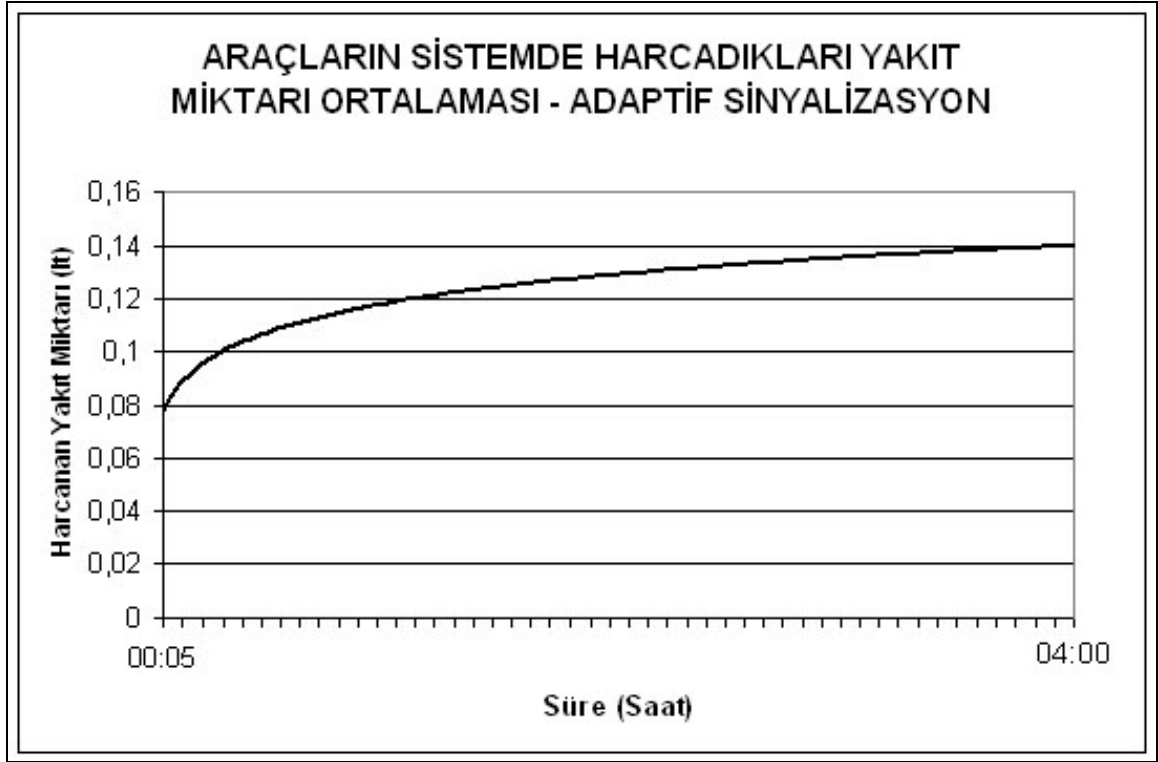
Şekil 27. Dörtlü kavşakta süre ortalama grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon)



Şekil 28. Dörtlü kavşakta süre ortalama grafiği (adaptif sinyalizasyon)



Şekil 29. Dörtlü kavşakta yakıt harcama grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon)



Şekil 30. Dörtlü kavşakta yakıt harcama grafiği (adaptif sinyalizasyon)

2.4. Orta Ölçekli Bir Trafik Ağının Simülasyonu

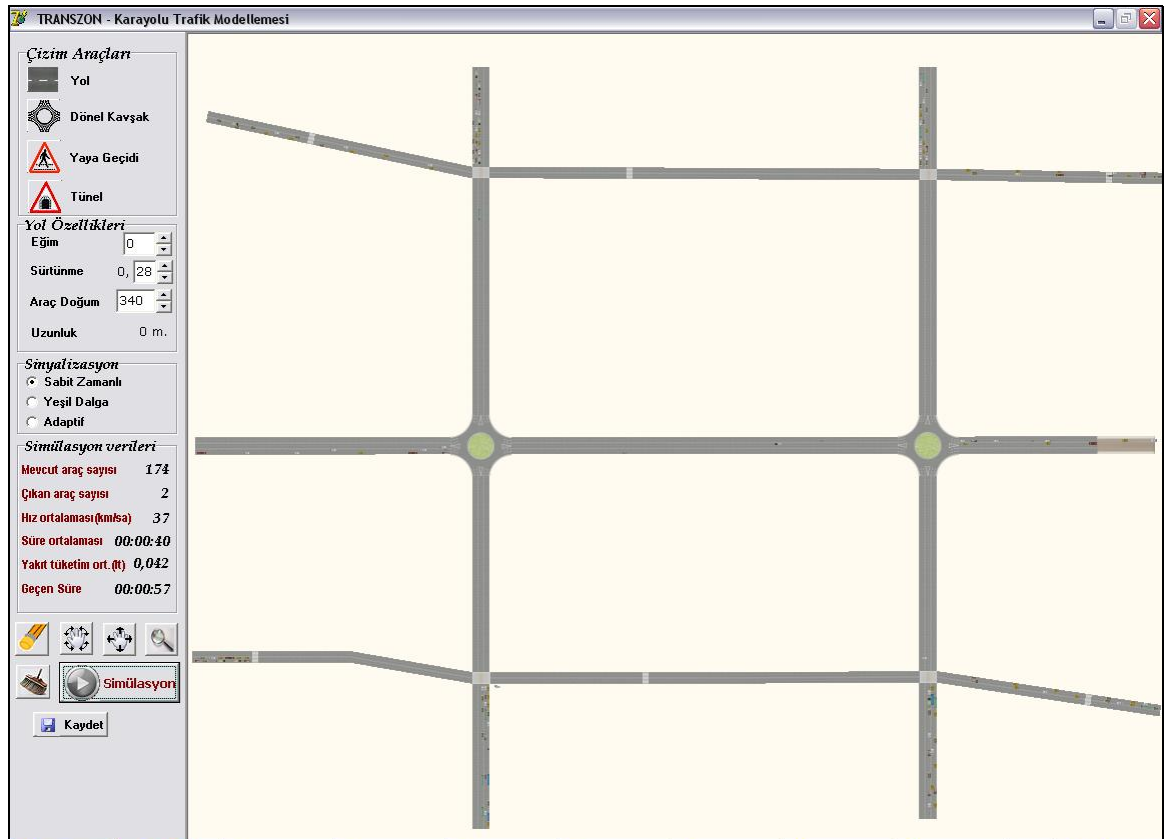
Simülasyon yazılımını kullanarak birbirine gidiş gelişli olarak üç, iki ve bir şeritli, birbirilerine kare ve dönel kavşaklarla bağlanmış en az 15–20 adet yol kesimini içeren orta ölçekli bir yol simülasyonu gerçekleştirmeyi hedefledik.

2.4.1. Simülasyon Parametreleri

Simülasyon P4 1600 Ghz işlemcili, 512 RD ram a ve 32 MB GeForce ekran kartına sahip bir bilgisayar sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir.

- Simülasyonlar dört saatlik ayrı zaman zarfları içerisinde yapılmıştır.
- Her dört saatlik simülasyonda sabit zamanlı sinyalizasyon, yeşil dalga sinyalizasyonu ve adaptif sinyalizasyon teknikleri ayrı ayrı denenmiştir.
- Kavşakta kesişen yol parçası uzunlukları ortalama olarak 500-1000 er metre olarak verilmiştir.
- Kavşakta birleşen yolların eğimleri sıfır kabul edilmiş, sürtünme katsayıları da 0,28 ve 0,33 değer aralığında verilmiştir.

- Kavşak kollarından doğan araç sayıları her bir şerit için saat başına 300–350 araç arası olarak belirlenmiştir.
- Doğacak araç tipleri rasgele olarak belirlenmiştir.
- Sisteme bir adet tünel eklenerek araç davranışları bu yol kesiminde değiştirilmiştir.
- Ana yollar üç, ara ve yan yollar iki ve bir şeritli gidiş geliş olarak düşünülmüştür.
- Ana yollar üzerinde dönel kavşak tipleri kullanılmıştır.



Şekil 31. Trafik ağının simülasyon çalışması esnasındaki ekran görüntüsü

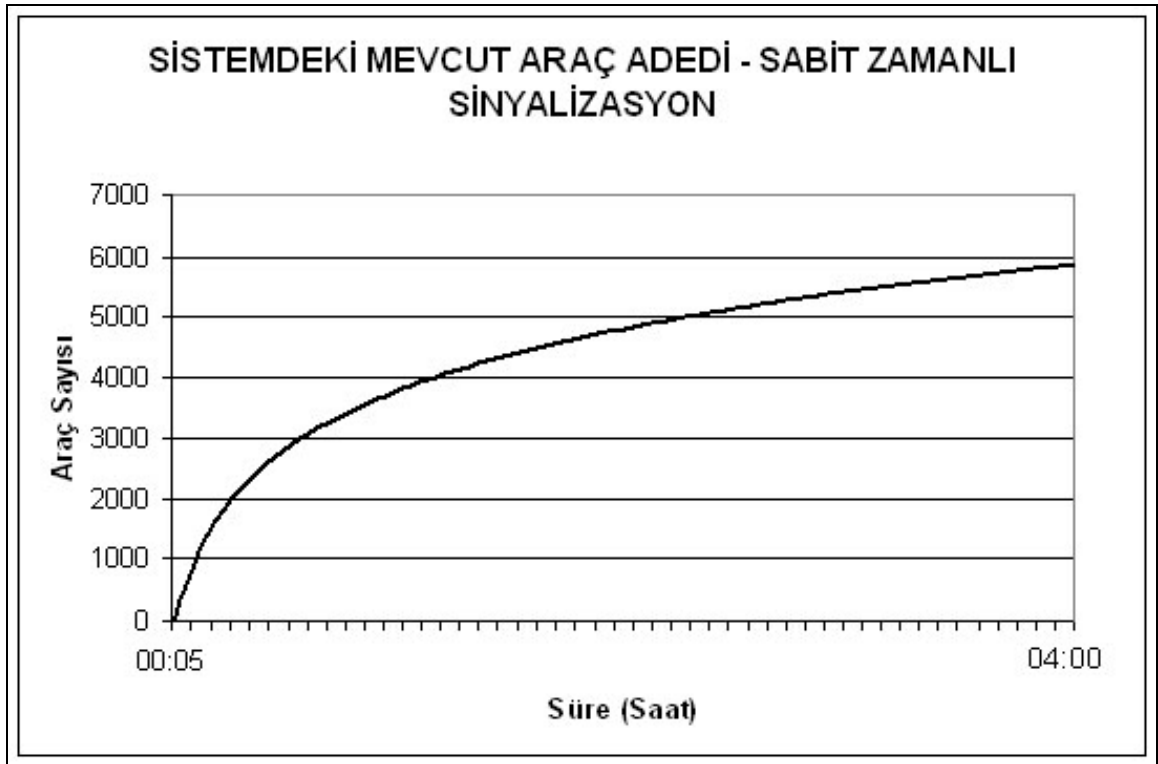
2.4.2. Elde Edilen Sonuçlar

Simülasyonun sonuçlandırılmasının ardından elde edilen veriler yardımı ile çizilen grafikler, yapılan üç ayrı simülasyonda kurulan modeller arasındaki farkı ortaya koymaktadır.

