T.C. İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENT İÇİ KARAYOLU ULAŞIM PROJELERİNİN MİKROSİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE ANALİZ EDİLMESİ İSTANBUL ESENYURT ÖRNEĞİ

Menekşe ŞEKER MURAT

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Leyla SURİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIMA YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
İSTANBUL - 2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Menekşe ŞEKER MURAT tarafından hazırlanan **" Kent İçi Karayolu Ulaşım Projelerinin Mikrosimülasyon Yöntemi ile Analiz Edilmesi İstanbul Esenyurt Örneği"** adlı tez çalışması 15/09/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	**Dr. Öğr. Üyesi Leyla SURİ** İstanbul Ticaret Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	**Dr. Öğr. Üyesi Esad ERGİN** İstanbul Ticaret Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Halit ÖZEN** Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Onay Tarihi :14.10.2022

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünün 14.10.2022 tarih ve 2022/361 numaralı Yönetim Kurulu Kararının 6. maddesi gereğince, ders yüklerini ve tez yükümlülüğünü yerine getirdiği belirlenen "Menekşe ŞEKER MURAT" adlı öğrencinin mezun olmasına oy birliği ile karar verilmiştir.

Prof. Dr. Doğan KAYA
Enstitü Müdürü

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

14.10.2022

Menekşe ŞEKER MURAT

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.2. Hipotez	3
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
3. KENT İÇİ KARAYOLU ULAŞIMI	6
3.1. Kent İçi Ulaşım	6
3.2. Kent İçi Ulaşım Türleri	6
3.2.1. Karayolu ulaşımı	8
3.2.1.1. Yaya ve bisiklet	9
3.2.1.2. Bireysel ulaşım	12
3.2.1.3. Lastik tekerlikli toplu taşım	13
3.2.1.4. Yük taşımacılığı	13
3.2.2. Demiryolu ulaşımı	14
2.2.2.1. Raylı toplu taşım	15
3.2.3. Denizyolu ulaşımı	16
3.3. Kent İçi Karayolu Ulaşımı	16
3.3.1. Karayolu trafiğini oluşturan elemanlar	17
3.3.2. Ulaşım performans kriterleri	17
3.3.2.1. Hizmet düzeyi	18
3.3.2.2. Gecikme analizi	20
3.3.2.3. Durma sayıları	20
3.4. Kent İçi Ulaşım Sorunları	21
3.4.1. Hava kirliliği	22
3.4.2. Küresel atmosfer etkileri	22
3.4.3. Gürültü kirliliği	22
3.4.4. Trafik sıkışıklığı	23
3.4.5.Yol güvenliği ve trafik kazaları	23
3.4.6.Kentsel alanın verimsiz kullanımı	23
3.4.7 Sınırlı petrol kaynakları	24
3.5. Ulaşım Projeleri Tasarım İlkeleri	24
3.5.1.Kavşak tasarımını etkileyen faktörler	26
3.5.1.1. İnsan Faktörü	26
3.5.1.2. Trafik Faktörü	26
3.5.1.3. Fiziksel Faktörler	26
3.5.1.4. Ekonomik Faktörler	27
3.5.1.5. Sosyal Faktörler	27
3.5.1.6. Fonksiyonel Kavşak Alanı	27
4. SİMÜLASYON VE MODELLEME	28
4.1. Simülasyon Tanımı	28
4.1.1 Simülasyonun avantajları ve dezavantajları	29

4.2. Mikrosimülasyon Yöntemi 30
4.2.1. Mikrosimülasyon tanımı 30
4.2.2. Kullanılan alanlar 31
4.3. Modelin Hazırlanması ve Kalibrasyonu 33
4.3.1. Veri toplama 34
4.3.2. Modelin kalibrasyonu 35
4.3.3. Analiz ve değerlendirme 38
4.3.4. 2 ve 3 boyutlu animasyonlar 39
5. UYGULAMA ÖRNEĞİ: ESENYURT İLÇESİ AHMET ARİF CADDESİ 40
5.1. Çalışma Alanındaki Mevcut Durum Bilgileri 41
5.1.1.Konum bilgileri 41
5.1.2.Nüfus verileri 42
5.1.3.İmar durumu verileri 45
5.1.4. Ulaşım verileri 46
5.1.5. Çalışma alanındaki ulaşım sorunları 49
5.2 Mevcut Durumun Modellenmesi 50
5.3 Tasarlanmış Ulaşım Projesinin Modellenmesi 55
5.4 Mevcut Durum ve Projenin Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi . 57
5.5 Proje Tasarımınının Arazi Kullanımı Bakımından Değerlendirilmesi 59
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 63
KAYNAKLAR 66
ÖZGEÇMİŞ 70

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KENT İÇİ KARAYOLU ULAŞIM PROJELERİNİN MİKROSİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE ANALİZ EDİLMESİ İSTANBUL ESENYURT ÖRNEĞİ

Menekşe ŞEKER MURAT

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Leyla SURİ

2022, 70 sayfa

İstanbul metropolünde, nüfus ve yerleşim alanlarının artması, ulaşım sorunlarının da büyümesine neden olmaktadır. Kentin hem günümüzdeki sorunlarının çözümü için hem de gelecekte karşı karşıya kalabileceği tehditlere karşı kapsamlı bir ulaşım planlamasına gereksinimi vardır. Ulaşım planlama sürecinde trafik mühendisliği çalışmaları ile tasarımlar yapılarak planlama kararları öngörülmelidir. Planlama çalışmalarının yürütülmesinde akılcı ve kalıcı kararlar verilebilmesi için bilimsel metodlardan faydanılması gerekmektedir. Planlama kavramı uzun, orta ve kısa olmak üzere üç farklı şekilde ele alınmaktadır. Kısa vadeli çözüm önerilerinin değerlendirilmesinde ve kısıtlı bir (kavşak, koridor gibi) alanı kapsayan mikro simülasyon bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında modelleme yöntemi olan simülasyon ele alınmış ve mikro ölçekli bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Trafik sorunlarına yönelik üretilen bir projenin analizi yapılarak mevcut durumun ve öneri projenin performansı değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre öneri modelimizin mevcut duruma göre yaklaşık olarak ortalama gecikme süresinde %27, ortalama durma sayısında %43, ortalama hız değerinde %15, toplam gecikme süresinde %10, toplam gecikme süresinde %27 ve toplam seyahat süresinde %5 daha iyi sonuçlar elde ettiği tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca arazi kullanımına yönelik değerlendirme yapılarak alan içinde yer alan hastane kullanımı acil durum senaryosu ile test edilmiş olup, mikro ölçekli model yönteminin ulaşım planlaması süreçlerine dâhil edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kent içi ulaşım, mikro ölçekli trafik simülasyonu, performans kriterleri, ulaşım projeleri.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

USING MICROSIMULATION METHOD IN URBAN TRANSPORTATION PROJECTS: THE CASE OF ESENYURT AHMET ARİF CADDESİ

Menekşe ŞEKER MURAT

İstanbul Commerce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Urban Systems and Transport Management

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Leyla SURİ

2022, 70 pages

The increase in population and residential areas in the Istanbul metropolis causes transportation problems to grow. The city needs a comprehensive transportation planning both for the solution of its current problems and for the threats it may face in the future. In the transportation planning process, planning decisions should be foreseen by making designs with traffic engineering studies. In order to make rational and permanent decisions in the execution of planning studies, it is necessary to benefit from scientific methods. The concept of planning is handled in three different ways as long, medium and short. Micro-simulation, which covers a limited area (such as intersection, corridor) and evaluates short-term solution proposals, is the main subject of this study. Within the scope of the study, simulation, which is a modeling method, was discussed and a micro-scale simulation model was created. The current situation and the performance of the proposed project were evaluated by analyzing a project produced for traffic problems. According to these results, our recommendation model achieved approximately 27% better results in average delay time, 43% in average number of stops, 15% in average speed, 10% in total delay time, 27% in total delay time and 5% in total travel time compared to the current situation. detected. In the study, the use of the hospital in the area was also tested with the emergency scenario by making an evaluation for land use, and it was emphasized that the micro-scale model method should be included in the transportation planning processes.

Keywords: Microscopic traffic simulation, performance criteria, transportation projects, urban transportation.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Leyla SURİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın yürütülmesinde maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm tüm İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve İsbak A.Ş. personeline, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü hocalarıma, müdürlük personeli ile Göksel KIBIŞ'a teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan eşim Serkan MURAT'a ve kıymetli aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Menekşe ŞEKER MURAT
İSTANBUL, 2022

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 3.1. Kent içi ulaşım türleri 7
Şekil 3.2. İstanbul ili kent içi ulaşım türlerinin yolculuk sayılarına göre kıyaslanması 7
Şekil 3.3. Kentsel ulaşım sisteminin bileşenleri 8
Şekil 3.4. Yaya ve bisikletli haraketliliği 10
Şekil 3.5. İllere göre bisikletli ulaşım altyapısı uzunluğu 11
Şekil 3.6. Kent içi bisiklet yollarının sahaya uygulanması 11
Şekil 3.7. Kentsel trafik sıkışıklığı 12
Şekil 3.8. Kent içi yük taşımacılığı 14
Şekil 3.9. Kent içi raylı toplu taşıma 15
Şekil 3.10. Hizmet düzeyleri ve özellikleri 20
Şekil 3.11. Kentleşme ve ulaşım sitemindeki gelişmeler 21
Şekil 3.12. Fonksiyonel Kavşak Alanı Gösterimi 27
Şekil 4.1. Bir mikrosimülasyon çalışması için zaman çizelgesi örneği 32
Şekil 4.2. Bazı trafik simülasyon yazılımlarının karşılaştırılması 33
Şekil 4.3. Mikro-simülasyon aşamaları 34
Şekil 4.4. Sayım föyü örneği 35
Şekil 4.5. PTV vissim arayüzü görseli 36
Şekil 4.6. Synchro programı arayüzü görseli 36
Şekil 4.7. Performans kriterleri 38
Şekil 4.8. Mikro-simülasyon görseli- altgeçit projesi 39
Şekil 5.1. Esenyurt ilçesinin konumu 41
Şekil 5.2. Çalışma alanı kapsamındaki yol güzergâhı 42
Şekil 5.3. İstanbul ili ilçelere göre nüfus gösterimi 43
Şekil 5.4. İlçelere göre nüfus değerleri 43
Şekil 5.5. Esenyurt ilçesi ve yakın çevresi nufus verileri 44
Şekil 5.6. Nüfus artış hızı 45
Şekil 5.7. Nüfus yoğunluğu 45
Şekil 5.8. İmar durumu görseli -1/1000 uyg. imar planı 46
Şekil 5.9. Yol kademelenmesi (1., 2. derece yollar) 47
Şekil 5.10. Yol kademelenmesi (1.2.3. derece yollar) 48
Şekil 5.11. Trafik verisi alınan sayım noktaları 49
Şekil 5.12. Modeli yapılan ulaşım ağında yer alan 3 ana kavşağın konumu. 51
Şekil 5.13. 1 no'lu kavşağa ait sayım değerleri (taşıt/saat) 52
Şekil 5.14. 2 no'lu kavşağa ait sayım değerleri (taşıt/saat) 52
Şekil 5.15. 3 no'lu kavşağa ait sayım değerleri (taşıt/saat) 53
Şekil 5.16. Model kalibrasyonu için parametrelerin belirlendiği vissim arayüzü 54
Şekil 5.17. Simülasyon görüntüsü-mevcut kuyruklanmalar 55
Şekil 5.18. Ahmet Arif Caddesi- Gazi Caddesi kesişimi proje alanı 56
Şekil 5.19. Öneri projenin arazi üzerinde gösterimi 57
Şekil 5.20. Simülasyon görüntüsü-öneri durum 57
Şekil 5.21. Mevcut – öneri karşılaştırılması (ort. gecikme ve ort. durma sayısı) 58
Şekil 5.22. Mevcut – öneri karşılaştırılması (ort. hız ve toplam gecikme süresi) 58

Şekil 5.23. Mevcut – öneri karşılaştırılması (toplam seyahat süresi) 59
Şekil 5.24. Acil durum senaryosu simülasyon görüntüsü - Esenyurt Necmi Kadıoğlu Devlet Hastanesi önü..... 60
Şekil 5.25. Mevcut – acil durum karşılaştırılması (ort. gecikme ve ort. durma sayısı)..... 61
Şekil 5.26. Mevcut – acil durum karşılaştırılması(ort. hız ve top. gecikme süresi)..... 61
Şekil 5.27. Mevcut – acil durum karşılaştırılması (toplam seyahat süresi) .. 62

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 5.1. Nüfus ve yüzölçümü verileri..... 40
Çizelge 5.2. Hesaplanan GEH değerleri 54

1. GİRİŞ

Kentlerde nüfus artış hızına ve aşırı nüfus yığılmalarına bağlı olarak arazinin izin verdiği ölçüde yaşam alanlarının genişlediği görülmektedir. Bu durum mekânsal büyümeyi ortaya çıkarmış mekânsal büyüme ekonomik ve sosyal faaliyetlerin büyümesine sebep olmuştur. Büyüme hızının artışına bağlı olarak kentlerdeki yaya ve araç hareketliliği artmış ve ulaşım sorunları meydana gelmiştir. En önemli ulaşım sorunları; trafik sıkışıklığı, trafik kazalarının artması, otopark yetersizliği, zaman kaybı hava ve gürültü kirliliği olarak sıralanabilir. Ulaşım ve trafik sorunları ülkemizde tek bir kurum üzerinden ele alınmamakta olup, parçacı bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Bu sebeple istenilen sonuçlara ulaşmak güçleşmektedir. Kapsamlı ve bir bütün olarak yapılması gereken planlama çalışmaları yetersiz olup, geleceğe yönelik planlama kararları alınamamaktadır. Bu sorunların çözümleri için geliştirilen projelerde farklı disiplinlerle birlikte çalışmaların yapılmaması, sorunun çözümü için geçici düzenlemeler yapılıp uzun vadeli planlar içinse gerekli yatırımların yapılamaması kent içi ulaşım sorunlarının daha da artmasına sebep olmaktadır.

Kentsel ulaşımın planlanması, bir kentin ulaşım ana planından veya imar planının ulaşım ile ilgili kararlarından, bir yaya alanının, bir kavşağın planlanmasına kadar, değişik nitelikli ulaşım araştırmaları ve farklı ölçeklerde proje tasarımlarıyla ilgilidir. Kentsel gelişmeyi belirleyen imar planlarının iskeleti sayılan yol ağını belirleyecek ulaşım planlaması planlama hiyerarşisi içinde vazgeçilmez bir öğedir. Kent içi ulaşım projeleri kapsamında; ana caddeler, imar bölgesini aşan toplayıcı caddeler, imar bölgesi için toplayıcı yollar, dağıtıcı yollar, ara (tali) sokaklar, taşıt ve yayanın birlikte kullandığı ara yollar, yaya caddeleri, konut bölgesi yaya yolları, bisiklet yolları düşünülebilir.