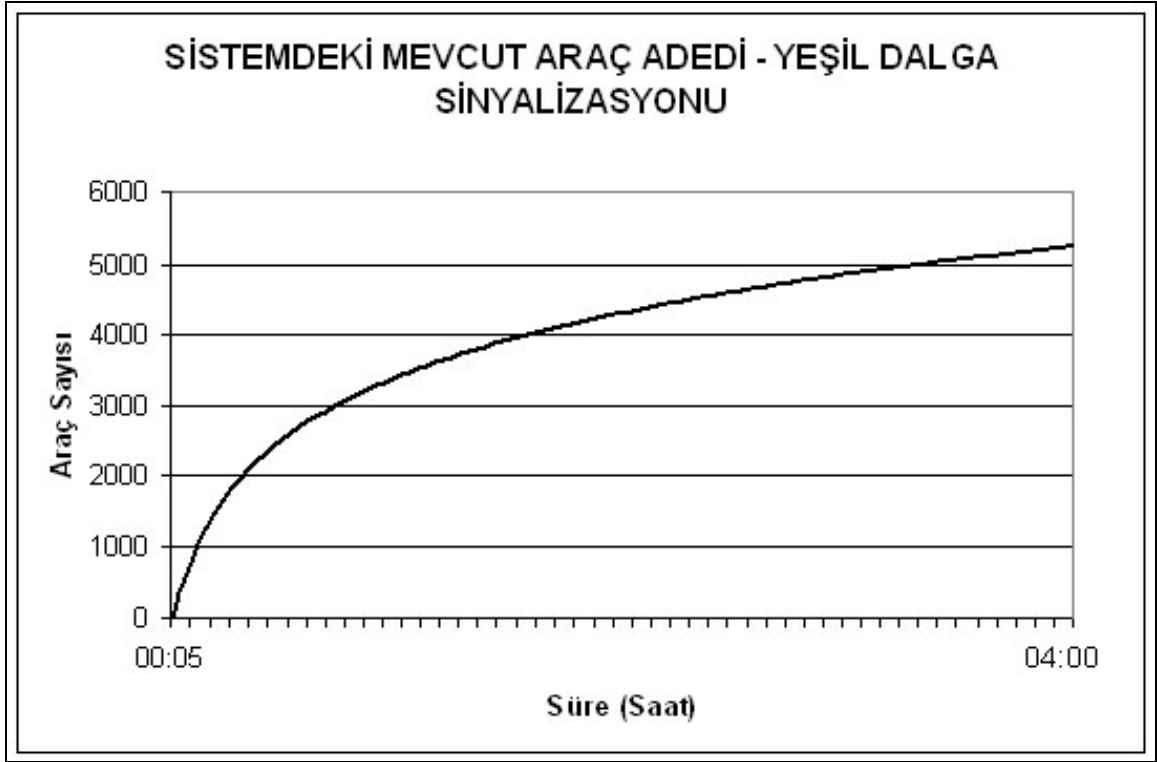
Elde edilen grafikler incelendiği takdirde, aynı şartlarla adaptif sinyalizasyon ile gerçekleştirilen orta ölçekli trafik ağı simülasyonu, sabit zamanlı sinyalizasyon ve yeşil

dalga sinyalizasyonuna göre trafik sıkışmalarını daha aza indirmiş ve trafik akışını rahatlatmıştır.

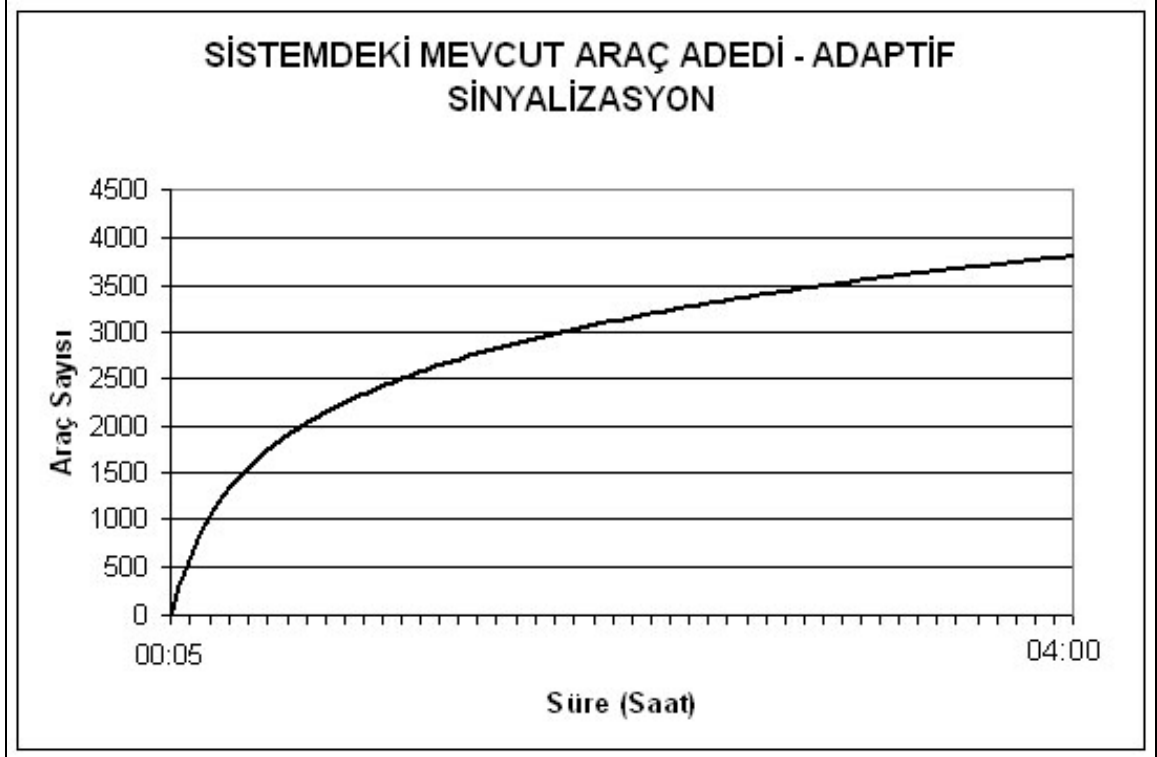
Yeşil dalga sinyalizasyonunun karakteristiği gereği, ana yoldaki araçların trafik ışıkları boyunca sabit bir hızla seyretmeleri halinde akımlarının kesilmemesinden dolayı ana yollar üzerindeki akışlar daha rahat olmuştur. Ancak yan yollarda yine sabit zamanlı sinyalizasyonlar kullanıldıklarından, kavşaklardaki kolların boş anlarında yine gereksiz beklemler oluşması önlenememiştir.



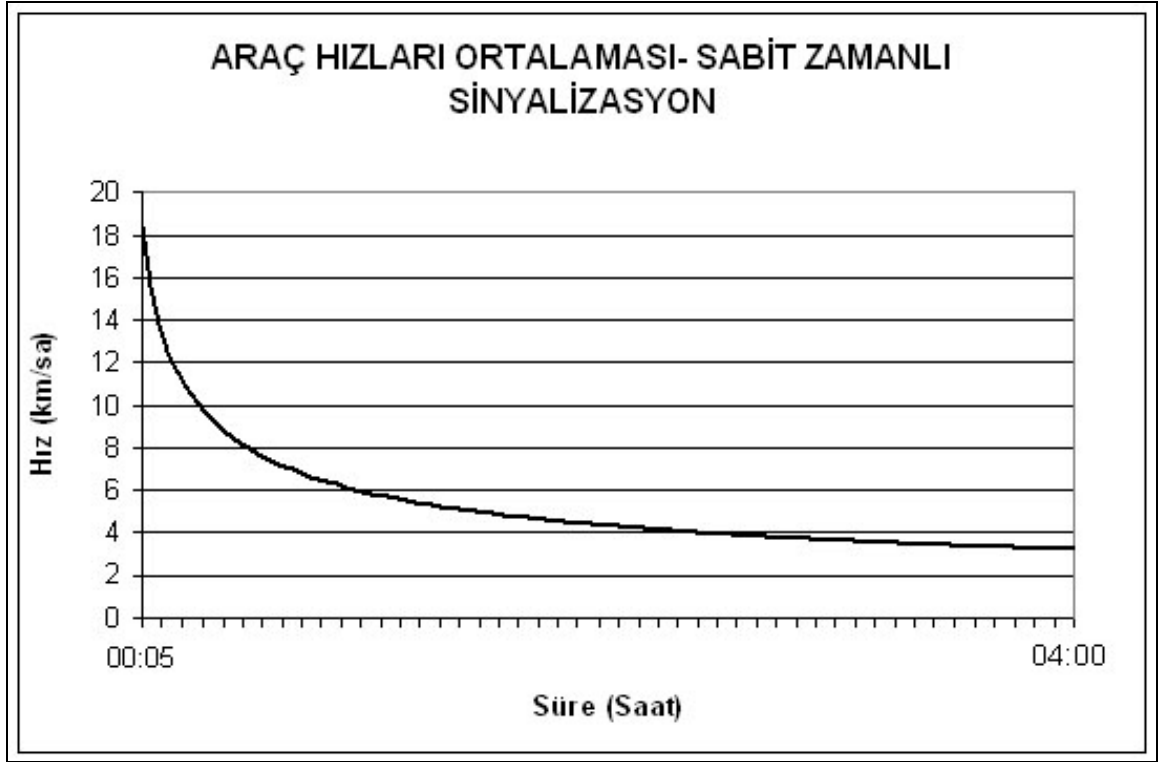
Şekil 32. Orta ölçekli ağda araç sayıları grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon)