Ulaşımda planlama kapsamındaki ulaşım ve trafik düzenleme projeleri uzun vadede etkileri olan ve maliyeti yüksek olan yatırımlardır. Aynı zamanda geri dönüşü olmayan sonuçları meydana getirebilmektedir. Bu yüzden doğru olarak belirlenen öncelikler için en fazla yararı sağlayacak şekilde ekonomik kaynakların kullanılması çok önemlidir.

Gelişen simülasyon teknolojileri sayesinde ulaşım sistemin mevcut durumu simülasyon ortamına yansıtılarak, sisteme uyacak kavşak çözümleri ve yol ağları hızlı ve kapsamlı bir şekilde üretilebilmektedir. Ayrıca simülasyon programları farklı senaryolarda yol üzerindeki sistemin nasıl davrandığını görmemize, gerekli gördüğümüz değişiklikleri hızlıca değiştirip tekrar gözlem yapabilmemize olanak sağlamaktadır.

Maliyet ve zaman kayıplarının önüne geçilmesi için ulaşıma modellemenin entegre edilmesi ile bilimsel metodlardan faydanılarak mevcut duruma ait değerlendirmeler yapılmalı, trafik problemleri doğru tespit edilmeli ve çözüme yönelik en doğru projenin seçimi gerçekleştirilmelidir.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Ulaştırma yatırımları, uzun dönemli etkileri olan yüksek maliyetli yatırımlardır. Bu sebepten bu tür projelere ilişkin önceliklerin doğru belirlenmesi ve kısıtlı ekonomik kaynakların en fazla yarar getirecek şekilde kullanılması çok önemlidir. Ulaştırmanın bir bütün olarak arazi kullanımı ile etkileşimleri de göz önünde tutularak planlanması gerekmektedir.

Karayolu ulaşım ağında yaşanan sorunları uzun vadede çözebilmek için özel otomobil kullanımı azaltılarak toplu taşıma sistemlerinin kullanılmasına öncelik verilmelidir. Kısa vadede çözüm üretebilmek için ise, trafik sorunlarının en fazla yaşandığı alanlar olan kavşakların performansı arttırılmalıdır. Bu da karar vericilerin tasarlanacak kavşağın bulunduğu bölgenin özelliklerini, sürücü profillerini, trafik akım değerlerini doğru analiz edip en uygun kavşağın seçiminin yapılması sağlanarak gerçekleştirilebilir.

Bu bağlamda yukarıda bahsedilen seçimin yapılması için modelleme tekniğinin kullanılmasının öneminin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu ulaşım projelerinde simülasyon yönteminin önemi ile birlikte tekniğin ulaşım sektörü içinde kullanımı incelenerek detaylı anlatımının yapılması hedeflenmiştir.

Ulaşım modelleme metodu olan mikrosimülasyon konusu ele alınarak inceleme yapılmış ve örnek bir alan seçilerek alandaki mevcut durum ve proje durumun benzetim modellerinin kıyaslanması ile elde edilecek faydaların belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında kent içi ulaşım kavramı ve projelendirme aşamalarında trafik mühendisliği ve tasarımsal anlamda dikkat edilmesi gereken hususlar anlatılmış olup, mikrosimülasyon yöntemi detaylandırılarak uygulama örneği ile birlikte ulaşımda modellemenin önemi vurgulanmıştır.

Çalışmamızda modelleme yöntemi kapsamında uygulama örneği olarak bir alanda çalışılmış ve sonuçları paylaşılmıştır. Uygulama alanı olarak yaşam kalitesini son derece olumsuz etkileyen ulaşım sorularının üst seviyede olduğu İstanbul ili Esenyurt ilçesi seçilmiştir. Yöntemimizin mikrosimülasyon olması sebebi ile detaylı kavşak projesi çalışılacağından il genelinde en yoğun nüfusa sahip olan Esenyurt ilçesi kapsamında kentsel haraketliliğin en fazla olduğu Ahmet Arif Caddesi ve etki alanındaki caddeler modellenmiştir. Caddeler üzerinde belirlenen kavşakların oluşturduğu koridorun analizi yapılarak mevcut trafik durumları tespit edilmiştir. Trafik sorunları tespit edilen koridor üzerinde imar durumuna göre önerilen kavşak geometrik düzenleme projesinin de modeli hazırlanarak kavşaklar için problem çözümleri değerlendirilmiştir. Böylece kavşaklarda hazırlanan projenin nasıl bir iyileştirme sağladığı performans değerleri alınarak belirlenmiştir.

1.2. Hipotez

Karayolu ulaşım ağında yaşanan sorunları çözebilmek amacı ile tasarlanan ulaşım projeleri bilimsel yöntemlerle irdelenerek, proje tasarımının ne denli doğru olduğu sorgulanmalıdır. Bu sorgunun kapsamında mevcut arazi kullanımına yönelik bilgiler detaylıca ele alınmalı ve proje bu kapsamda değerlendirilmelidir. Çalışmamızda ulaşım projelerinin bilimsel bir metod olan mikrosimülasyon yöntemi ile değerlendirmesi yapılmış olup, arazi kullanımında mevcut olan hastane özelinde de simülasyon yapılarak acil bir durumda oluşacak trafik yükünün senaryosu test edilerek sonuçlar paylaşılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Karayolu ulaşımının temeli olan kavşaklar bir ulaşım sistemi içinde trafik akımının en fazla kesintiye uğradığı noktalar olup, birçok bilimsel araştırmada ele alınmıştır. Kavşaktaki akım hareketlerinin detaylı olarak incelenebildiği mikrosimülasyon yöntemi bu çalışmanın yöntemi olup, kent içi ulaşım sorunlarının bilimsel yöntemlerle analiz edildiği birçok çalışmanın da konusu olmuştur.

Oktan (2021) tarafından yapılan çalışmada, Erzurum ilinde bulunan şehrin önemli kavşakları olan İstasyon kavşağı, Gez kavşağı, İstanbulkapı kavşaklarının oluşturduğu koridor, simülasyon yöntemi kullanılarak modellenmiş ve kavşakların seyahat süresi, ortalama gecikmesi, CO, NOX ve VOC emisyonu salınımı, yakıt tüketimi ve kuyruk uzunluğu gibi parametrelerinin iyileştirilmesi için farklı senaryolar analiz edilmiştir.

Irgat (2019) tarafından yapılan çalışmada önemli trafik sorunlarından olan kazalar ele alınmış ve simülasyon yöntemi olarak Visum Safety kaza analizi programı ile kazalar ile trafik verilerini ilişkilendirerek analizler yapılmıştır. Trafik hacmi, trafik yoğunluğu, hızlar ve araç cinsleri gibi trafik parametrelerinin kazalar ile ilişkilendirilmesi kazaların yorumlanmasında ve önlemlerin alınmasında daha etkili olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan bir tez çalışmasında, 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 (Yılmaz, 2006).

Yapılan bir diğer tez çalışmasında, trafik sistemlerinin önemli bir parçası olan arterlerin yeniden yapılandırılması için değişik senaryoların üretilerek en uygun

sistemin hayata geçirilmesine yönelik simülasyon tekniği ile doğru karar verme hedeflenmiştir (Ocakdan, 2010).

Bir diğer tez çalışmasında; simülasyon yöntemi kullanılarak satış tahminlerinin nasıl yapılacağını ve bütçenin temelini oluştururken simülasyon tahminleri ile nasıl bütçe hazırlanacağı anlatılmıştır (Kavcar, 2004).

Başka bir çalışmada, İstanbul'da kent içinde faaliyet gösteren deniz otobüsü filosu ve iskeleleri ile ilgili planlama yapılırken simülasyonun etkin bir araç olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve tez kapsamında kent içi tüm şebekeyi kapsayan bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model, farklı senaryolarla daha önce yapılmış çalışmaların analizinde kullanılmıştır. Sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmış, deniz otobüsü planlamasında ileride neler yapılabileceği tartışılmıştır (Aydın, 2007).

İncelemeler sonucunda görüldüğü üzere trafik simülasyon programları sayesinde kavşak veya kavşakların oluşturduğu koridorların mevcut veya tasarımlarının simülasyon modeli oluşturularak sistemde meydana gelen seyahat süreleri, durma sayıları ve gecikmeler gibi kavşak performansını belirleyen parametreler analiz edilebilmektedir.

3. KENT İÇİ KARAYOLU ULAŞIMI

3.1. Kent İçi Ulaşım

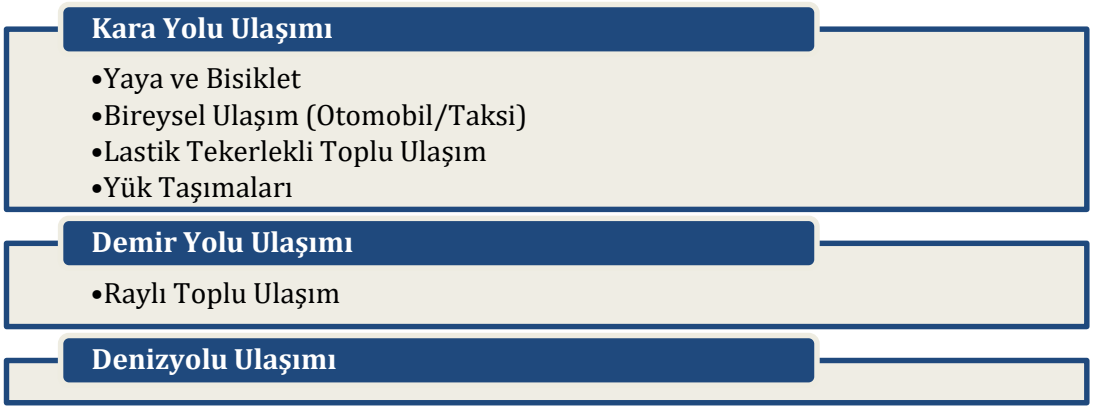
Ulaşım, insan, hayvan veya nesnelerin yer değişimi ile ilgili bir konudur. Yerleşik hayata geçilmesi ile birlikte ulaşımın önemi artmıştır. Kent içi ulaşım ise kentte yaşayan nüfusun aktivitelerinden oluşmaktadır. Kent içi ulaşım eski dönemlerde yaya ve hayvan gücüne dayalı araçların hareketini kapsamakta iken, sonralarda çalışanların işyerlerine ve evlerine ulaşma ihtiyacının ortaya çıkması ile birlikte kent içi ulaşım türlerinin bugün ki haline gelmiştir (Öncü, 1997).

Ülke nüfusunun artmasının yanı sıra, kırda yaşayan nüfusun azalması kent nüfusunun ise yüksek oranda artması birtakım sonuçları meydana getirmiştir. Ulaşım bakımından bu artışın sonucu; ekonomik faaliyetlerin artması ile birlikte kişi başı günlük yolculuk oranının yükselmiş olmasıdır. Bu durum tüm kent genelindeki toplam yolculuk sayısını da arttırmaktadır. Yolculuk sayılarında artış ve yolculuk tiplerindeki farklılar sebebi ile ulaşım sektörünün kapsamı da genişlemektedir. Günümüzde kentsel mekânlardaki yolculuk sayıları ile birlikte yolculuk uzunlukları da artmakta ve yolculuk tipi ise motorlu araç yolculuğuna dönüşmektedir.

3.2. Kent İçi Ulaşım Türleri

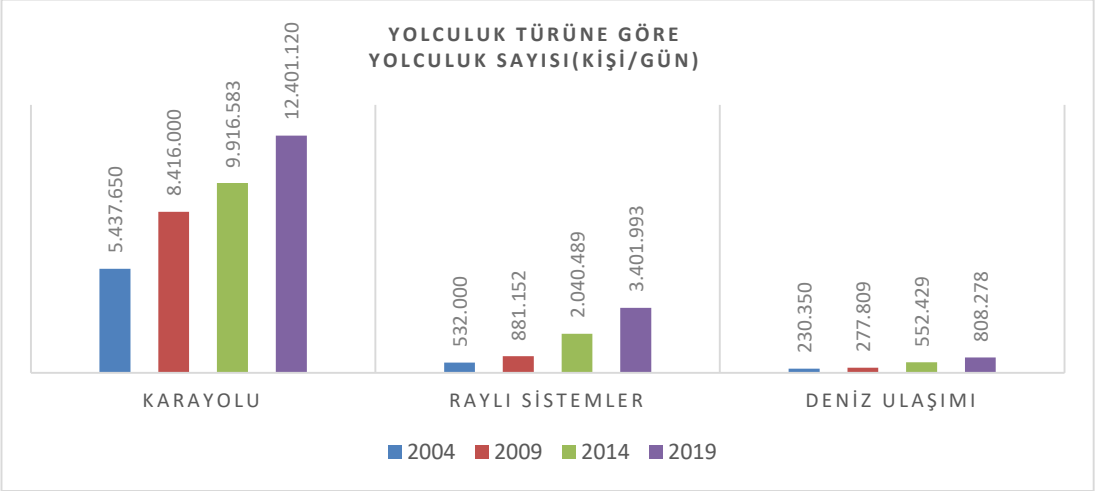
Kent içi ulaşım, kent sınırları içinde, insanların veya eşyaların bir yerden başka bir yere emniyetli, güvenli ve hızlı bir biçimde ulaşım sistemleriyle taşınmasıdır. Kentsel ulaşım, toplu ve bireysel ulaşım ile yük taşımacılığından meydana gelmektedir. Kent içi ulaşım sistemleri, otobüsler, minibüsler, raylı sistemler, taksiler, taksi-dolmuşlar, servis araçları ve binek taşıtlardan oluşmaktadır. Kent büyüklüğüne bağlı olarak seyahat süresi ve ulaşım türü seçimi değişmektedir (Tiwari, 2006).

Kent içi ulaşımın kapsamında genel olarak karayolu, demiryolu ve denizyolu yer almaktadır. Kent içi ulaşım türleri Şekil 3-1'de gösterilmiştir.



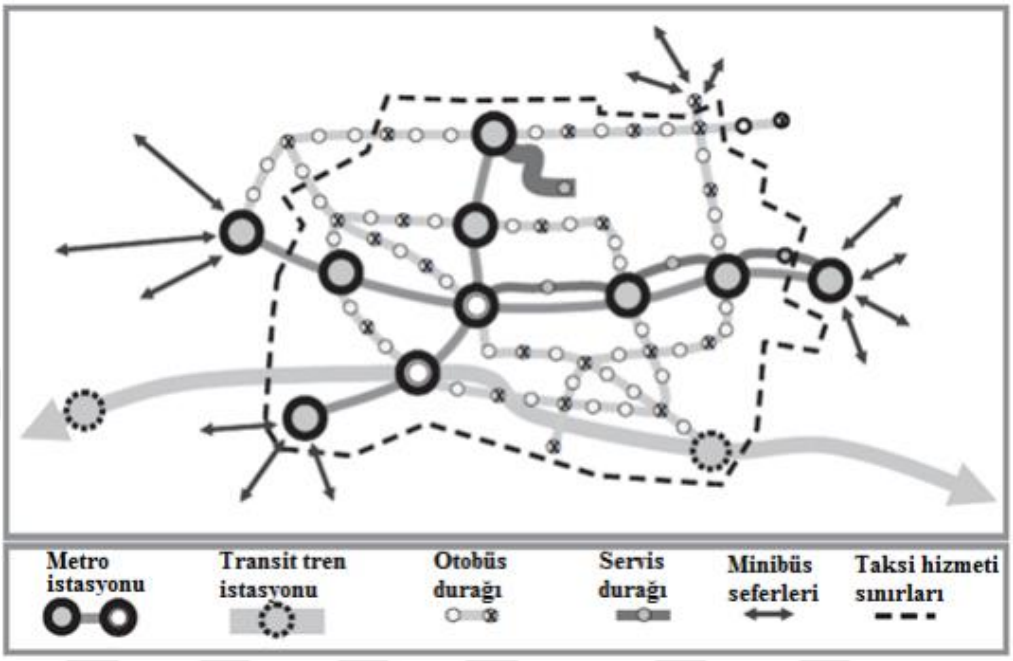
Şekil 3.1. Kent içi ulaşım türleri

Yolculuk türlerindeki yolculuk sayıları incelendiğinde en yüksek oran karayolu ulaşım türündedir. Nufus yoğunluğunun en yüksek olduğu İstanbul ilinde yolculuk sayısı da en fazla düzeyde olup, en sık kullanılan ulaşım türü ise karayolu ulaşımıdır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin veri portalından alınan verilere göre elde edilen ulaşım türlerine göre yolculuk değerlerinin yıllara göre artış durumu Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. İstanbul ili kent içi ulaşım türlerinin yolculuk sayılarına göre kıyaslanması (İstanbul Büyükşehir Belediyesi açık veri portalı, 2022)

Kentsel ulaşım sistemlerinin bileşenleri taşıma türlerinden meydana gelmekte olup Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Tüm türlerin hizmet alanları ve kullanım nedenleri birbirinden farklı olup, avantajları ve dezavantajları değişkenlik göstermektedir.



Şekil 3. 3. Kentsel ulaşım sisteminin bileşenleri (Akbulut, 2016)

3.2.1. Karayolu ulaşımı

Karayolları, kent dışı ve kent içi yollar olmak üzere iki gruba ayrılır. Kent içi yolların her türlü teknik altyapıyı (su, elektrik, kanalizasyon, telefon vb. gibi) barındırıyor olmaları kent dışı yollardan en önemli farklarıdır.

Karayolu taşımacılığı, yolcuların kendi özel araçlarıyla bir noktadan diğerine aktarmasız bir şekilde, konfor alanında ulaşmasını sağlaması gibi nedenler ile taşıma türü olarak en çok tercih edilen olması kaçınılmaz olmaktadır. Fakat bu rahatlık peşinde birçok problemi de beraberinde getirmektedir. Bu problemlerin en önemlileri ise çevre kirliliği, kaza riskinin fazlalığı, yoğun trafik tıkanıklığı gibi olumsuz dış etkenlerdir. Şehirlerin topografik yapısına ve iklimine göre bisiklet ve motorsiklet kullanımları değişkenlik göstermektedir. Toplu taşıma araçlarının yanı sıra kişisel otomobil tercih edilmesinde elbette rahatlık, hız limitlerinin

yüksekliği ve varılmak istenilen noktaya doğrudan ulaşma gibi karayolu taşımacılığının en önemli unsurlarının etkisi de büyüktür. Karayolu ulaşımını oluşturan tüm modlar süregelen bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

3.2.1.1. Yaya ve bisiklet

Yaya ulaşımının kentlerde maruz kaldığı birçok engel bulunmaktadır. Bu listenin en başında ise motorlu taşıtların yayalar üzerindeki baskısı gelmektedir. Yayaların kullanım alanı olan kaldırımlar, otomobillere otopark alanı iş görmekte; büfeler, altyapı tesisatı elemanları ve kaldırım boyunca bulunan dükkânlar tarafından tutulmaktadır. Bütün bunlar yayaların hareket alanına müdahale edip, sınırlamaktadır. Konuya başka bir noktadan bakmak gerekirse kentlerin birçok bölgesini işgal eden imarsız konut alanlarının, yayalar kullanımı için gerekli olan kaldırımları neredeyse hiç bulundurmaması sebebi ile yayalar ve motorlu araçlar aynı yol düzeyinde ilerlemektedirler.

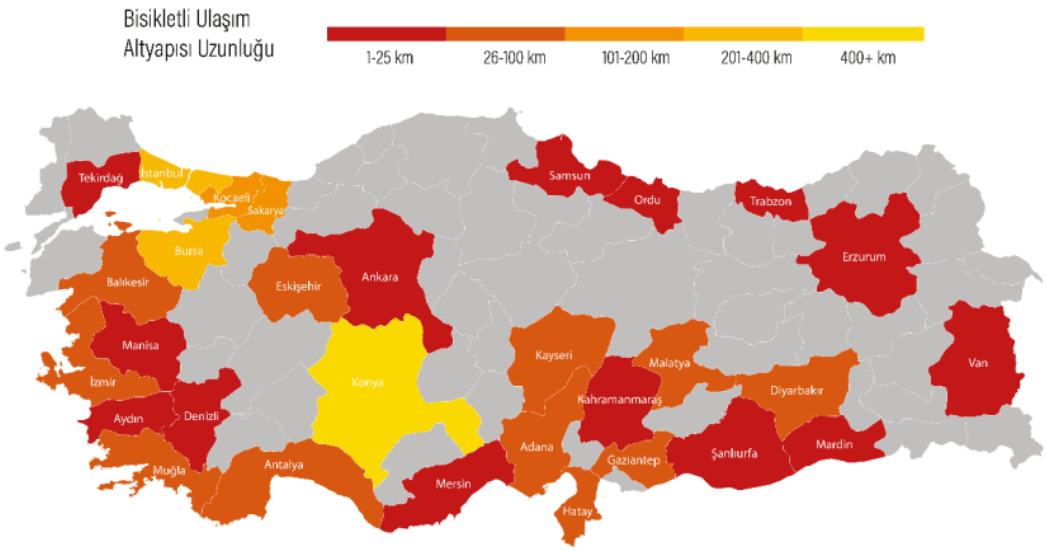
Kentlerin büyüyüp gelişmesi, günlük yolculuklar olan ev-iş, ev-okul mesafelerinin yaya ulaşımına mahal vermeyecek kadar artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yaya hereketliliğinin ulaşımdaki payı etkisiz hale gelmektedir. Bu gelişme son yıllarda yapılan kentiçi ulaşım etütleri ile de açıkça ortaya çıkmaktadır. Kentsel gelişmeye ve nüfus artışına paralel olarak kent içindeki yolculuklardaki yaya hareketlerinin payı azalmaktadır. Kent içindeki ulaştırma problemlerinin çözümünde insanların haraketliliğini sağlamak göz önüne alınması gereken temel hedef olmalıdır. Şekil 3.4'te kentsel alanlarda yaya, bisikletli ve engelli erişimi için mekânsal kullanımlara örnek bir görsel yer almaktadır.



Şekil 3.4. Yaya ve bisikletli haraketliliği (Habertürk)

Bisiklet kullanımı, ulaşım türleri arasında enerji verimliliği en yüksek olan ve çevre kirliliğine en az sebebiyet veren olmasına rağmen ülkemizde pek tercih edilememektedir.

İklim ve topografik koşulları uygun olan Konya, Adana, İskenderun, İzmit gibi birkaç kentimiz dışında kentiçi yolculuk amacıyla kullanımı belirginleşememektedir. Bu kentlerimizde bile bisiklet ulaşımının payı yurt dışı kullanımlarına oranla düşük düzeydedir. Bisiklet kullanımı ile ilgili olarak bisikletli ulaşım altyapısından da yorum yapabilmemiz mümkün olup, ülkemizde yer alan ulaşım altyapısı uzunluk haritası Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. İllere göre bisikletli ulaşım altyapısı uzunluğu (WRI Türkiye, 2022)

Son yıllarda özellikle büyükşehirlerde sürdürülebilirlik farkındalığının oluşması ile birlikte bisiklet kullanımına teşvik önem kazanmış olup, kentlerdeki ulaşım altyapısına bisiklet yolları da dâhil edilmeye başlanmış olup, hem proje süreçleri hemde uygulama süreçleri hız kazanmıştır. Şekil 3.6'da bisiklet yolu projesinin sahada uygulanmış bir örneği yer almaktadır.



Şekil 3.6. Kent içi bisiklet yollarının sahaya uygulanması (Cyclist Türkiye)

3.2.1.2. Bireysel ulaşım

Bilindiği üzere otomobilleşme sürecinin hızlanması sonucunda ülkemizde kent içi karayolu altyapısında büyük bir baskı oluşmaktadır. Özellikle eski yerleşmelerde bulunan kent dokusundaki yollarda uzun süren tıkanmalar meydana gelmektedir. Şekil 3.7'de kentsel trafiğe örnek bir görsel yer almaktadır. Otomobilleşme sürecinin hızla artmasının sebepleri olarak, toplu taşıma hizmetlerinin yetersiz düzeyda kalması, otomobil kullanımına ait politikaların belirlenmemesi, otomobilin ulaşım aracı olmasının yanında yatırım aracı olarak da değerlendirilmesi gösterilebilir. Otomobil sahipliliği ve kullanımının artmasından kentteki ulaşım altyapısı da olumsuz etkilenmektedir. Araçların seyr halindeki sorunlarının yanı sıra parklanma sorunu da ulaşımdaki en büyük sorunlardan biri haline gelmiştir. Araç sahipliliğinin artması ile oluşan trafik tıkanıklığına çözüm için inşa edilen yollara, yaya kaldırımlarına, kentlerdeki sınırlı açık alanlara araçlar park edilmekte ve kentsel alanlar otopark alanı olarak kullanılmaktadır. Tüm bu sorunlara ek olarak ses, hava ve görsel kirlenme düzeylerinde de ciddi artışlar görülmektedir.



Şekil 3.7. Kentsel trafik sıkışıklığı (Sabah gazetesi)

3.2.1.3. Lastik tekerlekli toplu taşım

Toplu ulaşım sistemlerinin temel amacı, insanların kentiçindeki yolculuklarını en ekonomik şekilde sağlamaktır. Bu amacın gerçekleşmesi için ise toplu taşıma sistemlerinin en üst düzeyde koordine edilmesi ve işletilmesi gerekmektedir.
Toplu taşıma sistemi, taşıma biçimine ve taşıt türüne göre çeşitlilik göstermekte olup, dolmuş, minibüs ve otobüslerden oluşan toplu taşıma araçları lastik tekerlikli toplu taşımın kapsamındadır. Ülkemiz kentlerindeki toplu ulaşım yolculuklarının büyük bölümünü karşılamaktadır.

Bireysel taşımalara göre çeşitli üstünlüklere sahip olan toplu taşıma sistemi içinde, otobüs ve minibüsler önceden belirlenmiş hatlara ve sabit güzergâhlara sahiptir. Günümüzde sinyalizasyon sistemine dâhil edilen toplu taşım araçlarına geçiş üstünlüğü verilerek toplu taşıma sistemleri lehine düzenlemelere gidilmektedir. Karayolunda yer kaplama yönünden özel araçlara nazaran daha az yüzeyde daha çok yolcu taşınması bakımından da avantajları bulunmaktadır. Bu avantajların yanı sıra lastik tekerlikli toplu taşıma da birtakım sorunlar da yaşanabilmektedir. Otobüs, minibüs gibi araçlarda doluluk oranının azalması yolcu başına taşıma maliyetini artırmaktadır. Bu yüzden yolcu talebinin azaldığı saatlerde yüksek kapasiteli araçların hizmet vermesi verimliliği düşürmektedir.

Otobüslere nazaran minibüslerde güzergâh ve durak esnekliği bulunmaktadır. Bu sisteminin düzensiz çalısma saatleri ve dolunca hareket eden bir anlayışla hizmet vermesi ulaşım tercihlerini önemli ölçüde etkilemekte ve trafikte başta kontrolsüzlükle birlikte trafik sorunları meydana getirmektedir.

3.2.1.4. Yük taşımacılığı

Genellikle yük taşımacılığı kentlerimizde küçük girişimciliğe uygun mal hareketlerinin sonucu sık ve küçük parçalı gerçekleşmektedir. Sokaklarımızda apartman altlarında bakkal, kasap, manav ve diğer parekende ticaret birimlerinin ürün teminleri parçacı olarak yapılmaktadır. Tüm firmaların üretim ve dağıtım çıktıları kamyon ve kamyonetlerle yapılmakta olup, ürünler ticari birimlere

genelde günlük olarak servis edilmektedir. Şekil 3.8'de yer alan görselde kentsel yük taşımacılığına bir örnek yer almaktadır. Yük taşımalarının bu şekilde parçacı ve sık olarak gerçekleşmesi aynı zamanda kentin belirli alanlarında girişlerin belirli saatlerde yasak olması ticari birim sahiplerini daha küçük kapasiteli araç sahipliliğine yöneltmektedir.



Şekil 3.8. Kent içi yük taşımacılığı (Foursky Lojistik)

3.2.2. Demiryolu ulaşımı

Demiryolu taşımacılığı kent içi ulaşım sisteminde raylı sistem olarak isimlendirilmiştir. Kamu hizmeti olarak sunulan raylı ulaşım hizmetlerinin ilk yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri yüksek olduğu için kaynak yetersizliği raylı sistemler yatırımları için en temel sorunlardan biridir. Bu yüzden raylı taşıma hizmeti talebin çok olduğu hatlarda verilmekte olup, yatırım kararlarında talebin dikkate alınması gerekmektedir. Raylı sistem araçları çok yoğun nüfuslu bölgelerdeki ulaşım taleplerini karşılamak için en uygun taşıma araçlarıdır. Zamanla teknolojik ilerlemelere bağlı olarak raylı sistem araçlarında hızlı gelişmeler meydana gelmiş ve araçaların hız ve kapasiteleri artış göstermiştir. Günümüzde yüksek hızlı trenler ülkemizde de kullanılmakta olup, 300 km/saate

kadar yükselen hızları ile birçok kent merkezinin birbirine ualşım sürelerini oldukça azaltmıştır. Raylı sistem ulaşım araçlarının yolcu ve yük taşımacılığında kapasitesi fazla olduğundan yük-km ve yolcu-km başına tükettiği enerji miktarı da düşüktür.