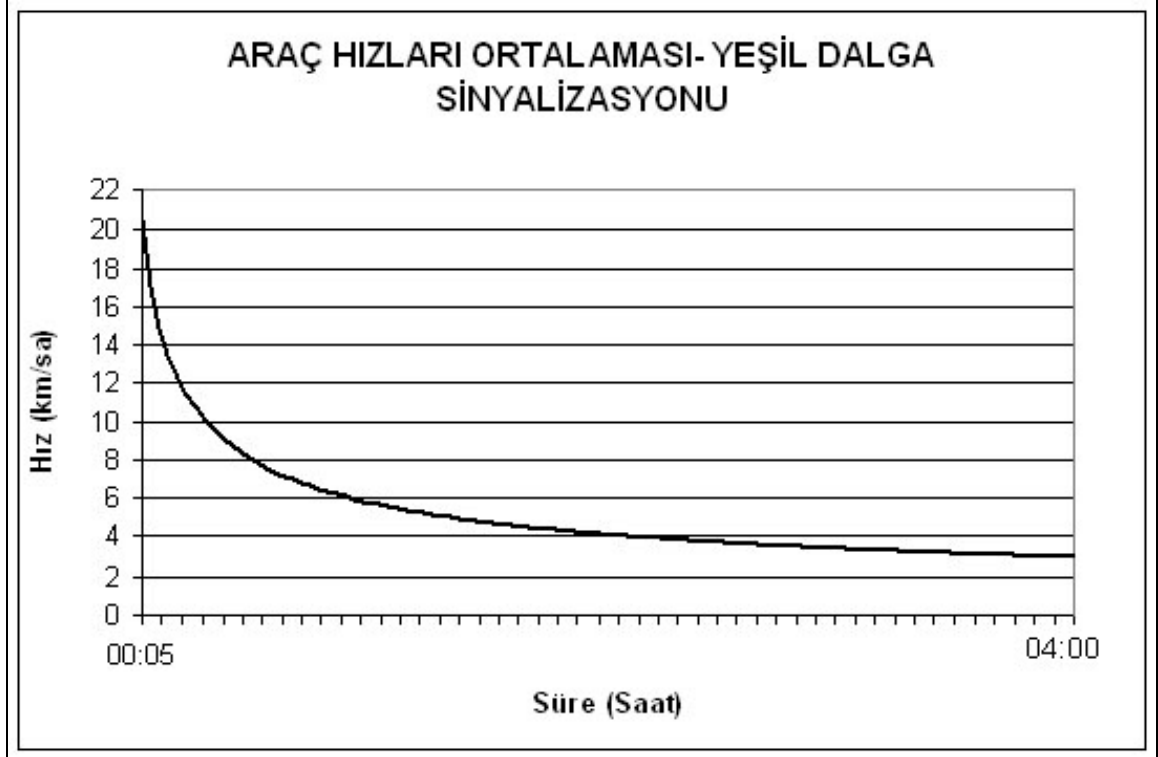
Şekil 33. Orta ölçekli ağda araç sayıları grafiği (yeşil dalga sinyalizasyonu)



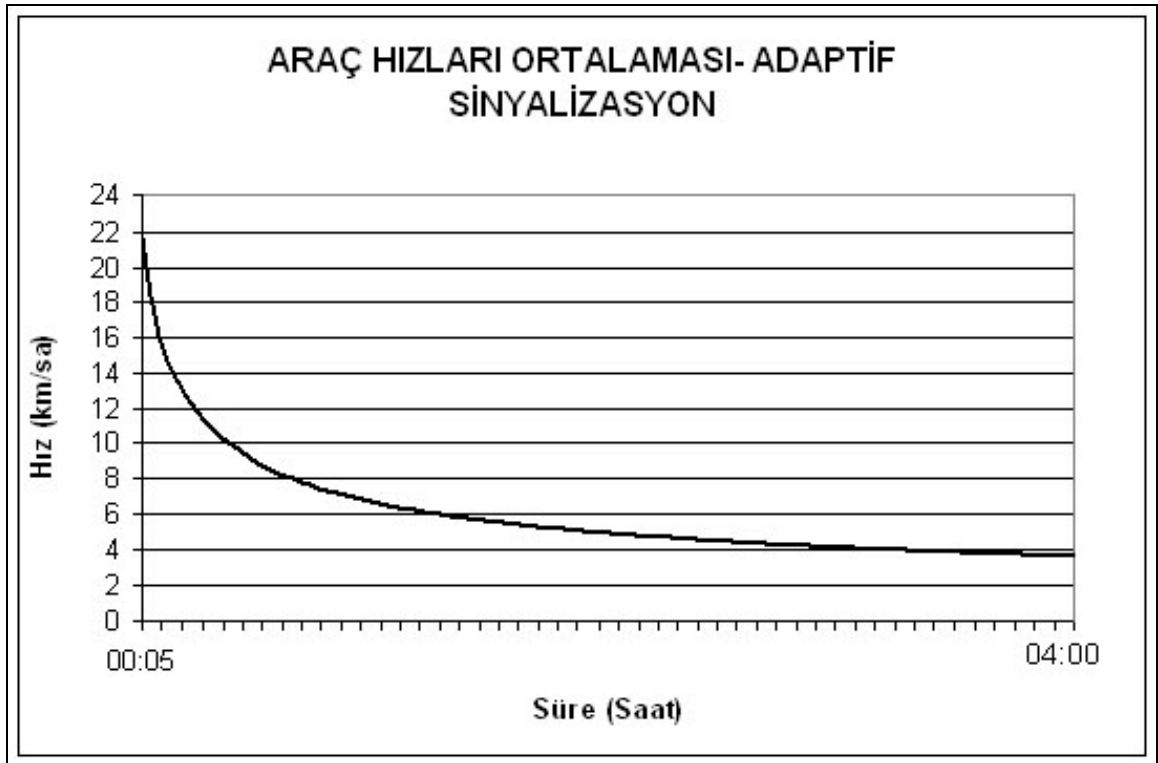
Şekil 34. Orta ölçekli ağda araç sayıları grafiği (adaptif sinyalizasyon)



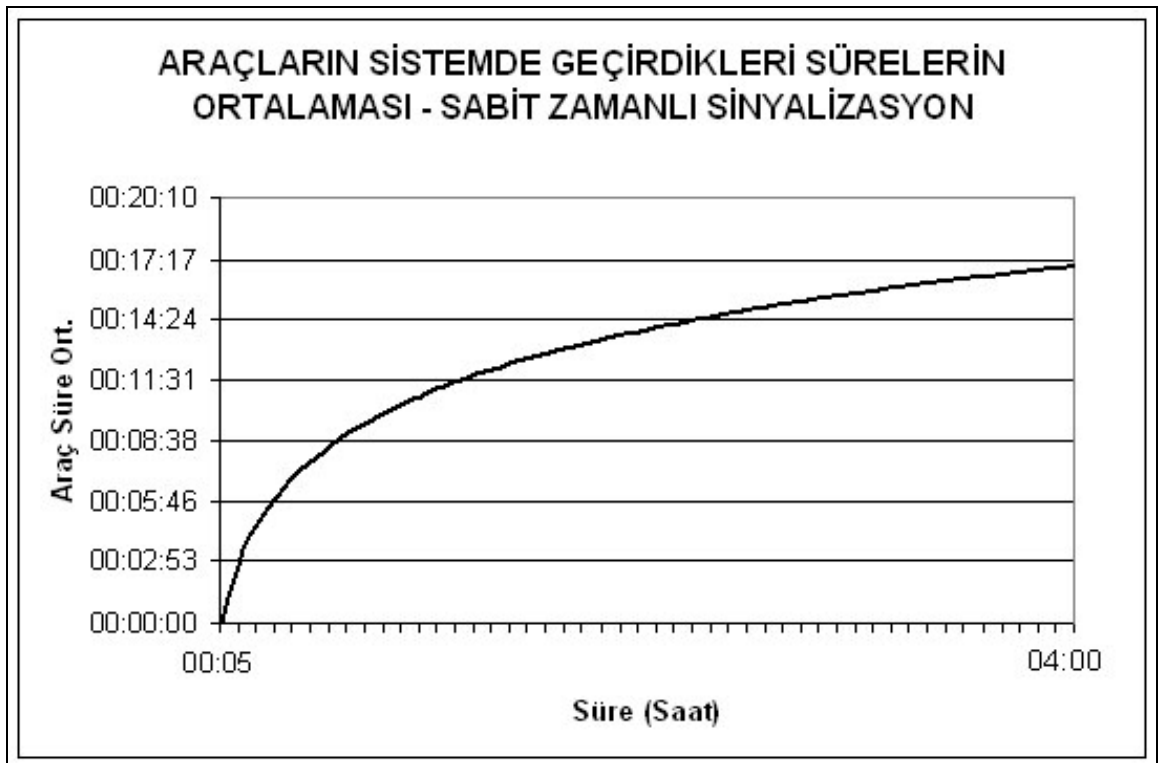
Şekil 35. Orta ölçekli ağda hız ortalamaları grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon)



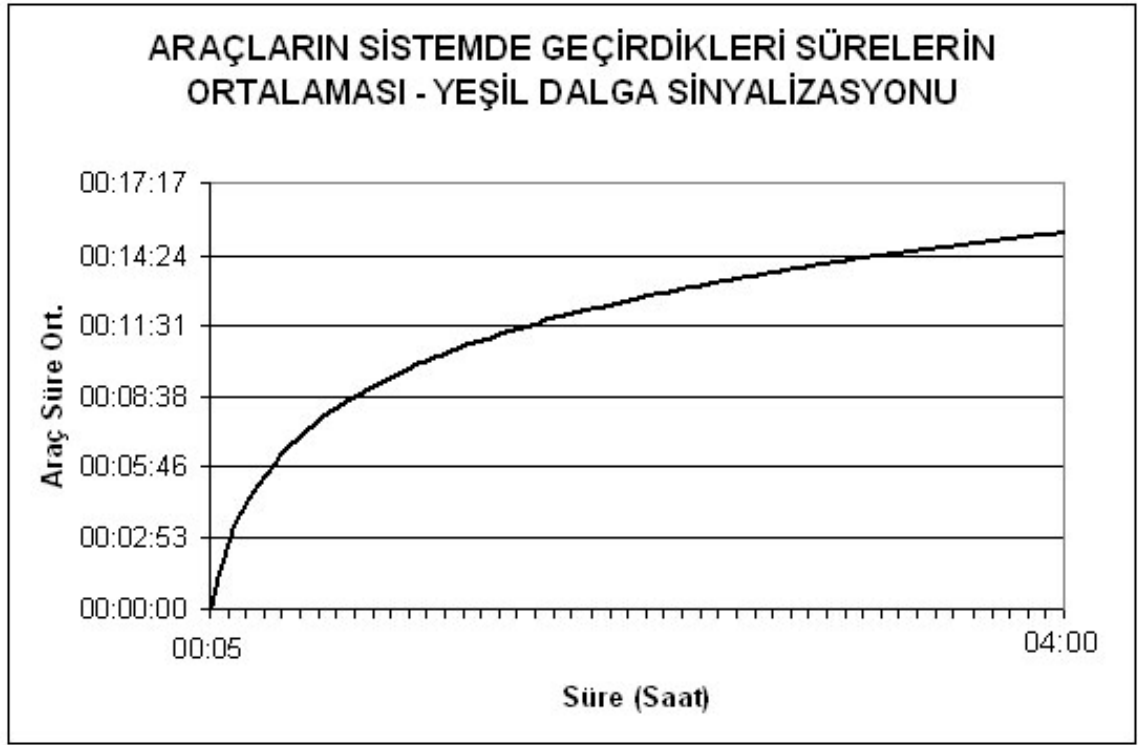
Şekil 36. Orta ölçekli ağda hız ortalamaları grafiği (yeşil dalga sinyalizasyonu)