3.2.2.1. Raylı toplu taşım

Büyük kentlerimizde nüfus yoğunluğuna bağlı olarak bazı güzergâhlarda yolculuk taleplerinin çok yüksek düzeylere ulaşmıştır. Yüksek yolculuk talepleri için en uygun ulaşım tercihinin raylı sistemler olmasına bağlı olarak kentlerimizde raylı sistemleri zorunlu kılmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda raylı sistemlere ait güzergâhlar ve araçlar arttırılmıştır. Şekil 3.9'da kentsel raylı sistem aracına ait görsel yer almaktadır.



Şekil 3.9. Kent içi raylı toplu taşıma (Şenlik, 2016)

Özellikle büyük kentlerimizde kentsel raylı sistemlerin uygulanmasında gecikilmiş olması en temel toplu taşıma sorunlarındandır. Son yıllarda raylı sistemler üzerinde yoğunlaşılmasına bağlı olarak gecikmiş ve birikmiş bir yatırım talebi gündeme gelmiştir. Yatırım talebinin artması ise sınırlı kaynaklar üzerindeki baskıyı arttırmıştır. Kentsel raylı sistemler ile alakalı olarak bilgi ve tecrübe yetersizliği bulunmaktadır. Bunun sebebi hızla gelişen teknolojilerden uzak olunması ve kentlerimizde çağdaş uygulamaların kısıtlı oluşudur. Kent içi raylı sistemler alanında raylı sistemlerin planlama, projelendirilme, yapım ve

işletmede uygulayıcı ve finans sağlayıcı konularda da birikim eksiklikleri mevcuttur.

3.2.3. Denizyolu ulaşımı

Maliyeti düşük, konfor ve güvenliği yüksek olan denizyolu ulaşımı, bir noktadan diğerine kesintisiz ulaşım sağlayamaması sebebi diğer ulaşım türlerine bağımlıdır. Bu yüzden denizyolu ulaşımının yaygın faaliyet alanı uluslararası düzeyde olup, kıyı kentlerinde sınırlı düzeyde yolculuk sayısının bulunduğu kent içi ulaşım türü olarak da karşımıza çıkmaktadır.

Kentlerin yerleşim alanlarının kıyılardan içerlere doğru genişlediği tarihsel süreçte karşımıza çıkmaktadır. Bu gelişmeyle birlikte karayolu altyapısı da geliştirilmiş olup, altyapı ile doğru orantılı olarak otomobil ve lastik tekerlekli toplu taşım türlerinin sağladığı aktarmasız ulaşım hizmeti de gelişmiştir. Karayollarında ki gelişme denizyolu ulaşımını tercih eden kentli nüfusun giderek azalmasını ortaya çıkarmıştır. Yolcu sayısının azalması ekonomik sebeplerden kaynaklanan şehir içindeki sefer ve hat sayısını azaltmış bu kısır döngü ile birlikte denizyolu ulaşımı giderek kent içi ulaşımdaki rolünü yitirmeye başlayarak tarihi ve turistik bir seyahat olma özelliği ile karşımıza çıkmaya başlamıştır.

3.3. Kent içi Karayolu Ulaşımı

Kent içi karayoluna olan talep sürekli artan bir eğilim göstermektedir. Bunun nedeni öncelikle yolcunun seyahate başladığı yer ile bitirdiği yere daha yakın taşıma yapabildiğinden kaynaklanmaktadır (Aydoğdu, 2006). Karayolu ulaşımının güvenli hale getirilmesi artan bu eğilimin gerekliliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Karayolu ulaşımı diğer modların yanı sıra düşük kapasiteye ve sık sefer düzenleme imkânına sahiptir. Daha esnek hareket olanağı sağlamakta olup, daha düşük maliyetlidir.

Karayolu ulaşımının avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Her türlü araziye uyum sağlanabilmesi yönüyle ulaşım ağının kurulmasının kolay ve

engellerin az olması, daha az ilk yatırım gerektirmesi, yolculuk ve yük taşımacılığında tek vasıtayla ulaşımın sağlanabiliyor olması avantajları arasındadır. Uzun mesafedeki taşımalar ile kitle taşınmasına elverişli olmaması, trafik problemleri, fazla yakıt tüketimi, çevresel kirlilik, yüksek kaza riskleri, birim taşıma maliyetlerinin yüksek olması da karayolunun dezavantajlarıdır.

3.3.1. Karayolu trafiğini oluşturan elemanlar

Karayollarında trafik hacmi ve kapasitesi trafiği oluşturan elemanlardır. Karayolu trafik hacmi, karayolu güzergâhının belirli bir kısmında anlık olarak bulunan taşıt sayısıdır. Trafik hacmi, trafik yükünün niceliksel olarak çeşitli yöntemlerle genellikle bir saat gibi belirli bir zaman aralığı için ölçülmesi sonucu belirlenir.

Karayolu kapasitesi ise, belirli bir karayolu güzergâhının fiziksel ve geometrik özellikleri gereği taşıyabildiği trafik hacim miktarı olarak tanımlanabilir. Karayolu kapasitesi ayrıca belirli bir yol kesiminden trafik yük koşulları altında belirli bir zaman periyodunda geçebilecek maksimum taşıt ve/veya yolcu sayısı olarak tanımlanmıştır (HCM, 2000).

3.3.2. Ulaşım performans kriterleri

Performans, belirli amaçlara yönelik planlı etkinlikler sonucu nicel ya da nitel olarak değer kazanmış bir kavramdır (Eraslan ve Algün, 2005). Projelerde performans ölçümü ile konu özelinde belirli kriterlere bağlı olarak projenin hedefleri doğrultusunda işleyiş seviyesi ve ne kadar başarılı ilerleme olduğu ortaya koyulmaktadır. Literatürde kavşak performansını analiz etmek için aşağıda sıralanan parametreler sıklıkla kullanılmaktadır.

- Ortalama taşıt gecikmesi,
- Ortalama kuyruk uzunluğu,
- Ortalama hız,
- Emisyon salınımı,
- Yakıt tüketimi.

Gecikme, kuyruk uzunluğu ve hız parametreleri seyahat süresine doğrudan etki eden parametrelerdir. Diğer taraftan literatür araştırmalarında emisyon salınımı ve yakıt tüketimi gibi trafiğin olumsuz çevresel etkilerinin değerlendirilebileceği parametreler de öne çıkmaktadır.

Seyahat süresi, bir taşıt için kavşak ya da koridor boyunca başlangıç noktası ile bitiş noktası arasındaki mesafeyi aldığı süredir.

Gecikme, taşıtların, kavşaktaki diğer taşıtlar, kavşak geometrisi ve sinyalizasyon sistemleri nedeniyle, kavşakta kaybettiği zaman olarak tanımlanmaktadır. Gecikme parametresi, yavaşlama- durma ve hızlanma gecikmesi olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır (Çakıcı, 2020).

Kuyruk uzunluğu, kavşak yaklaşım kollarında yer alan taşıtların hareket etmeden durduğu durumlarda oluşturdukları mesafedir.

Kent içi ulaşım güzergâhlarında özellikle kavşak noktalarında meydana gelen trafik kazaları ve trafik sıkışıklığı gibi problemler kavşak performansını oldukça düşürmektedir. Bu problemlerin çözümü ile kavşak performansını artırmak için karar vericiler çözüm yolları aramaktadır.

3.3.2.1. Hizmet düzeyi

Kavşaklar için işleyiş seviyesini gösteren ana husus kavşağın yol hizmet düzeyidir. Yol hizmet düzeyleri (Level of Service, LOS) A ile F arasında bir ölçeklendirme ile belirlenir (Traffic Engineering Handbook; TEH, 2010). A hizmet düzeyi en iyi düzeydeki kullanım koşullarını temsil ederken, F hizmet düzeyi (LOS F) en kötü düzeydeki kullanım koşullarını temsil eder. Bu koşullar yolculuk süresi, manevra yapabilme kabiliyeti, gecikme değerleri ve sürücüler için sağlanan konforu içermektedir.

A düzey, trafik akımında, sürücüler yol koşullarından neredeyse hiç etkilenmezler, trafik akımı içinde hız bakımından hareket serbestliği vardır.

B düzey, A seviye gibi serbest akım hızında ya da çok yakın hızlarda yolculuğa imkân tanır; ancak sürüş esnasında diğer kullanıcıların varlığı hissedilmeye başlanır. Hızı belirleme özgürlüğü vardır ancak, yolda manevra yapma kabiliyeti A düzeyine göre azalmaktadır. A ve B düzeylerinde, meydana gelecek trafik kazası gibi faktörlerin trafik akımına etkisi çok azdır.

C düzey yolculuk serbest akım hızında ya da yakın hızda devam edilirken, şerit değiştirme gibi manevralar sınırlanır bu yüzden sürücüler tarafından şerit değiştirme manevraları oldukça dikkatli yapılmaktadır. C düzeyinde konfor genel olarak anlamlı bir düzeyde azalmaktadır. Trafik kazası gibi bir olay meydana geldiğinde, kuyruklar oluşmakta ve gecikmeler yaşanmaktadır.

D düzeyinde trafik sorunlarının karşımıza çıktığı görülmekte olup, hızlar, trafik yoğunluğuna bağlı olarak biraz düşmekte ve manevra yapma özgürlüğü sınırlandırılmıştır. Trafik kazaları gibi olaylar neticesinde yol üzerinde uzun kuyruklar oluşmaktadır.

E düzeyi trafik talebinin karşılanamadığı akımın neredeyse durma seviyesine yaklaştığı düzeyi ifade eder. Genel olarak, manevra hareketi yüksek oranda sınırlı ve sürücüler için konforsuz bir yolculuk, fiziksel ve psikolojik rahatsızlıklar meydana gelmektedir.

F düzeyi, trafik akımında aksaklık olduğu anlamına gelen hizmet düzeyini ifade eder. Taşıtların trafik hızı oldukça düşük hızlara iner ve genellikle de tamamen durma noktasına gelirler. Bu durma noktası F düzeyin en belirgin özelliğidir. HCM (Highway Capacity Manual,2010) F hizmet düzeyini tanımlasa da çoğu uygulayıcı, araştırmacı ve akademisyenler tarafından bir hizmet düzeyi olarak değil, genellikle “F Durumu” olarak bilinir; çünkü bu hizmet düzeyinde, bir hizmet söz konusu değildir (Şahin 2012). Hizmet düzeylerinin belirlenmesi için kavşak performanslarındaki çeşitli kriterler değerlendirmekte olup, bu kriterlerden öne çıkanlar, seyahat süresi, taşıt gecikmesi, kuyruk uzunluğu ve hız değerleridir. Şekil 3.10’da hizmet düzeyleri ve özellikleri yer almaktadır.

Hizmet Seviyesi	Ortalama Hız km/sa	Takipte Geçen Zaman Yüzdesi	Maksimum Akım Oranı oto/sa	Trafik özellikleri
A En Yüksek	90 ve üstü	35~40	490	Trafik Yoğunluğu az dolayısıyla serbest akım hali vardır.Diğer Taşıtların varlığından dolayı manevra imkanlarında kısıtlama yok denecek kadar azdır.
B Yüksek	80	50~55	780	Trafik akımı kararlı akım görünümündedir. Hız, sollama vb. hususlarda sürücü davranışlarındaki serbestlik makul bir ölçüdedir.
C Orta	70	65~70	1190	Kararlı akım olmakla beraber hız ve manevra imkanları trafik yoğunluğundan daha çok etkilenir. Sürücülerin kendi hızlarını seçmede veya öndeki taşıtı geçmedeki serbestlikleri kısıtlanmıştır.
D Düşük	60	80~85	1830	Trafik akımı kararsız akıma yakındır. Sürücülerin manevra serbestlikleri az, konfor düşük fakat kısa mesafeler için kabul edilebilir ölçülerdedir.
E En Düşük	<=60	>=85	3200	Trafik akımında kararsızlık vardır ve kısa süreli duraksamalar görülebilir. Yol kapasitesinde veya kapasiteye yakın hacimde çalışır.
F Yetersiz	Yolun Kapasitesi dolmuştur.			Trafik hacmi yolun kapasitesini aşmıştır ve zorlamalı akım söz konusudur. Sık sık kısa ve uzun süreli duraksamalar görülebilir.

Şekil 3.10. Hizmet düzeyleri ve özellikleri (Highway Capacity Manual, 2000)

Genellikle maliyetler ve çevresel etkiler değerlendirilerek yollar A hizmet düzeyi standartalrında tasarlanmayıp, finansal kaynaklar göz önünde bulundurularak kullanıcıların taleplerine cevap verecek düşük düzeyde tasarlanırlar.

3.3.2.2. Gecikme analizi

Gecikme önemli bir performans ölçüsü olup, kavşaklardaki hizmet düzeyini belirlemek için kullanılan temel ölçüt olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşıtların kavşaktan öncesi yavaşlaması, kavşak yaklaşımında durarak zaman kaybetmesi, kuyruk boyunca seyr etmesi ve hızlanması için harcanan süre kontrol gecikmesi kapsamındadır.

3.3.2.3. Durma sayıları

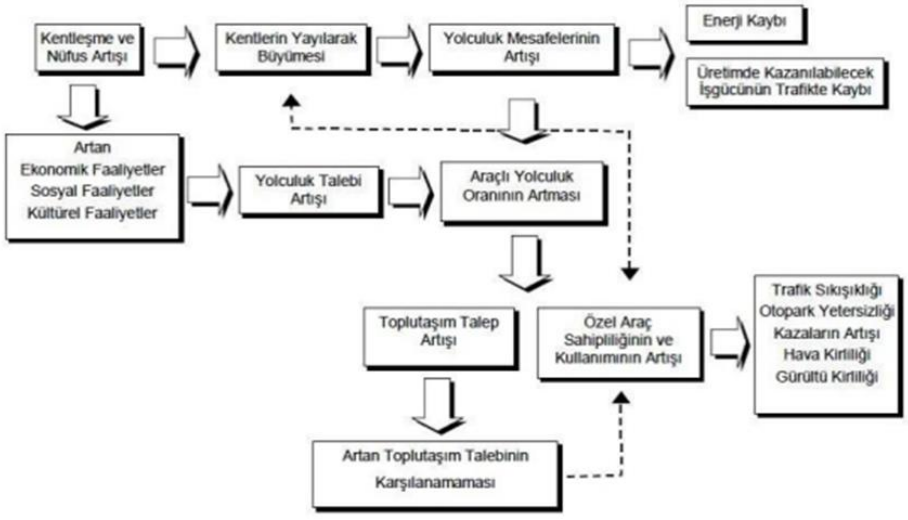
Seyahat süresince taşıtların durma sayılarının toplam araç sayısına bölünmesi ile ortalama durma sayısı ölçütü değerlendirilir. Durma sayıları yol performansının değerlendirilmesinde ve yol kullanım maliyetlerinin hesaplanmasında yararlıdır. Durma gecikmeye neden olduğundan yakıt tüketimi ve araçlardaki yıpranmalardan kaynaklanan maliyetleri ortaya çıkarır.