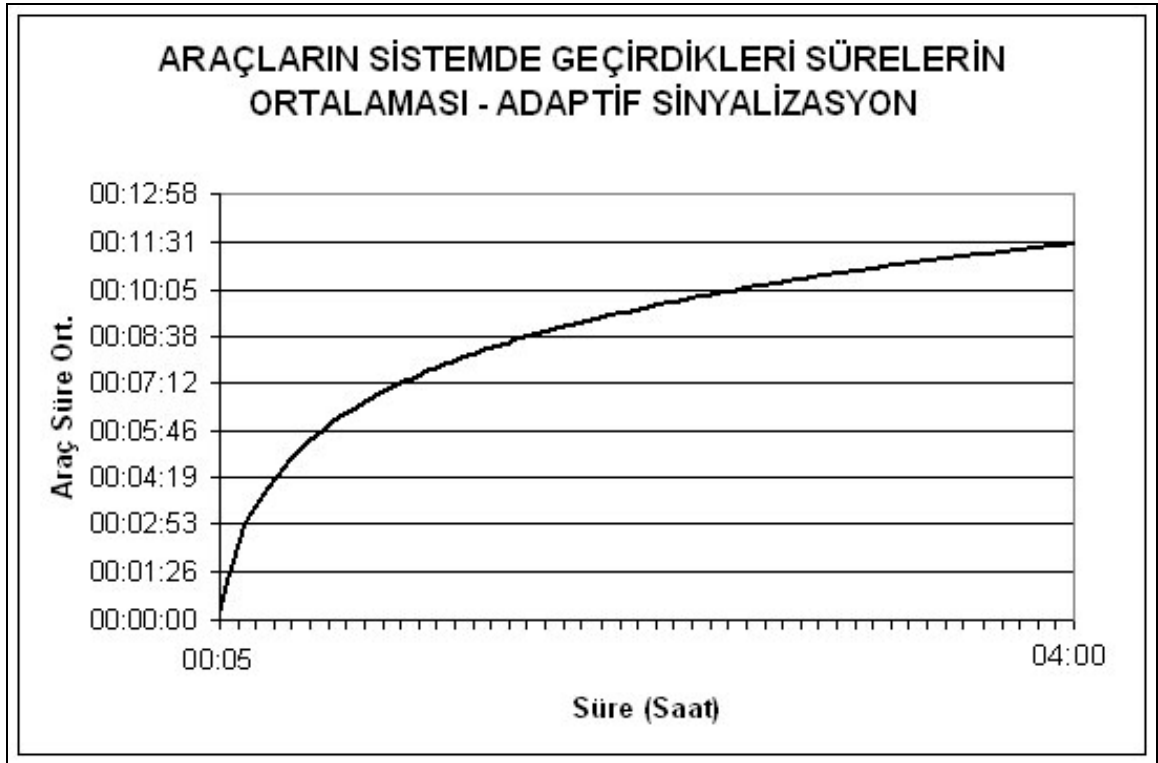
Şekil 37. Orta ölçekli ağda hız ortalamaları grafiği (adaptif sinyalizasyon)



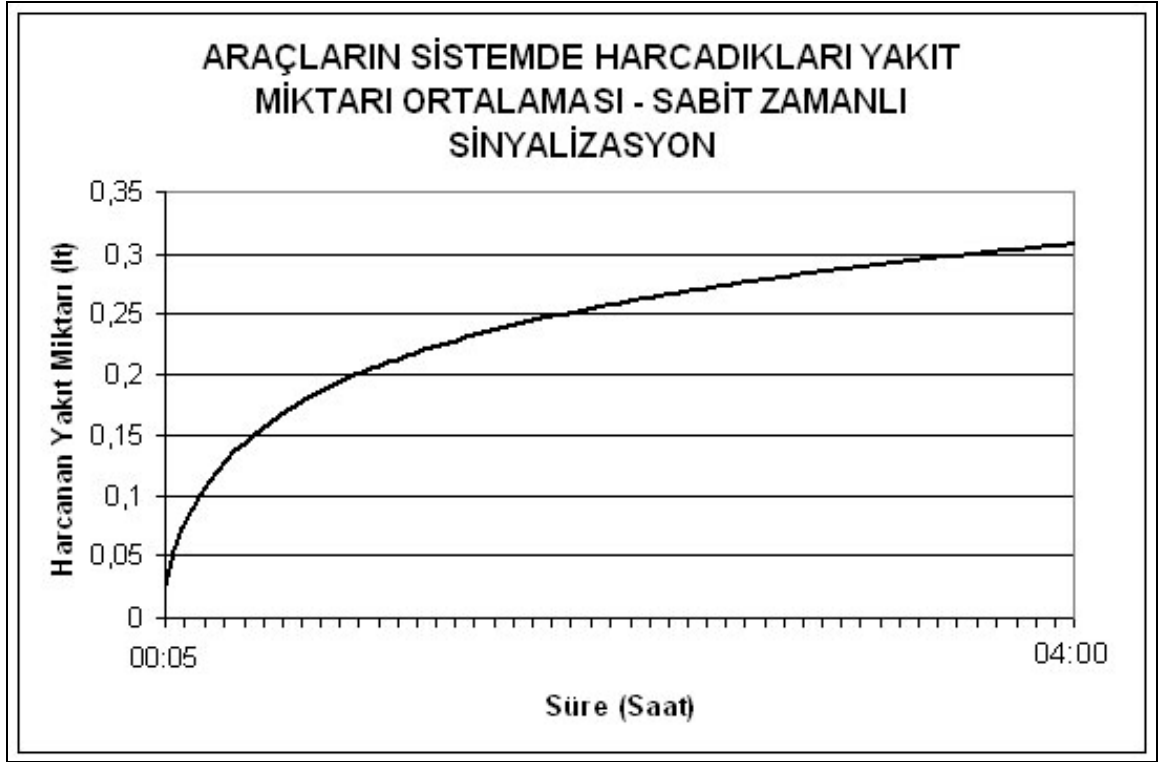
Şekil 38. Orta ölçekli ağda süre ortalama grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon)



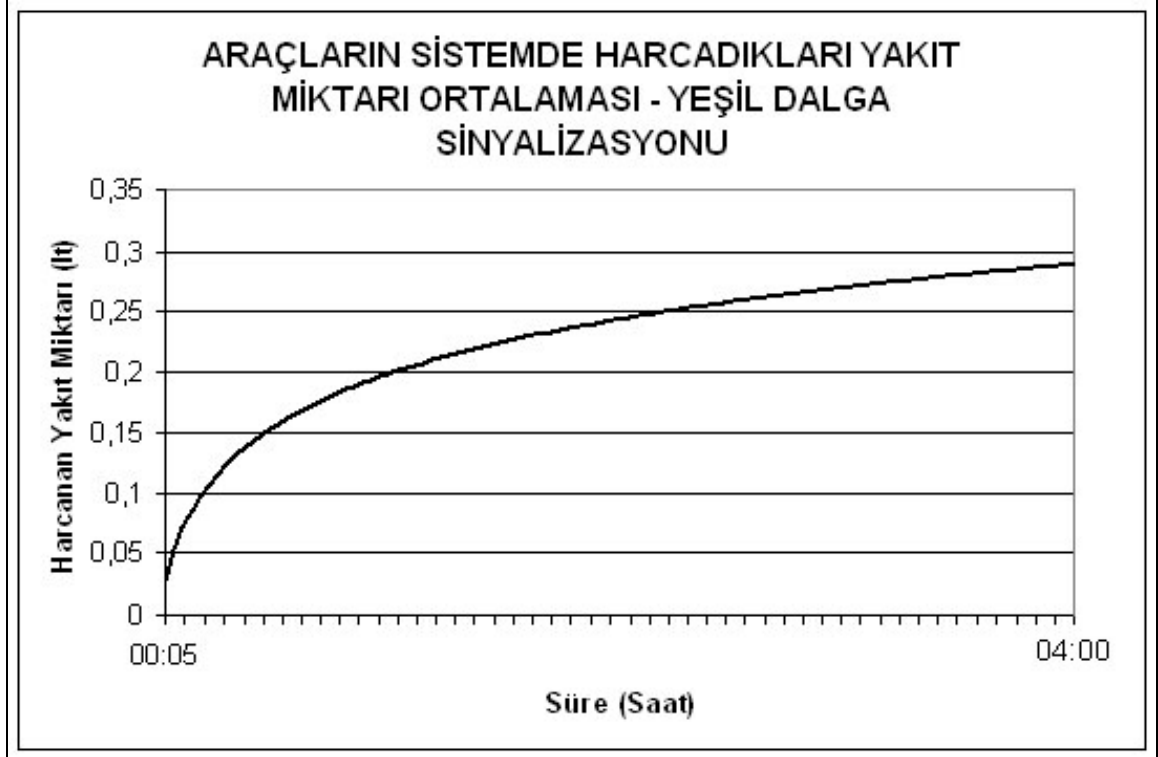
Şekil 39. Orta ölçekli ağda süre ortalama grafiği (yeşil dalga sinyalizasyonu)



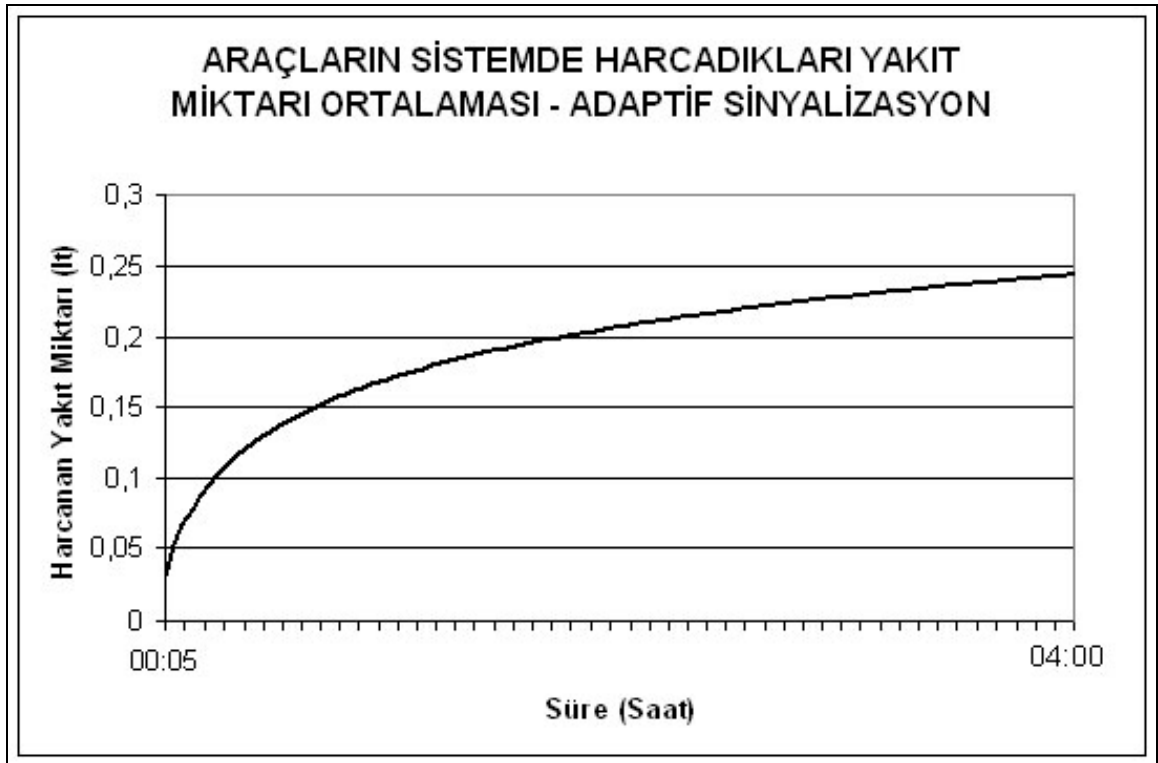
Şekil 40. Orta ölçekli ağda süre ortalama grafiği (adaptif sinyalizasyon)