3.4. Kent içi Ulaşım Sorunları

Kentlerdeki yolculuk sayılarında meydana gelen artışların sebepleri ekonomik, sosyal ve kültürel faaliyetler sonucu nüfus artışları ve buna bağlı olarak kişi başına yapılan yolculuk sayılarındaki artışlardır. Kent içi ulaşımın boyutlarının artması her geçen gün yayılan kentsel alanlardaki yolculuk mesafelerini arttırmış ve çoğunlukla yaya yolculuğunun yerini motorlu taşıt yolculuğu almıştır.

Yoğun nüfus ve aynı paralelde insani faaliyetlerin artması bu trafiğe sebep olmaktadır. Kent içi ulaşım hızla büyüyerek artan yolcu ve mal hareketlerini kapsamaktadır. Trafiğe çıkan araç sayılarındaki artışlar ve insanların ihtiyaçları kent içi ulaşım taleplerini arttırmaktadır. Kent içi ulaşım sistemleri ise bu gelişmelere cevap veremediğinden, kentlerdeki ulaşım ve trafik sorunları katlanarak artmaktadır.

Kent içi ulaşım problemlerinin çözümü kentsel yaşam kalitesinin arttırılması için önemlidir ve bu konuda sağlıklı çözümlere ihtiyaç vardır. Kentlerde yaşayan insanlar, zamanla artan motorlu araç kullanımından ve bunun meydana getirdiği trafikten negatif yönde etkilenmişlerdir. Yolculuk mesafelerinin artması, trafikte geçirilen sürede ekstra maliyetlere neden olmakta ve ülke ekonomisinde kayıplara yol açmaktadır. Şekil 3.11'de kentleşme ve ulaşım sistemi ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Kentleşme ve ulaşım sitemindeki gelişmeler (Candan, 2003)

3.4.1. Hava kirliliği

Motorlu araçlardan kaynaklanan emisyonlar şehirlerde hava kirliliği probleminin en temel sebebidir. Motorlu araçlar enerji kaynağı olarak fosil yakıtları kullanmakta ve başta CO2 olmak üzere pek çok farklı kirletici madde üretmektedirler (Greene, 1997; Tiwari ve diğ., 2011, Frumkin, 2002). ABD'de 2007 verilerine göre motorlu araçlar havaya salınan nitrojen oksidin %57'si, karbon monoksitin %68,4'ü, PM10 partikül maddenin %2,9'u, PM2.5 partikül maddenin %11,8'i ve uçucu organik bileşiklerin (benzen, formaldehit, siyenit, vs.) %33,9'una neden olmaktadır (Black, 2010). Hava kirliliği ve zararlı gazlar insan sağlığı üzerinde solunum yolu hastalıkları, kalpdamar hastalıkları, kanser gibi pek çok olumsuz etkiye neden olmaktadır (McCubbin ve Delucchi, 1999).

3.4.2. Küresel atmosfer etkileri

Atmosferde bulunan CO2, metan, su buharı gibi gazlar güneşten gelip yansıyan ışınları tutmaktadır. Sera etkisi olarak adlandırılan bu durum normal şartlarda dünyada hayatın devam etmesi için gereken ısı miktarının tutulmasını sağlar (Black, 2010). Fosil yakıtlarla çalışan motorlu araçların kullanımı CO2 ve sera gazı salımını arttırmaktadır. Atmosfere bırakılan CO2 ve sera gazı miktarının fazlalaşması sera etkisinin artmasına ve daha sıcak bir iklim yaratarak küresel ısınma sorununun oluşmasına neden olmaktadır (Black, 2010). Ayrıca NOx ve SOx, asit yağmurlarının oluşumuna sebep olmakta ve çevreye zarar vermektedir (Greene, 1997).

3.4.3. Gürültü kirliliği

Motorlu araçlar ve artan trafik yoğunluğunun yarattığı en önemli sorunlardan biri de gürültü kirliliğidir. Avrupa Birliği ülkeleri içinde yapılan bir araştırmaya göre 77 milyon insanın (toplam AB nüfusunun %22'si) gün içinde maruz kaldığı ulaşımdan kaynaklı ses düzeyi, işitsel konfor sınırı olan 65 desibelin üzerindedir (Miedama, 2001). Araç gürültüsü genellikle motor, egzoz ve korna sesi ile sürtünmeden kaynaklanmaktadır. Gürültü kirliliği hem stres ve davranış

bozukluğu gibi psikolojik sorunlara hem de kalp rahatsızlıkları gibi fizyolojik sorunlara neden olabilmektedir (Black, 2010).

3.4.4. Trafik sıkışıklığı

Günümüzde trafik sıkışıklığı büyük kentlerin en büyük sorunlarından biridir. Günün belirli saatlerinde kent merkezlerinde trafiğin tamamen kilitlendiği görülmektedir. Trafik sıkışıklığından dolayı araçlar çok düşük hızlarda ilerlemekte, böylece hem yakıt verimliliği düşmekte hem salınan emisyon miktarı fazlalaşmakta hem de insanların ulaşım için harcadıkları zaman çok artmaktadır (Black, 2010). Araç sayısı ve buna bağlı olarak trafik arttıkça yeni yollar yapılmakta veya yol kapasitesi arttırılmaktadır. Yeni yapılan yollar talebini oluşturmakta ve trafik yükünü artırmaktadır. Bu artış sera gazı salımında, gürültü kirliliğinde ve kazalarda artışlara sebep olmaktadır.

3.4.5. Yol güvenliği ve trafik kazaları

Motorlu araç kullanımının hızla artması, fakat buna karşın ulaşım sistemlerinin ve yol kullanıcılarının bu artışa hazır olmaması motorlu araçlardan kaynaklanan trafik kzalarını arttırmaktadır.

3.4.6. Kentsel alanın verimsiz kullanımı

Kentler yaşamın devam edebilmesi için kentsel kullanımları ve doğal çevreyi bir denge halinde kullanmak zorundadır. Bu yüzden doğal kaynakları da koruyarak kentsel donatıların yerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak özel araç odaklı kullanım kararlarının alınması kentsel alanın büyük bir kısmının yollara ayrılmasına neden olmaktadır (Black, 2000). Hızlı kentleşme, plansız ve çarpık yapılaşma, kontrol dışı mekânsal büyümenin en önemli sonucu ulaşım ve trafik sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.4.7. Sınırlı petrol kaynakları

Tüm dünyada ulaşım sektörü çok yüksek oranda yenilenemez enerji kaynaklarından olan petrolü kullanmaktadır ve bu petrol sınırlı bir kaynaktır. Plansız ve kontrolsüz kentsel büyüme, ulaşım ve çevre sorunlarının da kaynağını oluşturmaktadır. Uzayan seyahatler ulaşımın toplumsal maliyetlerinden biridir. Ulaşım mesafelerinin artmasıyla kentlerin bazı kesimlerinde kent içi seyahat, kentler arası seyahatten daha uzun zaman almaktadır. Uzayan seyahat süreleri yakıt tüketimindeki artışa neden olmaktadır.

3.5. Ulaşım Projeleri Tasarım İlkeleri

Tasarım anlamına gelen dizayn (design) sözcüğü Latince disignare sözcüğünden gelmekte olup, Rönesans'tan sonra 'tasarım' sözcüğü Fransızca dessiner, İtalyanca disegno'dan İngilizce'ye girmiştir. Sözcük, bugün çizim, eskiz ve aynı zamanda planlama ve tasarlama anlamlarına gelen şeyleri içermektedir (Barnard, 2002). Tasarım; kentin dönüşümü ve yeniden kurgulanmasıdır. Ama tasarım, kenti var eden bütün detayların, mesela köprülerin, yolların, kaldırımların, park ve bahçelerin dizaynedilerek ortaya çıkma meselesidir (Gezgin, 2007).

Tüm alanlarda tasarım yapılmakta olup, her alanda tasarıma ait belli temel tasarım ilkeleri bulunmaktadır. Başarılı bir tasarım oluşması için konu özelinde tasarım ilkeleri belirlenerek, yaratıcılık ile birleştirilmeli ve uygulanmalıdır. Ulaşım projeleri içinde tasarım ilkeleri sorun tespiti ve çözüm yöntemlerine yönelik olarak belirlenmekte ve genelleşmektedir.

Kent içi ulaşım, kentli nüfusun artarak devam eden yolcu ve mal hareketlerini içermektedir. Kentlerin yayılarak büyümeleri ve otomobil sahipliliği yolculuk mesafelerinin ve taleplerinin artmasına sebep olmaktadır. Ulaşım sistemleri bu büyümeyle birlikte ilerleyemediğinden, kentlerde ulaşım ve trafik problemleri ortaya çıkmakta ve artarak devam etmektedir.

Kentli nüfus, zamanla artan motorlu araç kullanımından kötü yönde etkilenmiştir. Ulaşımda yaşanan sorunlar, trafik sıkışıkları, trafikte oluşan zaman kayıpları, maliyetler ve bu sorunlara bağlı bedensel ve psikolojik etkiler kişilerin yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir. Yolculuk mesafelerinin artması ile trafikte geçirilen sürede de artış ortaya çıkmaktadır. Bu durum maliyetleri de arttırmakta ve bu maliyetler tüm ülke ekonomisi için kayıplara yol açmaktadır. Ortaya çıkan olumsuz sonuçlar en fazla, birden çok yolun kesiştiği noktalar olan kavşaklarda meydana gelmektedir. Yapılan araştırmalar sonucu kent içi ulaşım ağında meydana gelen gecikmelerin %70'den fazlasının kavşaklardaki zaman kayıplarından kaynaklandığı, kazaların da %40-60'ının kavşaklarda gerçekleştiği görülmektedir (Yayla 2004).

Kent içi ulaşım problemlerinin çözümü kentsel yaşam kalitesinin arttırılması için çok önemli olup, sağlıklı ve kalıcı çözümlere ihtiyaç vardır. Bu çözümler kapsamında üretilen tüm ulaşım projelerinin en iyi hizmeti vermek amacıyla belli ilkelere dayandırılması gerekmektedir. Ulaşım sorunlarının en sık görüldüğü birimin kavşak noktaları olması sorunu temelde ele almamız gerektiğini ortaya koymakta olup bu çalışma kapsamında kavşak tasarım ilkeleri araştırılmıştır.

Mevcut durumda faaliyette olan kavşaklarda iyileştirme ve yeni yapılacak kavşakların sürdürülebilir faaliyet göstermesi için en iyi çözümü üretme amacı ile bazı ilkeler kavşakların temel tasarım ilkeleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlar güvenlik, yeterli hizmet düzeyi, ekonomi ve çevreye duyarlılıktır (Camcı 2019).

Kavşakların düzenlenmesinde; trafik devamlılığının sağlanması, güvenliğin artırılması, hızın uygun seviyede tutulması, gecikmelerin azaltılması, yeterli hizmet seviyesinin sağlanması, kullanıcı işletme maliyetlerinin düşürülmesi amacı güdülmelidir. Bu nedenle kavşak planlamasının güvenlik, konfor, kapasite faktörleri göz önünde bulundurularak belirlenen temel ilkeleri aşağıdaki şekildedir (Murat, Y. Ş., 2012).

- Sürücüyü şaşırtacak karışık düzenlemelere gidilmemelidir.
- Trafik akımlarındaki kesişme ihtimalleri en az seviyede tutulmalıdır.
- Kavşak yaklaşım kollarında güvenlik faktörüne dikkat edilmelidir.
- Kavşaktan geçen ana trafik akımı en az sapan akım olmalıdır.
- Kavşak geçiş hızlarında kontrol fiziki yapılar ile sağlanmalıdır.

3.5.1. Kavşak tasarımını etkileyen faktörler

Kavşak tasarımında; insan faktörü, trafik faktörü, fiziksel faktörler, ekonomik faktörler, sosyal faktörler ve fonksiyonel kavşak alanı gibi faktörler bulunmaktadır.

3.5.1.1. İnsan faktörü

Kavşak tasarımcılarının tasarlayacakları kavşağı kullanan sürücü ve yayaların günlük hareket ve davranışlarını dikkate almaları gerekir. Yolda karşılaşılan durumlara göre sürücülerin ve yayaların karar verme yetenekleri ve reaksiyon süreleri tasarımın önemli birer parçasıdır. Örnek olarak yaşlı veya engelli bireylerin yoğunlukla kullandığı bir yaya geçidindeki sinyalde geçiş süresi için yeterli sürenin olduğundan emin olunmalıdır.

3.5.1.2. Trafik faktörü

Kavşak tasarımını etkileyen trafik faktörleri, trafik yoğunluğu, zirve saat trafiği, taşıt boy ve nitelikleri, taşıt hızları, trafik kazaları olarak özetlenebilir.

3.5.1.3. Fiziksel faktörler

Kavşak alanının şekli, yerleşim alanlarının varlığı ve güvenlik parametreleri, yaya ve taşıt uyarı levhaları ve ışıklandırma araçları ile yayalara özel yollar kavşak tasarımlarında rol oynayan önemli fiziksel etmenlerdir.