Şekil 41. Orta ölçekli ağda yakıt harcama grafiği (sabit zamanlı sinyalizasyon)



Şekil 42. Orta ölçekli ağda yakıt harcama grafiği (yeşil dalga sinyalizasyonu)



Şekil 43. Orta ölçekli ağda yakıt harcama grafiği (adaptif sinyalizasyon)

2.5. Dört Kavşağa Sahip Yol Simülasyonu

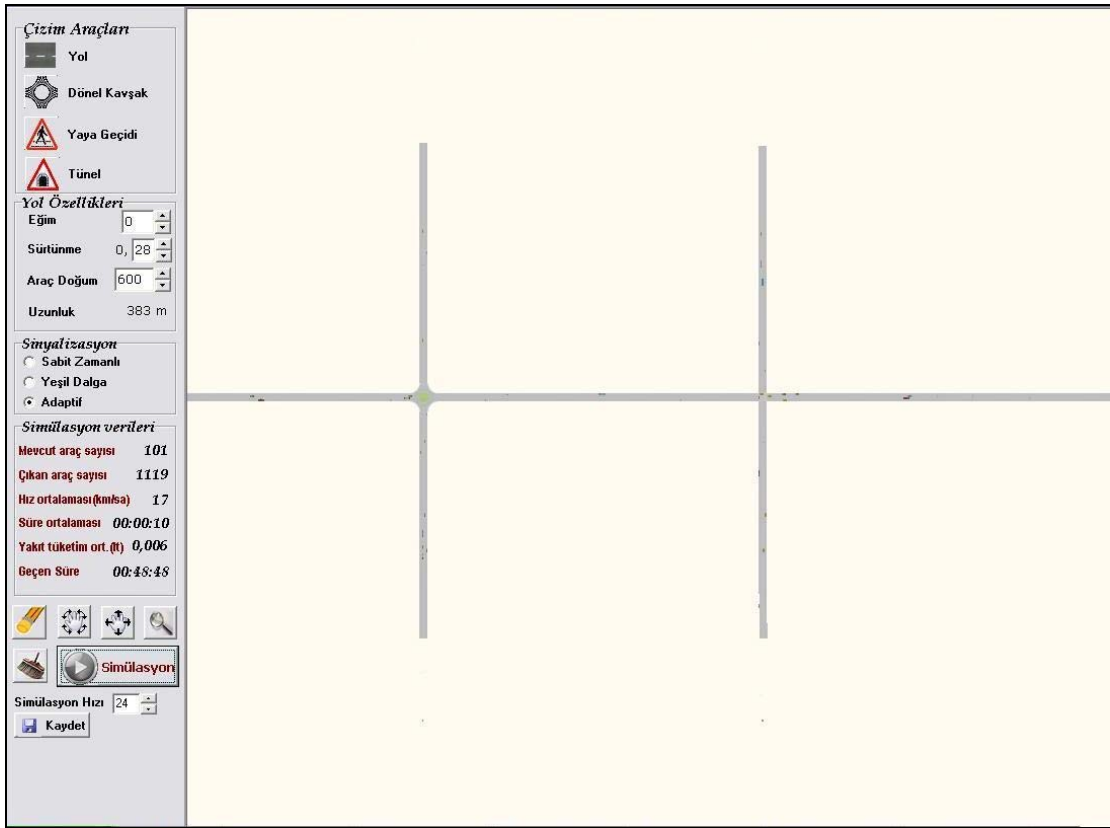
Simülasyon yazılımını kullanarak üzerinde bulunan üç adet dönel, bir adet dörtlü kavşak ve bağlantı yollarını içeren yaklaşık 2,5-3 km lik bir yol kesiminin simülasyonu nu gerçekleştirmeyi hedefledik

2.5.1. Simülasyon Parametreleri

Simülasyon P4 1600 Ghz işlemcili, 512 RD ram a ve 32 MB GeForce ekran kartına sahip bir bilgisayar sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir.

- Simülasyonlar yirmi dört saatlik ayrı zaman zarfları içerisinde yapılmıştır.
- Her yirmi dört saatlik simülasyonda sabit zamanlı sinyalizasyon, yeşil dalga sinyalizasyonu ve adaptif sinyalizasyon teknikleri ayrı ayrı denenmiştir.
- Kavşakta kesişen yol parçası uzunlukları ortalama olarak 500-1000 er metre olarak verilmiştir.
- Kavşakta birleşen yolların eğimleri sıfır kabul edilmiş, sürtünme katsayıları da 0,28 ve 0,33 değer aralığında verilmiştir.

- Kavşak kollarından doğan araç sayıları üç sinyalizasyonda ayrı olarak her bir şerit için en trafiğin en yoğun olduğu bölümlerde saat başına sırası ile 600, 400, 200 olarak üç farklı simülasyonda kullanılmıştır.
- Yirmi dört saatlik simülasyonda araç yoğunlukları farklı zaman dilimlerinde farklı yüzdelerle oranlanarak yeniden hesaplanmıştır.
- Farklı sinyalizasyon tipleri ve farklı araç doğum parametreleri kullanıldığı için toplam dokuz simülasyon gerçekleştirilmiştir.
- Doğacak araç tipleri rasgele olarak belirlenmiştir.
- Simülasyonda sadece ana yol üzerinden trafik ağına giriş yapan araçların bilgileri hesaplamaya dahil edilmiştir. Yan yollardan gelen araçlara ait veriler genel simülasyon verilerinin hesaplanmasında kullanılmamıştır.



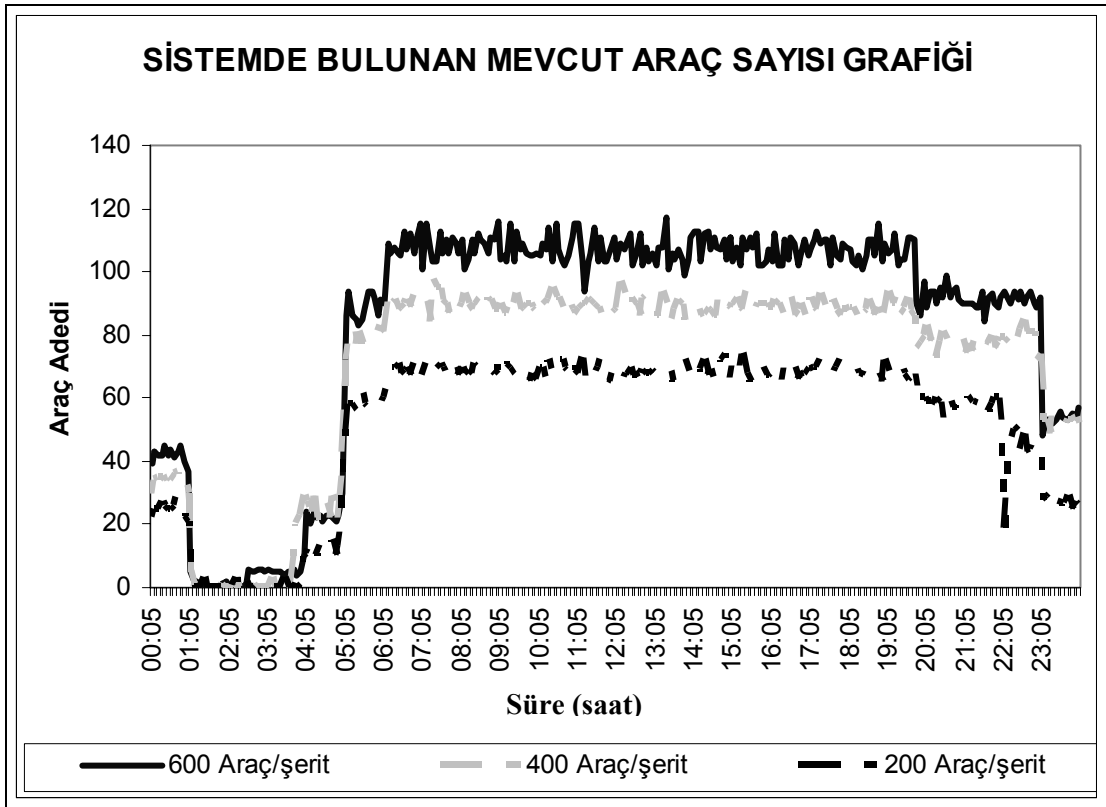
Şekil 44. Dört kavşağa sahip yol simülasyonu esnasındaki ekran görüntüsü

2.5.2. Elde Edilen Sonuçlar

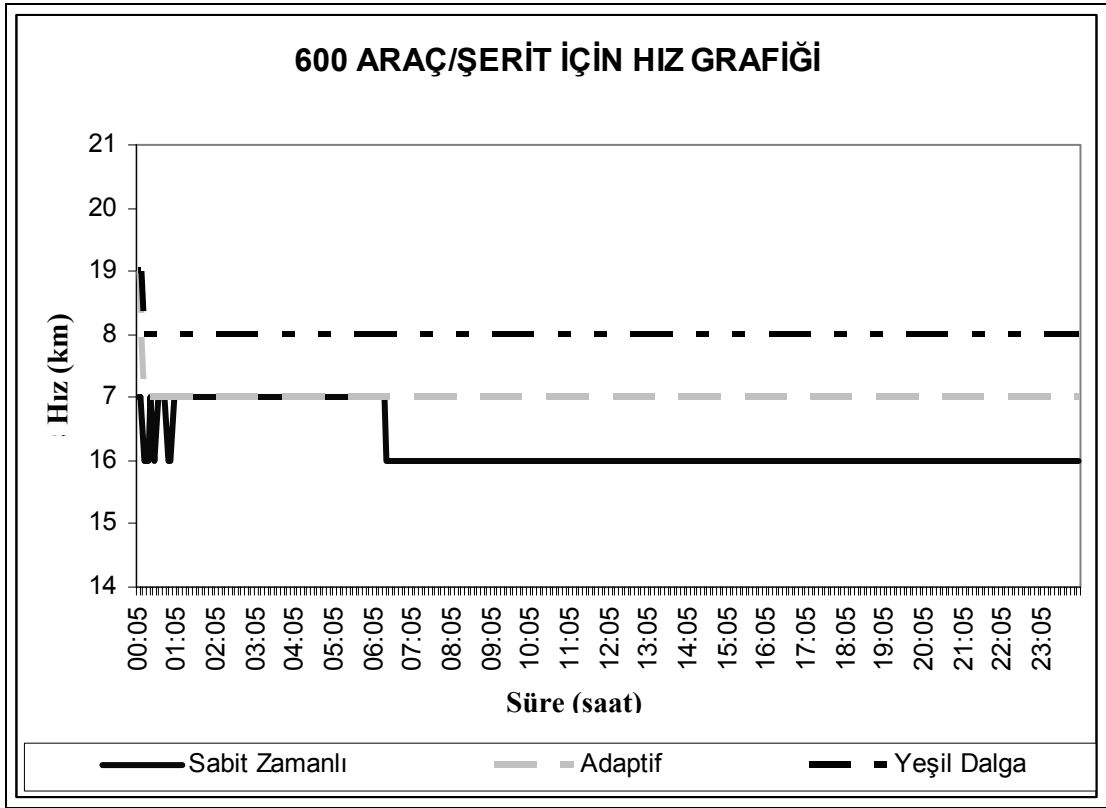
Simülasyonun sonuçlandırılmasının ardından elde edilen veriler yardımı ile çizilen grafikler, yapılan dokuz ayrı simülasyonda kurulan modeller arasındaki farkı ortaya koymaktadır.

Elde edilen grafikler incelendiği takdirde, aynı şartlarla yeşil dalga sinyalizasyonu ile gerçekleştirilen dört kavşağa sahip yol simülasyonu, sabit zamanlı sinyalizasyon ve adaptif sinyalizasyonuna göre trafik sıkışmalarını daha aza indirmiş ve trafik akışını rahatlatmıştır.

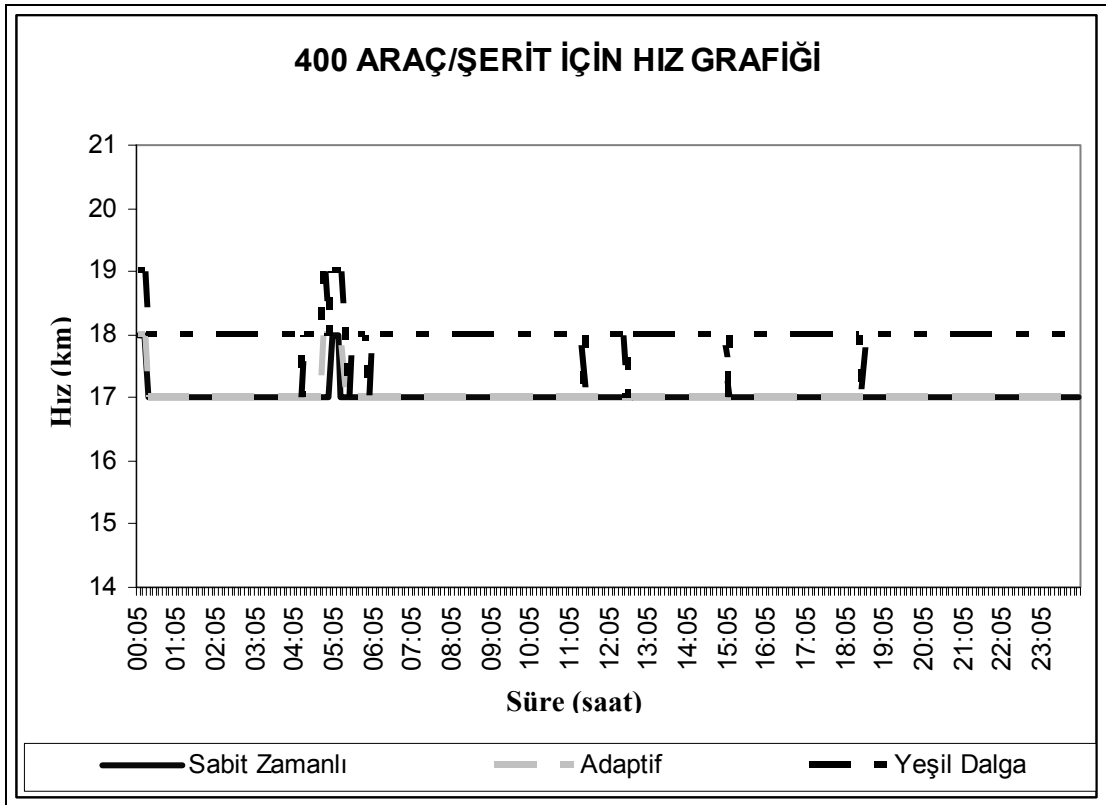
Adaptif dalga sinyalizasyonu karakteristiği gereği, trafiğin sıkışık olduğu kavşak kollarına öncelik vermesinden dolayı ana yoldaki trafik akışını yeşil dalgaya nazaran yavaşlatmaktadır.



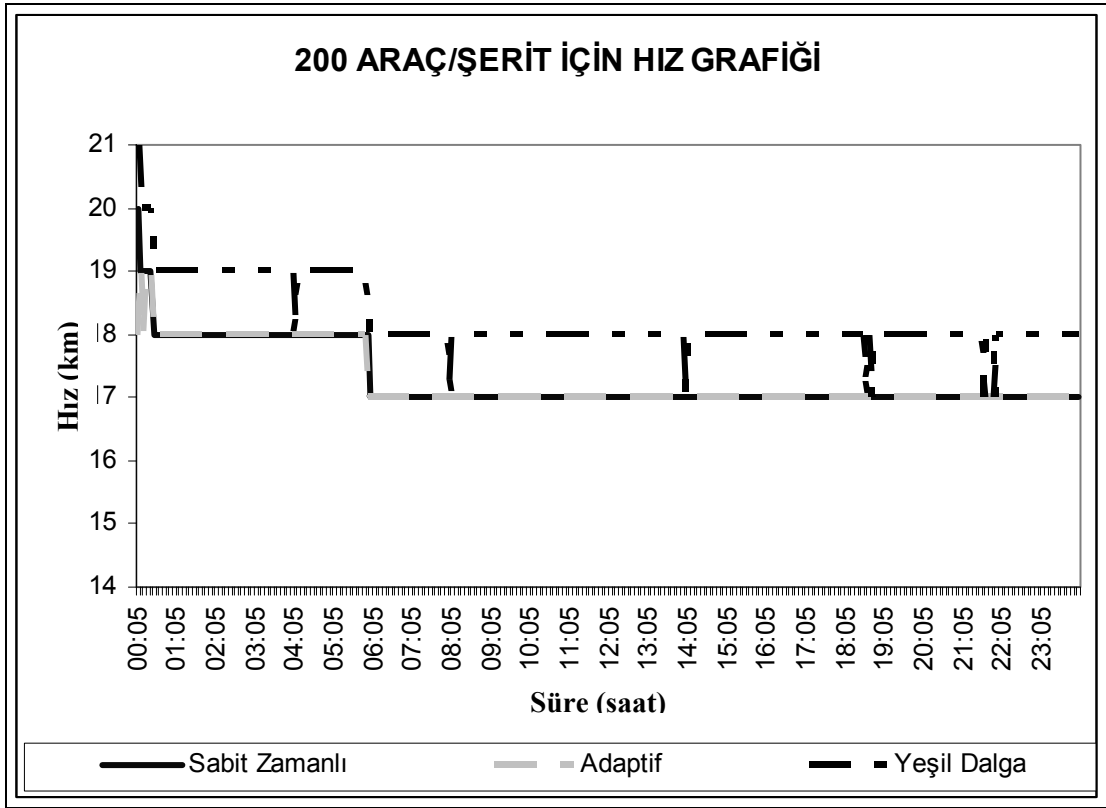
Şekil 45. Simülasyon anında ana yoldan giriş yapmış aktif araç sayısı



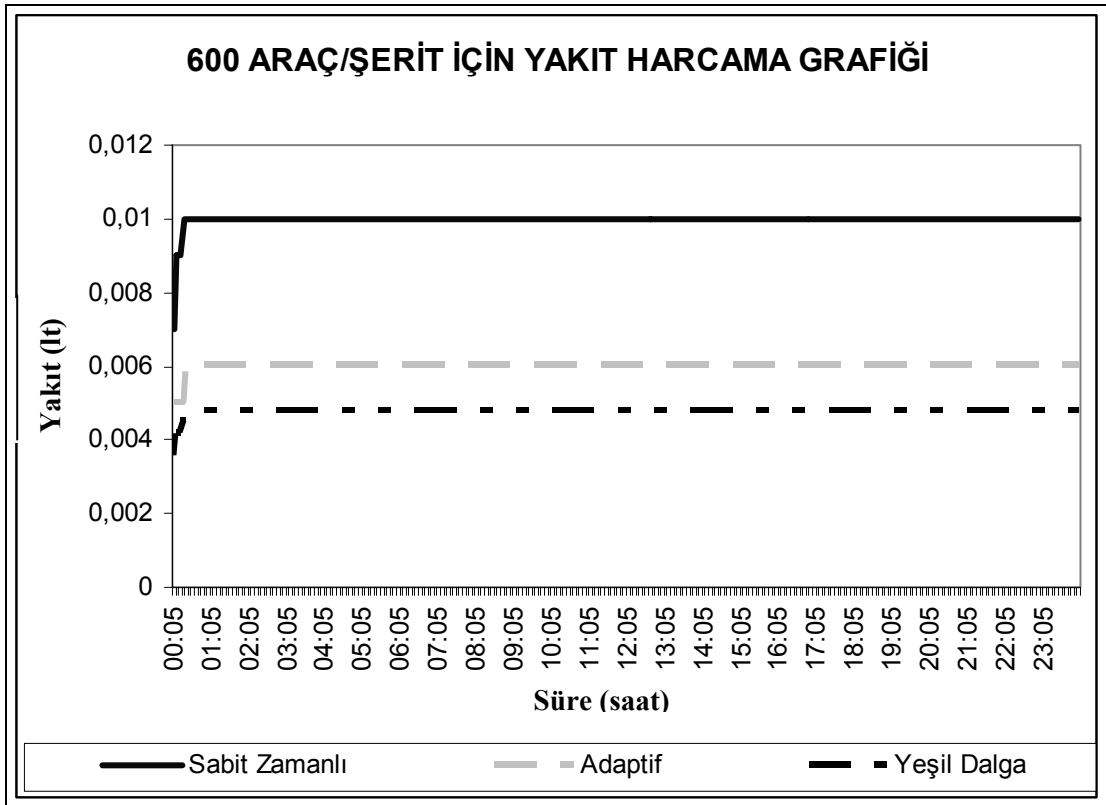
Şekil 46. 600 araç/şerit için hız ortalaması grafiği