3.5.1.4. Ekonomik faktörler

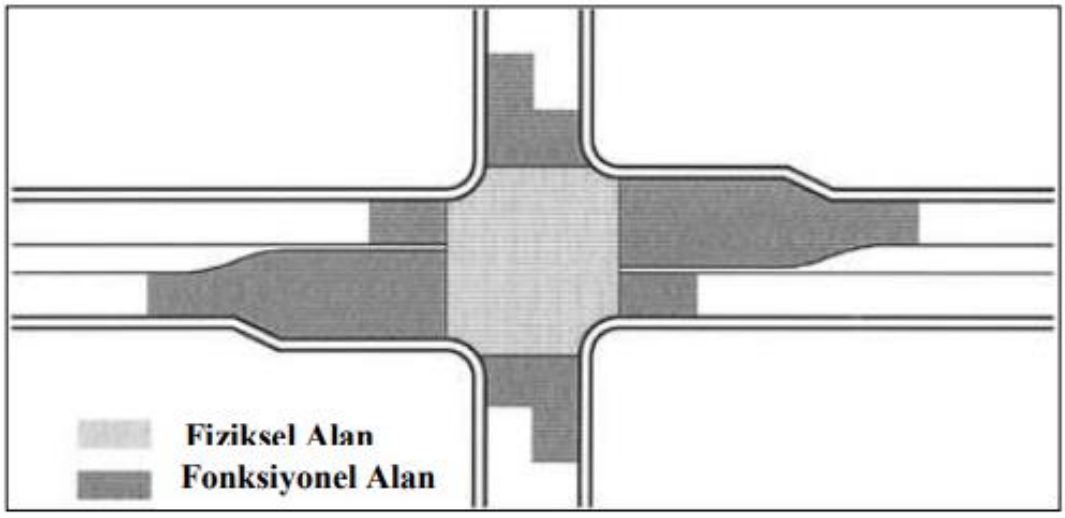
Kavşak alanının kamulaştırma maliyetleri, kavşağın inşaat, bakım ve işletme maliyetleri kavşak tasarımlarını doğrudan etkilemektedir.

3.5.1.5. Sosyal faktörler

Demografik yapı ve kentlilerin sosyal durumları kavşak tasarımını etkileyen sosyal faktörlerdir.

3.5.1.6. Fonksiyonel kavşak alanı

Kavşak tasarımında etkili olan son unsur fiziksel ve fonksiyonel kavşak alanlarıdır. Yolların kesiştiği bölge fiziksel alanı oluşturur. Fonksiyonel alan ise, fiziksel alanı da içine alan, yol platformunun kavşak nedeniyle değişim gösterdiği, kavşak giriş ve çıkışı arasında kalan tüm bölgeyi (yardımcı şeritler, adalar, vs.) kapsamaktadır. Şekil 3.12'de fonksiyonel kavşak alanı görsel olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.12. Fonksiyonel kavşak alanı gösterimi

4. SİMÜLASYON VE MODELLEME

4.1. Simülasyon Tanımı

Simülasyon yönteminin kökeni 1940 yılı sonlarında John Von Neumann ve Stanislaw Ulam'ın çalışmalarına dayanır. Nötronların hareketlerini inceleyen bu iki bilim adamı, karşılaştıkları matematiksel olarak çok karmaşık ve deneysel olarak çözümü çok pahalı olan nükleer savunma problemlerini çözmek için Monte Carlo Analizi adı altında bir yöntem geliştirmişlerdir. (Kavcar,2004)

Çok hızlı ve yetenekli elektronik hesaplayıcıların gelişmelerine paralel olarak gelişen bilgisayar simülasyonu ile artık, modellemeleri olanaksız, zor ya da çok pahalı olan sistem, süreç ve kavramların gerçeğe uygun bir biçimde ele alınmalarına olanak sağlamış bulunmaktadır. Hatta sadece mevcut sistemlerin değil, ilk defa planlanmakta olan sistemlerde dahi ortaya çıkacak olan sorunları önceden tahmin etmek, yani gerçek olaya geçmeden önce doğabilecek sorunları görmek ve gerekli önlemleri almak bu teknik ile mümkün olabilmektedir (Çelik, 1987).

Yapılan bir tez çalışmasında, 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 (Yılmaz, 2006).

Yapılan bir diğer tez çalışmasında, trafik sistemlerinin önemli bir parçası olan arterlerin yeniden yapılandırılması için değişik senaryoların üretilerek en uygun sistemin hayata geçirilmesine yönelik simülasyon tekniği ile doğru karar verme hedeflenmiştir (Ocakdan, 2010).

Bir diğer tez çalışmasında; simülasyon yöntemi kullanılarak satış tahminlerinin nasıl yapılacağını ve bütçenin temelini oluştururken simülasyon tahminleri ile nasıl bütçe hazırlanacağı anlatılmıştır (Kavcar,2004).

Başka bir çalışmada, İstanbul'da kent içinde faaliyet gösteren deniz otobüsü filosu ve iskeleleri ile ilgili planlama yapılırken simülasyonun etkin bir araç olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve tez kapsamında kent içi tüm şebekeyi kapsayan bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model, farklı senaryolarla daha önce yapılmış çalışmaların analizinde kullanılmıştır. Sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmış, deniz otobüsü planlamasında ileride neler yapılabileceği tartışılmıştır(Aydın,2007).

Simülasyon çalışmalarında model tasarımı ve senaryolar olmak üzere iki adım bulunmaktadır. Model tasarımı sistemin tüm önemli durumlarını temsil etmektedir. Mevcut durumun tam olarak sisteme geçirilmesi ile gerçek bir model kurulur ve senaryolar adımı ile test etme süreci başlar.

Davranışı daha önceden tahmin edilebilen ve gelecekte ne tür davranışlara gireceği bilinen modeller deterministik modellerdir. Sistemdeki değişkenlerin değerlerini alırlarken belirli yapıların geçerli olduğu ve olasılık kurallarının bu yapıda rol oynamadığı durumlarda deterministik benzetim modellerine başvurulur (Özdamar, 1998). Bazı olayların ortaya çıkışının ne kadar olası olduğuna ilişkin bazı ifadeler söylenebilmesine rağmen, eğer bir sistemin davranışı bütünüyle tahmin edilemiyorsa stokastiktir. Çoğu sistem stokastik olarak davranır ve bu yüzden stokastik öğeler içeren modeller yoluyla benzetimi yapılmalıdır (Eren, 2010).

4.1.1. Simülasyonun Avantajları ve Dezavantajları

Simülasyon oldukça yaygın olarak kullanılmakta olup, çeşitli nedenlere dayalı olarak problem çözmede güçlü bir yardımcıdır. Simülasyon kullanımının birçok avantajı olduğu gibi dezavantajları da bulunmakta olup bunlar aşağıda sıralanmıştır.

Avantajların başlıcaları;

- Karar vericilerin mevcut trafiğin durumunu analiz etmesini sağlar.
- Yeni stratejiler, farklı parametreler veya yeni koşulların denenmesine imkân sağlayarak incelenen sistem ile ilgili performans değerlendirmesini ve yeni koşullar için tahmin yapılmasını sağlar.
- Alternatif tasarım projelerinin karşılaştırılmasını sağlar.
- En iyi performansı sunan senaryonun seçilmesini sağlar.
- Zaman tasarrufu sağlar.
- Kavşak performansını artırmaya yönelik harcamaların en aza indirilmesini sağlar.
-

Dezavantajların başlıcaları;

- Simülasyon yazılımları ve model oluşturma süreci pahalıdır.
- Modelleme sürecinde kalibrasyon zordur ve uzmanlık gerektirir
- Problem için en iyi çözümü sunmaz, alternatifleri kıyaslar.
- Modelin kabul edilebilirliği, gerçeğin tam olarak yansıtılması ile mümkündür.

4.2. Mikrosimülasyon Yöntemi

4.2.1. Mikrosimülasyon tanımı

Ulaşım modellemede, İstanbul Ana Ulaşım Planı, İstanbul Geneli Toplu Taşıma Optimizasyonu Modeli, Talep Yönetimi Modelleri makro ölçek, geometrik düzenleme tasarımlarını kapsayan Ön Proje, Uygulama Projesi gibi detay içeren planlar mikro ölçek simülasyon kapsamlarına girmektedir. Simülasyon; bir sistemin neden sonuç ilişkilerine bağlı olarak sistem davranışlarının izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir. Simülasyonun amacı taşıtların sistem içindeki davranışlarını elde ederek kıyaslamak ve görsel olarak da ortaya sunmaktır. Mikro-simülasyon ise; otoyol veya kent içi ulaşım sistemlerinde, mevcut trafik ve öneri projelerin performansını değerlendirmek için, mikro zaman aralıklarıyla taşıt hareketlerinin modellenmesidir. Mikro-simülasyon da modelci, ulaşım plancısı tarafından belirlenen seyahat modelini işletir. Yolcu ve araçların

hareketlerini, kesişimleri ile oluşan kavşakları modelleyerek, trafik dinamiklerine ait birçok bilgiyi elde edebilmektedir.

Mikrosimülasyon yazılımları ile;

- Kavşağın geometrik düzenlemesi
- Trafik hacim artışı, Ağır taşıt sayısı
- Parklanma
- Toplu taşıma güzergahı ve durak yerleri, Varsa toplu taşıma önceliği,
- Kavşak sinyalli ise sinyal süreleri,
- Arterin ortalama hızı,

gibi veriler kullanılarak kavşağın mevcut çalışma şekli ve yeni bir tasarımımız varsa; bu tasarımın bugün ve gelecekteki durumunun tespiti ve gözlemi yapılır.

Simülasyon programları ile kazanılacak avantajları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

- Karar vericilerin mevcut trafik durumunun yorumlanmasını sağlamak
- Trafik sorunlarının çözümü için farklı senaryoların modellenmesini sağlamak,
- Senaryoları uygulamadan önce proje seçimini yapacak kurum ve kişilere değerlendirme imkânı sunmak,
- En iyi işleyiş sonucunu sunan senaryonun tespit edilmesini sağlayarak seçim kolaylığını sağlamak,
- Kavşak iyileştirmesini artırmaya yönelik projeler için maliyetleri en aza indirebilmeyi sağlamak,
- Zaman tasarrufu.

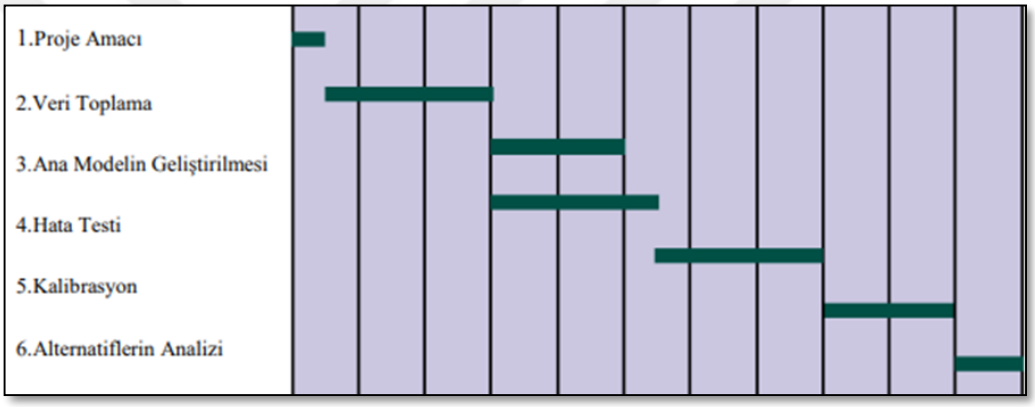
Mikro-simülasyonun kapsamında aşağıdaki konular yer almaktadır.

- ✓ Kavşak Geometrileri Karşılaştırılması
- ✓ Ağ Ve Hareket Modelleri
- ✓ Kapasite Analizi
- ✓ Sinyal Sistemleri
- ✓ Anayol / Otoyol Simülasyonu
- ✓ Ulaşım Geliştirme Planlaması

- ✓ Trafik Yönetimi
- ✓ Toplu Taşıma Simülasyonu
- ✓ Yaya Simülasyonu

Mikrosimülasyon çalışmasına ait birbiri ardına ilerleyecek aşamaların zaman ilişikileri bulunmaktadır. Veri toplama, modelin gelişitirilmesi, hata testi ve kalibrasyon sırası ile ilerlemelidir. Model kalibre edilmeden alternatiflerin analizi başlamamalıdır.

Uygulama aşamalarını içeren örnek bir zaman çizelgesi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Bir mikrosimülasyon çalışması için zaman çizelgesi örneği (Öğütveren,2019)

4.2.2. Kullanılan alanlar

Mikro-simülasyon analizi bir amaç değil karar vericilerin en doğru proje alternatifini seçmesi için bir araçtır. Herhangi bir trafik düzenleme projesi için, geri dönüşü olmayan ya da çok büyük maliyetli olacak hataların sahada yapılmasını engellemektir. Mikro-simülasyonun kapsamında aşağıdaki konular yer almaktadır.

- Kavşak Geometrileri Karşılaştırılması
- Ağ Ve Hareket Modelleri
- Kapasite Analizi
- Sinyal Sistemleri

- Anayol / Otoyol Simülasyonu
- Ulaşım Geliştirme Planlaması
- Trafik Yönetim Sistemi
- Toplu Taşıma Simülasyonu
- Yaya Simülasyonu

Bugün, Aımsun, Mıtsım, Paramics ve Vıssım en çok kullanılan mikro simülasyon yazılımlarıdır. Aimsun güvenli mesafe modeli, Mitsim GHR modeli, Paramics Fritzsche modeli ve Vissim ise psiko-fiziksel araç takip modeli esas alınarak geliştirilmiştir (Öğütveren, 2019). Şekil 4.2'de bazı kriterlere göre trafik simülasyon yazılımlarının karşılaştırılması yer almaktadır.

İSİM	MİKROSKOBİK	MEZOSKOBİK	MAKROSKOBİK	DETERMİNİSTİK	STOKASTİK	KENTİÇİ	OTOYOL	BİRLEŞİK[8]
NETSIM	X				X	X		
NETFLO 1		X			X	X		
NETFLO 2			X	X		X		
FREFLO			X	X			X	
ROADSIM	X				X	X		
FRESIM	X				X		X	
CORSIM	X				X			X
INTEGRATION		X			X			X
DYNASMART		X		X		X		
TRANSIMS		X			X			X
AIMSUN 2	X				X			X
DRACULA	X				X	X		
SITRA-B+	X				X	X		
PARAMICS	X				X			X
VISSIM	X				X			X

* Kentiçi+otoyol

Şekil 4.2. Bazı trafik simülasyon yazılımlarının karşılaştırılması (Öğütveren, 2019)

4.3. Modelin Hazırlanması ve Kalibrasyonu

Mikrosimülasyon, aldığımız sonuçları düşünecek olursak, zengin bilgi içeriğinin yanı sıra, fazlaca zaman ve detaylı kaynak gerektiren bir çalışmadır. Mikro-simulasyon 4 aşamadan oluşmakta olup, Şekil 4.3'te şema olarak gösterilmiştir. Modeli oluştururken veri toplama, modelin kalibrasyonu, animasyonları oluşturma analiz ve değerlendirme aşamaları tamamlanmalıdır.



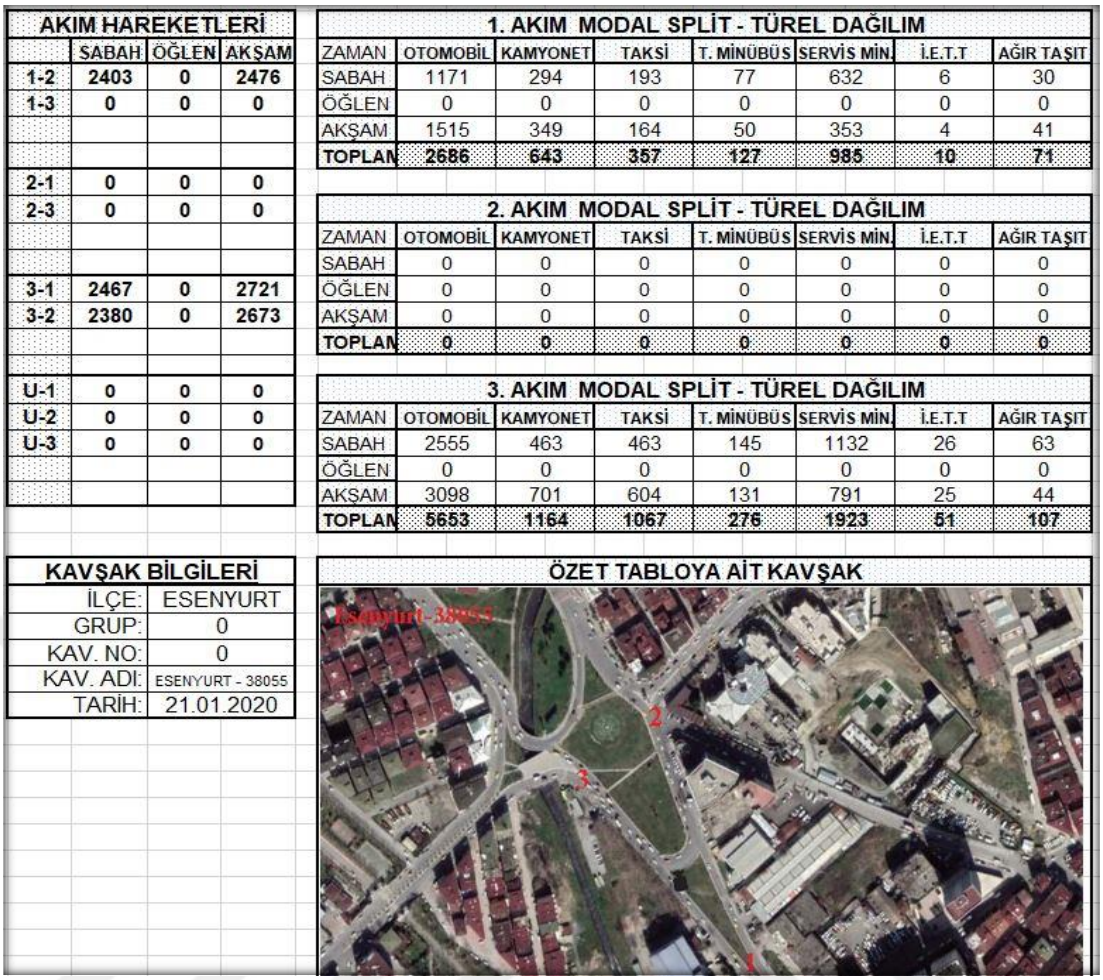
Şekil 4.3. Mikro-simülasyon aşamaları

Bir mikro-simülasyon modeli uzman ve tecrübeli trafik mühendisleri tarafından, yeterli zaman ve kaynak kullanımı ile uygun yazılım programları kullanılarak ve yerel duruma göre modelin kalibresi yapılarak hazırlanmalıdır.

4.3.1. Veri toplama

Proje aşamasında mevcut durumun analizine yönelik yapılması gereken en temel iş doğru ve yeterli veriyi temin etmek olmalıdır. Mevcut durum bilgilerinin derlenmesi ve değerlendirilmesi amacı ile arazi bilgileri, ulaşım sistemi verileri, trafik verileri, geometrik veriler gibi bilgilerin eksiksiz olarak temin edilmesi gerekmektedir. Trafik verileri yollardaki taşıt miktarları, zirve saat değerleri, taşıt hızları, yaya hareketliliği, kavşaktaki kaza raporları gibi verilerdir.

Veri merkezli karar alabilmek, veriye dayalı problem çözebilmek, performans ölçebilmek gibi amaçlar doğrultusunda trafik mühendisliği çalışmalarında trafik sayımı yapılmaktadır. Şekil 4.4'de trafik akımlarındaki trafik verilerinin taşıt tiplerine ve akım yönlerine göre gösterildiği örnek bir sayım föyü yer almaktadır.



AKIM HAREKETLERİ

	SABAH	ÖĞLEN	AKŞAM
1-2	2403	0	2476
1-3	0	0	0
2-1	0	0	0
2-3	0	0	0
3-1	2467	0	2721
3-2	2380	0	2673
U-1	0	0	0
U-2	0	0	0
U-3	0	0	0

1. AKIM MODAL SPLİT - TÜREL DAĞILIM

ZAMAN	OTOMOBİL	KAMYONET	TAKSİ	T. MİNÜBÜS	SERVİS MİN.	İ.E.T.T	AĞIR TAŞIT
SABAH	1171	294	193	77	632	6	30
ÖĞLEN	0	0	0	0	0	0	0
AKŞAM	1515	349	164	50	353	4	41
TOPLAM	2686	643	357	127	985	10	71

2. AKIM MODAL SPLİT - TÜREL DAĞILIM

ZAMAN	OTOMOBİL	KAMYONET	TAKSİ	T. MİNÜBÜS	SERVİS MİN.	İ.E.T.T	AĞIR TAŞIT
SABAH	0	0	0	0	0	0	0
ÖĞLEN	0	0	0	0	0	0	0
AKŞAM	0	0	0	0	0	0	0
TOPLAM	0	0	0	0	0	0	0

3. AKIM MODAL SPLİT - TÜREL DAĞILIM

ZAMAN	OTOMOBİL	KAMYONET	TAKSİ	T. MİNÜBÜS	SERVİS MİN.	İ.E.T.T	AĞIR TAŞIT
SABAH	2555	463	463	145	1132	26	63
ÖĞLEN	0	0	0	0	0	0	0
AKŞAM	3098	701	604	131	791	25	44
TOPLAM	5653	1164	1067	276	1923	51	107

KAVŞAK BİLGİLERİ

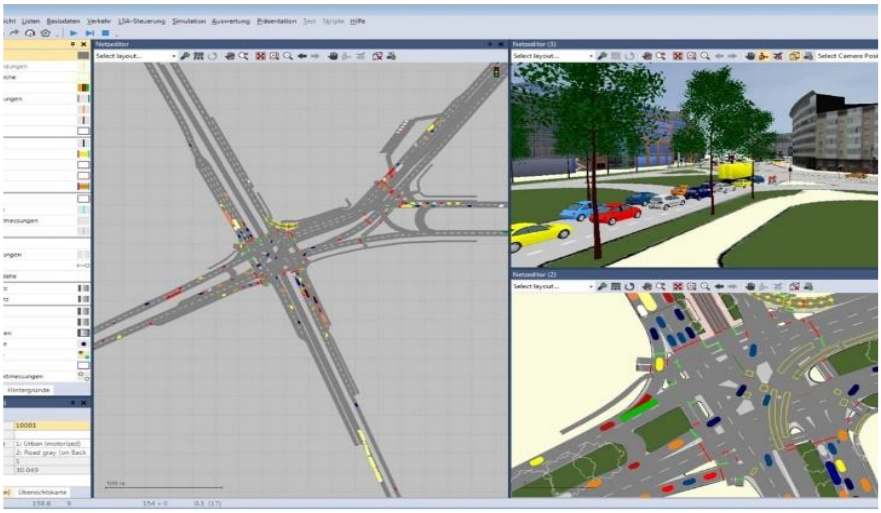
İLÇE:	ESENYURT
GRUP:	0
KAV. NO:	0
KAV. ADI:	ESENYURT - 38055
TARİH:	21.01.2020

ÖZET TABLOYA AİT KAVŞAK

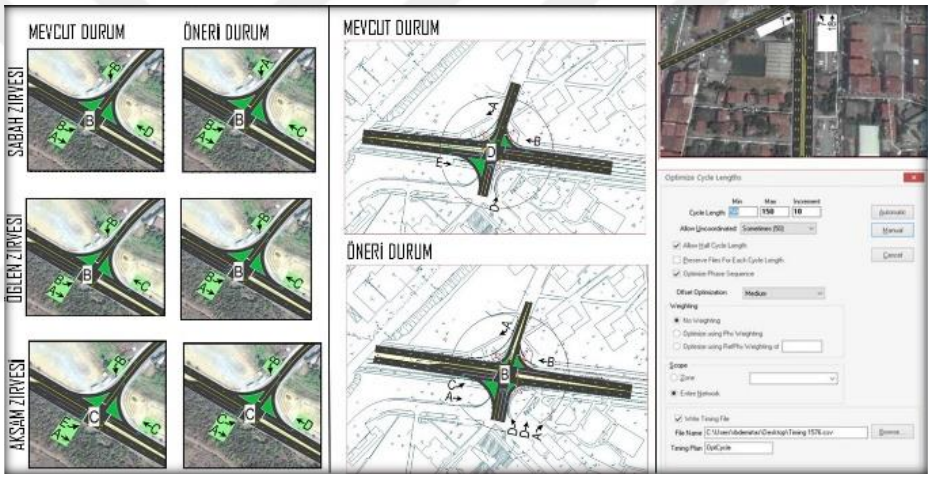
Şekil 4.4. Sayım föyü örneği (İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri, 2022)

4.3.2. Modelin kalibrasyonu

Modellemeye teşkil edecek verilerin toplanmasından sonra modelleme, simülasyon hazırlama ve kalibrasyon aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada mikro-simülasyon ve mikro-analiz yazılım programları kullanılmaktadır. VISSIM, SYNCHRO, VISTRO, VISSWALK gibi simülasyon yazılımları yaygın simülasyon programlarıdır. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da Vissim ve Synchro programlarının arayüz görselleri yer almaktadır.



Şekil 4.5. PTV vissim arayüzü görseli (İstanbul Bilişim Ve Akıllı Kent Teknolojileri, 2022)



Şekil 4.6. Synchro programı arayüzü görseli (İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri, 2022)

VISSIM, R. Wiedemann (1974) tarafından geliştirilmiş, sürücülerin fiziksel ve psikolojik davranışlarını kullanan simülasyon yazılımıdır. VISSIM, her bir sürücüye ait sürücü davranışları araçlarının teknik kapasitelerine bağlı olarak modellenir. Sürücüler için davranış modelleri, seçilen hız ile mesafeye cevabın sınıflandırılması ile oluşturulur. Sürücüler, gereksinimler doğrultusunda veya daha hızlı ilerlemek amacıyla şerit değiştirmeye karar verirler. VISSIM'de dört sürüş modeli belirlenmiştir; serbest sürüş, yaklaşma, takip etme, frene basma. Her bir modelde, sürücüler takip mesafelerine göre tepki verme veya önceden belirlenmiş hedef hıza ulaşmaya çalışma gibi farklı davranışlarda bulunurlar (Gomes vd., 2003; PTV, 2005).

Mikro modelde mevcut durumun anlaşılabilmesi için öncelikli olarak veriler toparlanarak sisteme aktarılır. Ardından mevcut durum ile benzetim modelimizin aynı olması için model kalibrasyonu yapılır. Mevcut durum kalibrasyonu için birçok yöntemden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerden Geoffrey E. Havers istatistiği (GEH) ile benzetim modeli ile sahada gözlenen taşıt hacim değerleri kullanılarak GEH değeri hesaplanmaktadır (CRC, 2006).

$GEH = \sqrt{(M - C)2/(0{,}5*(M + C))}$

M: Gözlemlenen değer

C: Simülasyondaki değer

Elde edilen GEH değeri 5'in altında bir değere sahip olması benzetim modelinin kalibre edildiği anlamına gelmektedir (Bayata ve Bayrak 2018). Mikroskobik simülasyon modellerini kalibre etmek için GEH analizi ile birlikte, taşıt takip ve şerit değiştirme teorleri ulaşım iyileştirmelerinin doğru değerlendirilmesinde etkilidir.

Taşıt takibi, sürücülerin takip mesafelerindeki kararlarını, güvenli boşlukları korumak için hız değişikliklerini kapsar. Bir sürücü aşağıdakileri değerlendirerek başka bir aracı takip eder(Al- Hameedawı,2017):

- Uzaklık
- Hız farkı
- Tepkime süresi
- Araç performansı

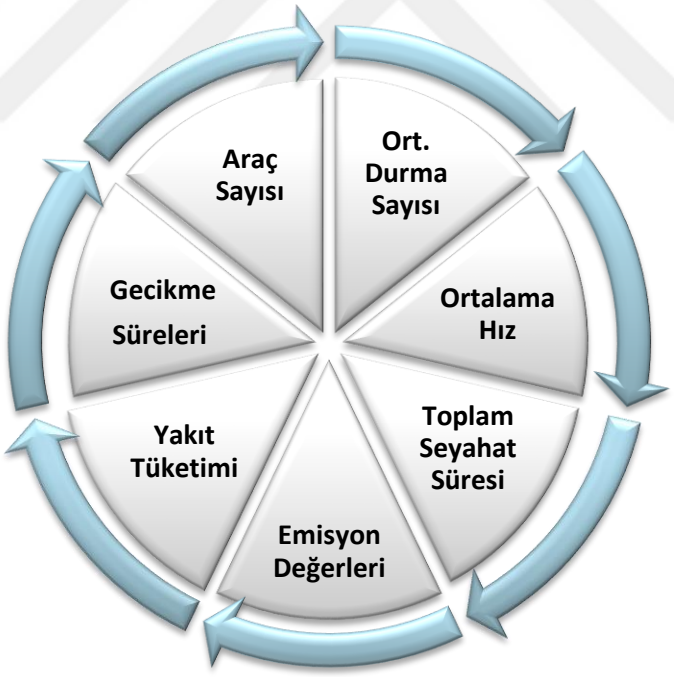
Şerit değiştirme, bir aracın bir şeritten bitişik şeride geçmesidir. Şerit değiştirme mikroskobik trafik simülasyonunda önemli bir bileşendir.

Benzetim modellerinin bir diğer önemli aşaması ise doğrulama (validation) aşamasıdır. Modelin doğrulanması oluşturulan model ile modellenen sistemin doğruluğunun araştırılmasıdır. Modelden elde edilen sonuçlar ile gerçek verilerin tutarlılığı incelenir.