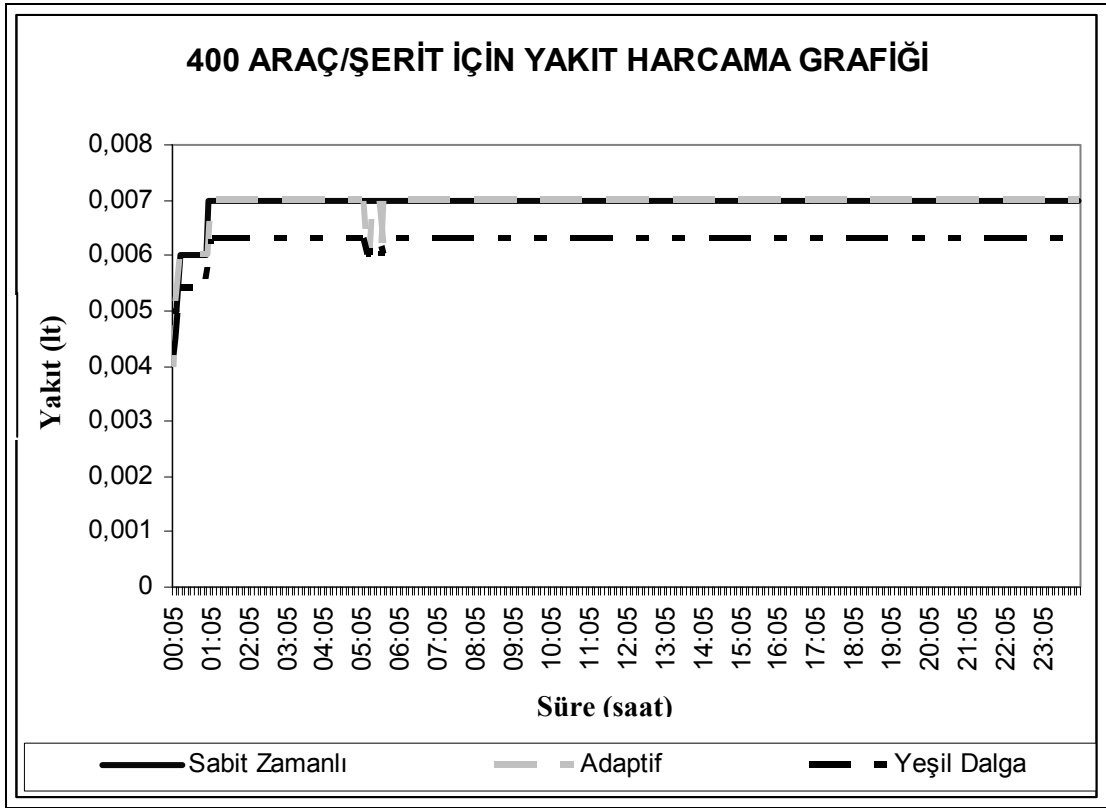
Şekil 47. 400 araç/şerit için hız ortalaması grafiği



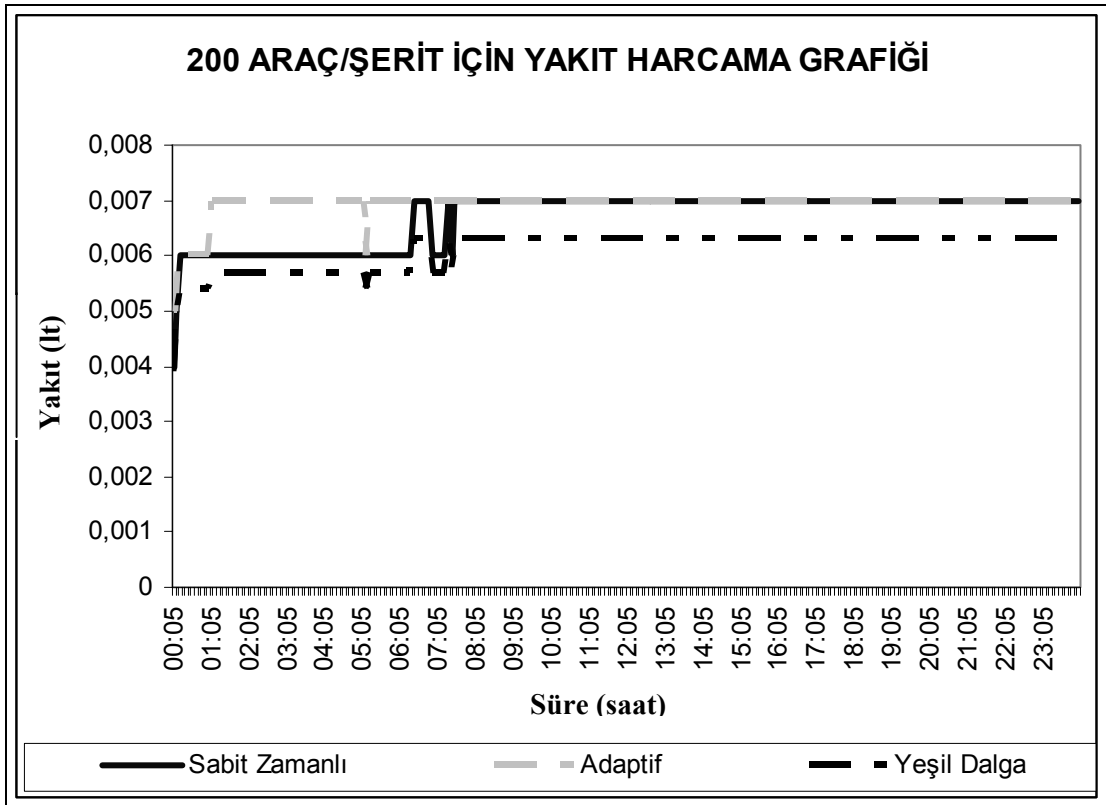
Şekil 48. 200 araç/şerit için hız ortalaması grafiği



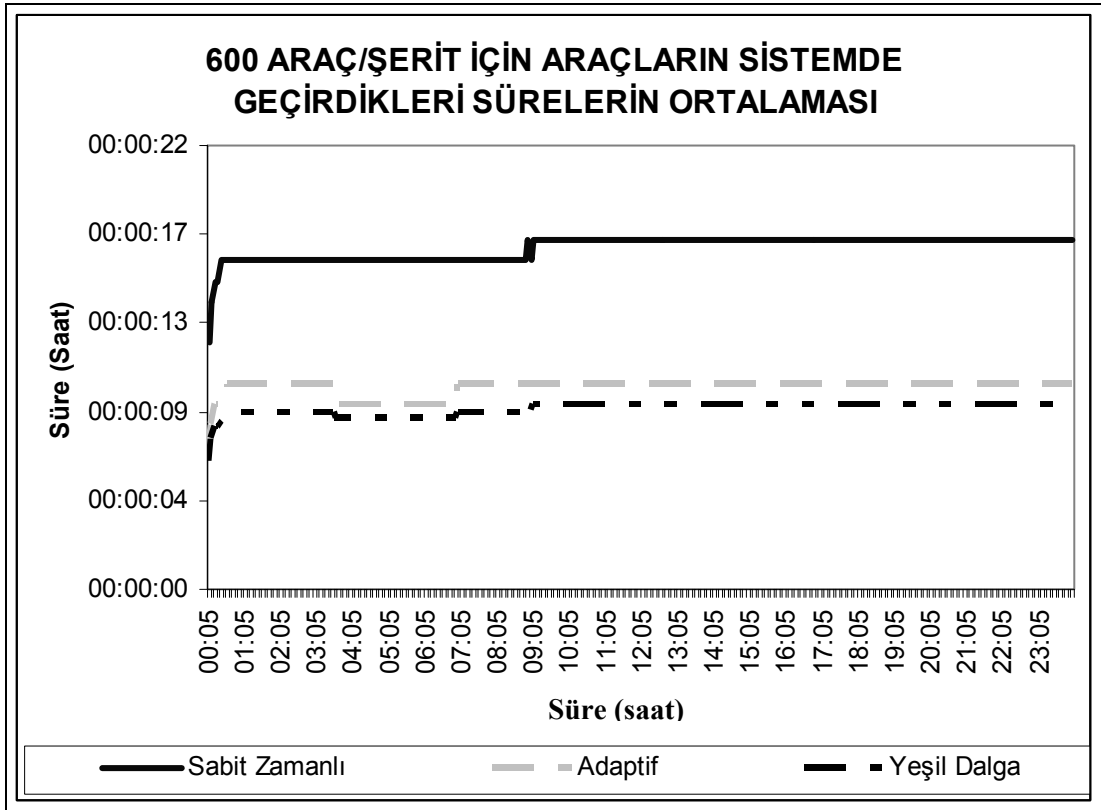
Şekil 49. 600 araç/şerit için yakıt harcama grafiği



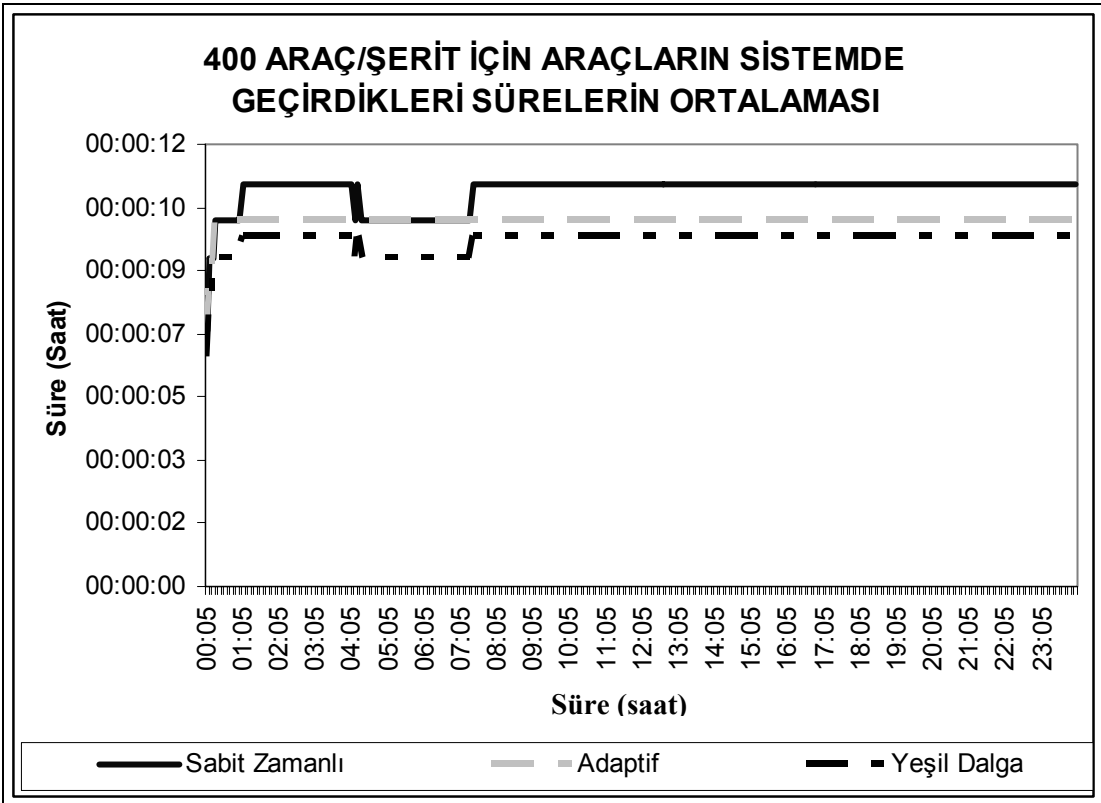
Şekil 50. 400 araç/şerit için yakıt harcama grafiği



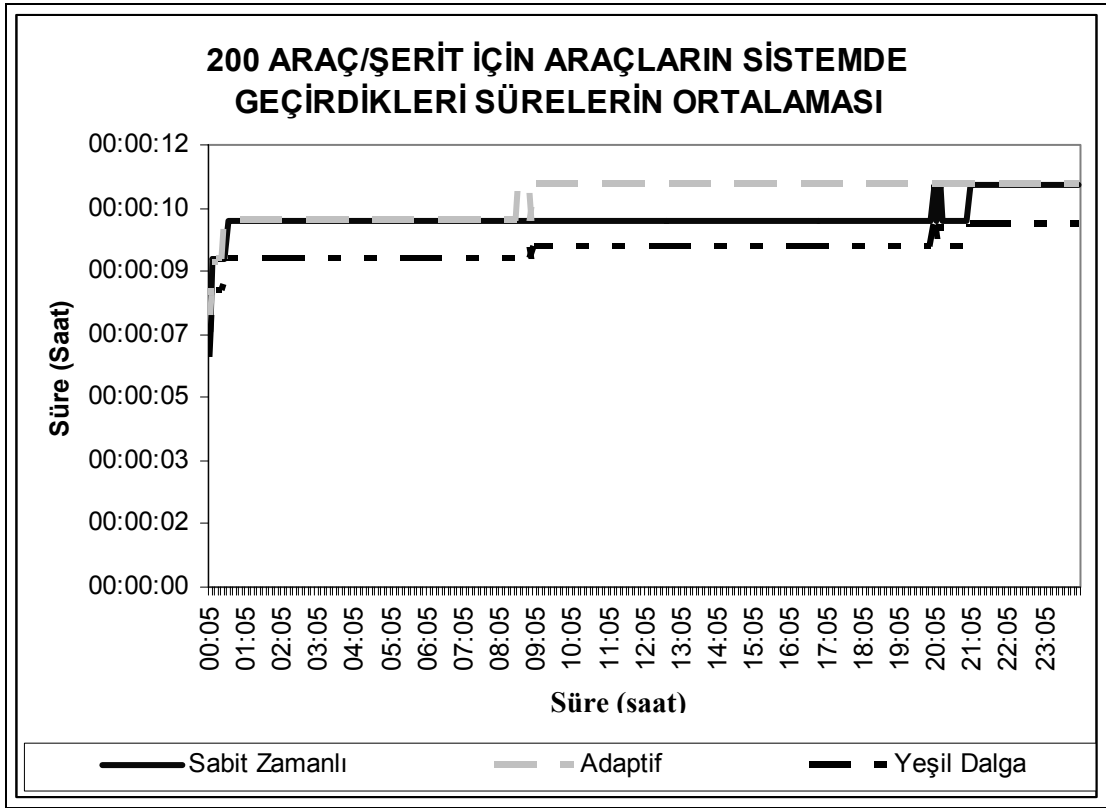
Şekil 51. 200 araç/şerit için yakıt harcama grafiği



Şekil 52. 600 araç/şerit için süre ortalama grafiği



Şekil 53. 400 araç/şerit için süre ortalama grafiği



Şekil 54. 200 araç/şerit için süre ortalama grafiği

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

3.1. Sinyalizasyon Seçiminin Sonuçlara Etkisi

Seçilen trafik sinyalizasyonunun simülasyon sonuçları üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Gerçekleştirdiğimiz simülasyonlarda gözlediğimiz sonuçlara göre orta ölçekli trafik ağlarındaki sinyalizasyon kavşaklarında Adaptif Sinyalizasyon modelinin kullanılması halinde sistemdeki genel trafik sıkışıklıkları diğer sinyalizasyon modellerinin kullanımına göre daha az olmaktadır.

Adaptif sinyalizasyonun en önemli avantajı, kavşaktaki kolların araç yoğunluklarına bağlı olarak sinyal zamanlarını değiştirebilmesidir. Böylelikle kavşakta araç yoğunluğunun en fazla olduğu yöndeki trafik akımına daha fazla süre verilerek kavşaktaki trafik sıkışıklıklarının dengelenmesi sağlanmaktadır.

Adaptif sinyalizasyonun kullanıldığı orta ölçekli sistemlerde araçların hız ortalamaları daha yüksek olmakta, sistem içerisinde kaldıkları süre, harcadıkları yakıt miktarı azalmaktadır. Ayrıca simülasyon anında sistem içerisinde bulunan araç sayısı önemli ölçüde azalmaktadır.

Üzerinde birden çok kavşak bulunan uzun yol tesisleri için yeşil dalga sinyalizasyonu o bölüm için trafik sıkışıklığını azaltacak bir çözümdür. Özellikle şerit sayısı bol olan anayolun ve bu anayola kavşaklarla bağlanan yan yolların geçiş önceliğinin bu sinyalizasyonla belirlenmesi, anayoldaki trafik akıcılığını iyileştirmektedir. Ancak ara yollardan ana yollara katılacak araçlar daha fazla beklemek durumunda kalabilmektedirler.

3.2. Yol Tesisleri Özelliklerinin Sonuçlara Etkisi

Yolun eğimindeki artış, araçların hızlanma ve yavaşlama ivmelerine etki etmektedir. Eğimli yol adedi daha fazla olan sistemlerde aynı şartlarda eğimli yol adedi daha fazla olan sistemlere göre trafik sıkışıklıklarında artış gözlenmektedir.

Benzer şekilde aracın hareket ettiği yol güzergâhının sürtünme katsayısının artırılması yine hızlanma ve yavaşlama eğrilerine direkt etki etmekte ve trafik sıkışıklıklarını yolun eğimi kadar olmasa da arttırmaktadır.

3.3. Araç Doğum Oranlarının Sonuçlara Etkisi

Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda, benzer trafik sistemlerinde trafiğin başlangıç noktalarından sisteme dahil olacak araç miktarının artırılması trafik sıkışmalarının artmasına sebep olmaktadır.

3.4. Kullanılan Donanımın Simülasyon Sonuçlarına Etkisi

Geliştirdiğimiz sistemin grafik tabanlı bir simülasyon olması sebebiyle simülasyonun işletileceği bilgisayarın donanımsal özelliklerine dikkat edilmesi gerekmektedir.

Simülasyonların çoğunu Pentium 4 1600 Ghz işlemci tabanlı, 512 Mhz Rd ram ve 64 Mb GeForce 2 grafik kartına sahip bir bilgisayar sistemi üzerinde gerçekleştirdik. Ancak benzer işlemci hızına ve ram kapasitesine sahip, anakartla bütünleşik 16 Mb hafızalı bir grafik kartında dahi simülasyonun çalışması esnasında bir yavaşlama gözlenmemiştir.

Yine de Delphi programlama dili ve görselliğin oluşturulmasını sağlayan OpenGL API Kütüphanesi kullanılarak geliştirilen bu yazılımın etkin bir şekilde çalışabilmesi için yukarıda bahsi geçen donanım özelliklerinin altına inilmemesi tavsiye edilir.

3.5. Öneriler

1. Oluşturulacak trafik sistemlerinde adaptif sinyalizasyonun kullanılması halinde trafik sıkışıklıkları en aza inecektir. Maliyetler göz önüne alındığında, kavşağa bağlanan akımları belli noktalardan itibaren takip edecek sensor sayaçların trafiğin yoğunlaştığı kritik noktalara yerleştirilmesi ve bu sayaçlara bağlı bir sinyal zamanlama sisteminin kurulması trafik akımını olumlu yönde etkileyecektir.
2. Trafik akımının yoğun olduğu noktalarda ve anayollarda trafik akışının kesiksiz sürmesine yardımcı olacak yeşil dalga sinyalizasyon modeli kullanılabilir. Adaptif sinyalizasyon kadar olmasa da bu teknik trafik akımlarını yine olumlu yönde etkileyecektir.

3. Arazi şartları dikkate alındığında eğimli yolların trafik akışında kesilmelere neden olduğu görülmektedir. Bu sebeple yol tasarımlarında mümkün olduğunca eğimli yüzeyler üzerine yapılacak tesislerden kaçınılmalıdır.
4. Trafik akımlarında ağır vasıtaların belli noktalarda trafikte seyretmeleri sağlanarak trafik akışındaki kesilmelerin önüne geçilmelidir.

4. KAYNAKLAR

1. Tunç, A. Trafik Mühendisliği Uygulamaları, 1. Baskı, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti. 2003
2. Mannering, F.L., Kilareski, W. P. ve Washburn, S. S., Principles Of Highway Engineering and Traffic Analysis, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., 2005
3. Pline, L.J., Traffic Engineering Handbook, ITE, Prantice Hall, 1992
4. Krautter, W., Bleile, T., Manstetten, D. ve Schwab T., Traffic Simulation With Artist, Intelligent Transportation System, 1997. ITSC 97. IEEE Conference, (1997) 472-477
5. Spall, J.C., Chin, D.C. ve Smith, R.H., A System-Wide Approach to Adaptive Traffic Control, Intelligent Vehicles '95 Symposium , (1995) 442–447
6. Ishikawa, T., Development of a Road Traffic Simulator, Vehicular Technology, IEEE Transactions, 47,3 (1998) 1066-1071
7. Czogalla, O., Hoyer, R. ve Jumar, U., Modelling and Simulation of Controlled Road Traffic, Lecture Notes in Control and Information Sciences, 279 (2002) 419-436
8. TRANSIMS, http://www.transims.net/pg04_transims_framework.html, 2 Eylül 2005
9. Delphi Programlama Dili, <http://www.borland.com/delphi>, 12 Kasım 2005
10. OpenGL, http://www.opengl.org/documentation/red_book/ 10 Aralık 2005
11. GLScene Project, <http://glscene.sourceforge.net/faq.htm>, 10 Ocak 2006
12. GLScene/Delphi/OpenGL, <http://caperaven.co.za/gls/tutorials/index.htm>, 15 Ocak 2006
13. GLScene Articles, http://glscene.schtuff.com/doc_articles, 17 Ocak 2006
14. Green Wave – Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Green_wave, 17 Mayıs 2006

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Trabzon-Dumlupınar İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini Trabzon Anadolu Lisesi ve değişen adı ile Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1997 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü'nde Lisans Programı'na başladı ve 2001 yılında bu bölümden 3.cülük derecesi ile mezun oldu. 2002 yılı Ocak ayından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi Enformatik Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Yabancı dil olarak iyi derecede İngilizce bilmektedir.