4.3.3. Analiz ve değerlendirme

Mevcut durumun simülasyon ile irdelenmesi, yetersizliklerin ortaya konulmasını sağlarken, öneri projenin simülasyon üzerinde test edilmesi, öneri projedeki olumsuzlukların tespit edilip gerekli düzenlemelerin yeniden yapılmasını sağlamaktadır. Simülasyonda test edilecek tüm alternatifler için; Ortalama Durma Sayısı (adet/taşıt), Ortalama Hız (km/saat), Ortalama Gecikme (sn), Sistemi Terk Eden Taşıt Sayısı (adet/saat), Seyahat Süresi (saat), CO* Emisyonu (kg), NOx* Emisyonu (kg), Yakıt Tüketimi (kg), Toplam Gecikmeler (saat) gibi performans kriterleri analiz edilerek raporlanıp, kıyaslanabilmektedir.

Modelleri hazırlanan kavşakların ya da ulaşım ağının performans analizini yapmak için Şekil 4.7'de gösterilen kriterler simülasyon yazılımlarının sonuç raporları üzerinden elde edilmektedir.



Şekil 4.7. Performans kriterleri

İzlenen simülasyon modellerine göre;

- ✓ Koridor ve kavşaklardaki eksiklikler tespit edilerek, yeni geometrik düzenlemeler,
- ✓ Sinyal gereksinimleri,
- ✓ Öneri alternatiflerin kıyası kontrollü bir şekilde sürdürülebilmektedir.

Mevcut durum ve öneri durum simülasyon modelleri kalibrasyonu aşağıdaki kontrol kriterlerinden geçirilerek deneyimli personeller tarafından gerçekleştirilmelidir.

- o Trafik Verilerinin Kontrolü
- o Geometrik Verilerin Kontrolü
- o Sinyalizasyon Verilerinin Kontrolü
- o Hacim-Hız Kontrolü
- o Model Parametrelerinin Kontrolü

4.3.4. 2 ve 3 boyutlu animasyonlar

Mevcut yolağı bilgilerinin, toplu taşıma verilerinin ve trafik sayım verilerinin mikro simülasyon programında modellenmesi ile proje görselleri proses çıktısı olarak elde edilmektedir. Bu modeller 2 ve 3 boyutlu olarak elde edilmekte olup, Şekil 4.8'de hazırlanmış örnek bir mikro-simülasyon görseli yer almaktadır.



Şekil 4.8. Mikro-simülasyon görseli- altgeçit projesi (İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri, 2022)

5. UYGULAMA ÖRNEĞİ: ESENYURT İLÇESİ AHMET ARİF CADDESİ

Günümüzde nüfus ve nüfus yoğunluğunun artmaya devam ettiği gözlenen kentlerde ulaşım ihtiyacı da giderek artmakta ve karmaşık hale gelmektedir (Yiğit ve Suri, 2020). İstanbul ilinin 2021 ilçelere göre nüfus verileri incelendiğinde Esenyurt ilçesi en yüksek orana sahip olduğundan çalışma yapılan kavşaklar son yıllarda yüksek nüfus artışının ve yapılaşmanın meydana geldiği Esenyurt ilçesinden seçilmiştir. Esenyurt ilçesinin nüfus artış hızı ve yoğunluğu incelenmiş ve İstanbul il genelindeki ortalamalardan yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 5.1'de İstanbul ve Esenyurt için nüfus bilgileri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Nüfus ve yüzölçümü verileri (TÜİK)

	Nüfus Bilgileri		Yüz Ölçümü
	2011	2021	(Km2)
İstanbul	13.624.240	15.840.900	5313,0
Esenyurt	500.027	977.489	42,9

Esenyurt ilçesindeki sanayi aktivitelerinin yüksek oranda olması nüfusun gelişimini ve dağılımını etkileyen en önemli faktördür. İlçede İstanbul Sanayi Odasının verilerine göre 990 adet fabrika, atölye ve üretim tesisi faaliyet göstermektedir (Ayhan, 2019). Esenyurt sahip olduğu sanayi tesisi bakımından İstanbul'daki ilçeler içerisinde Başakşehir'den sonra 2. ilçe konumundadır (Ayhan, 2019).

Tüm bu gelişmelerin beraberinde ticari ve sosyal hareketliliğin yoğun olması neticesinde araç hareketliliğinin de üst seviyelerde olması kaçınılmazdır. Bu doğrultuda trafik yönünden gözlem yapılarak, ilçe merkezindeki araç hareketliliğinin yoğun olduğu arterlerden olan Ahmet Arif Caddesi, 19 Mayıs Bulvarı, Nazım Hikmet Bulvarı, Gazi Caddesi ve Cumhuriyet Caddesi ile bağlantılı olan cadde ve sokakların oluşturduğu yol ağı çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışma

kapsamında simülasyon yöntemi ile kavşakların analizi bu bölümde anlatılmakta olup, simülasyon modeli öncesinde alanla ilgili detaylı bilgiler 5.1 başlık numaralı ‘‘Çalışma Alanındaki Mevcut Durum Bilgileri’’ bölümünde derlenmiştir.

5.1. Çalışma Alanındaki Mevcut Durum Bilgileri

5.1.1. Konum bilgileri

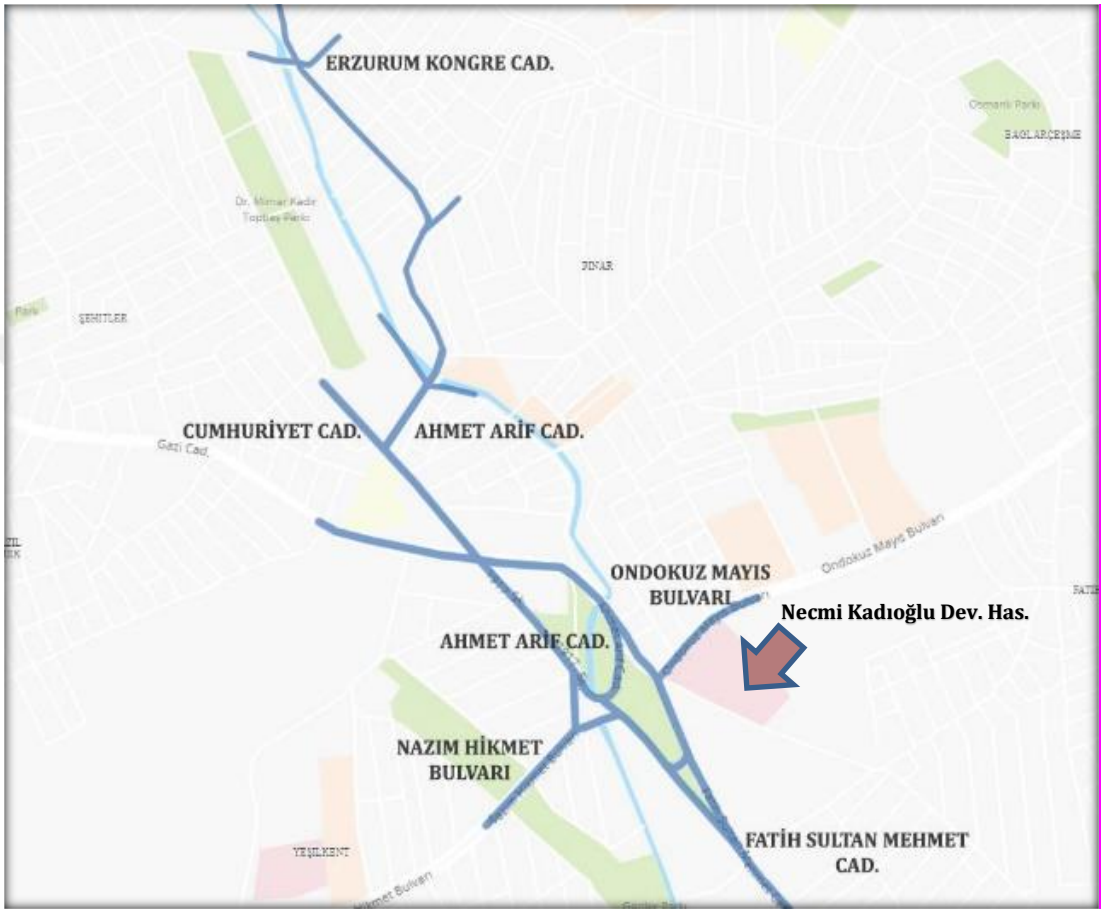
İstanbul ilinin Avrupa yakasında güneybatı kesiminde bulunan Esenyurt ilçesinin güneyinde Beylikdüzü ilçesi, doğusunda Büyükçekmece, kuzeyinde Başakşehir ve doğusunda Avcılar ilçeleri bulunmaktadır. Şekil 5.1’de Esenyurt ilçesinin İstanbul üzerindeki konumu gösterilmiştir. Esenyurt ilçesi İstanbul Havalimanına kuş uçuşu yaklaşık 23 km, 15 Temmuz Şehitler Köprüsüne 30 km, Fatih Sultan Mehmet Köprüsüne 32 km mesafede yer almaktadır.



Şekil 5.1. Esenyurt ilçesinin konumu

Çalışma alanının kapsamında bulunan arterler ise Yeşilkent Mahallesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. Esenyurt ilçesi İstanbul’un en kalabalık ilçesi, Yeşilkent mahallesi ise ilçenin merkezi olarak değerlendirilebilecek konumda ve işlevde olduğundan yüksek nüfusa sahiptir. Çalışma alanı güzergahında Eseyurt Necmi Kadıoğlu Devlet Hastanesi gibi önemli kamusal alan ile ağırlıklı olarak özel

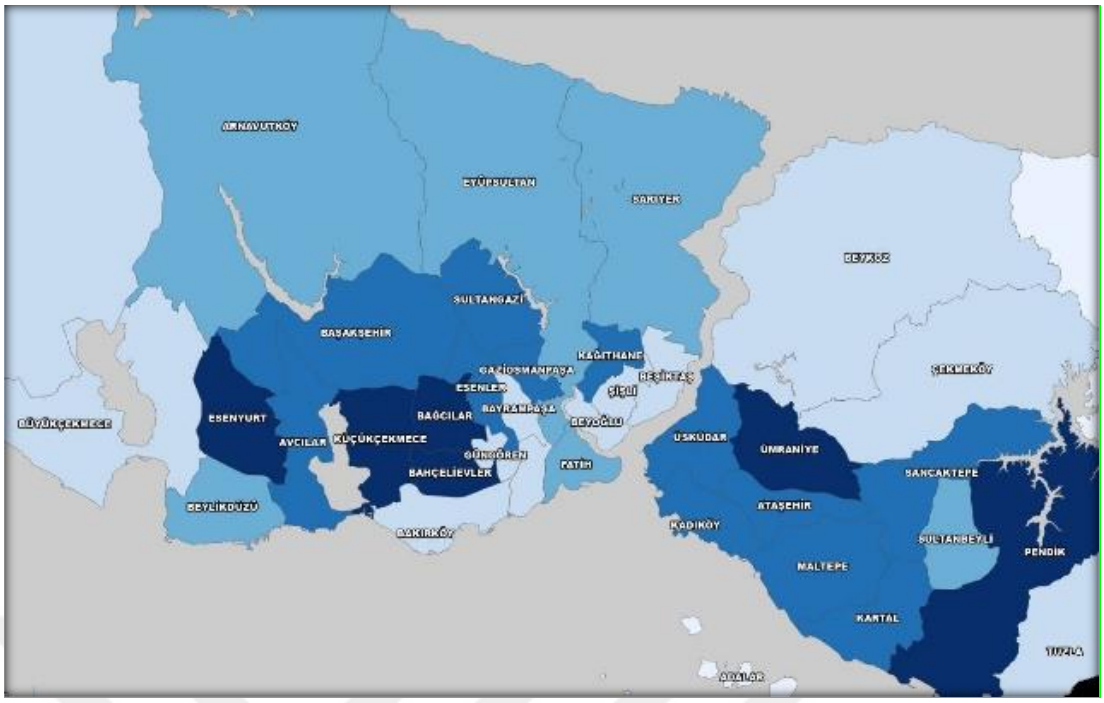
tıp merkezleri, düğün salonları, ticari fonksiyonu olan çeşitli dükkân ve işyerleri bulunmaktadır. Şekil 5.2'de yer alan haritada çalışma alanı kapsamındaki yol güzergahı ve cazibe merkezi olan Eseyurt Necmi Kadıoğlu Devlet Hastanesi gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Çalışma alanı kapsamındaki yol güzergâhı

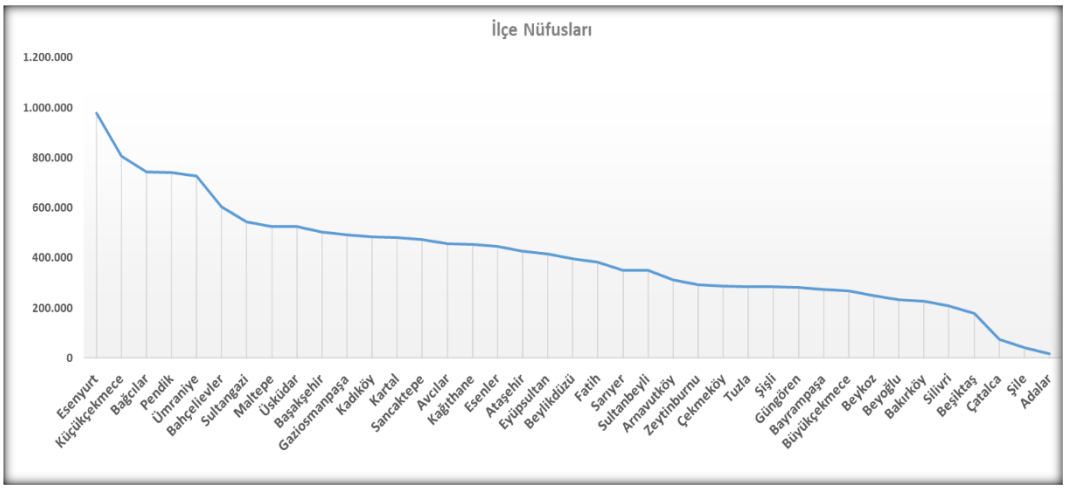
5.1.2. Nüfus verileri

İstanbul ilinin 2021 ilçelere göre nüfus verileri incelendiğinde Esenyurt ilçesi en yüksek, Adalar ilçesi ise en düşük değerlere sahiptir. Şekil 5.3'te yer alan haritada İstanbul'daki ilçelerin nüfus büyüklükleri renk bazında sınıflandırılarak açıktan koyuya doğru nüfus artışları gösterilmiştir. Haritadan da algılanacağı gibi yoğun nüfusa sahip Esenyurt ilçesi koyu mavi renk ile gösterilmiştir.



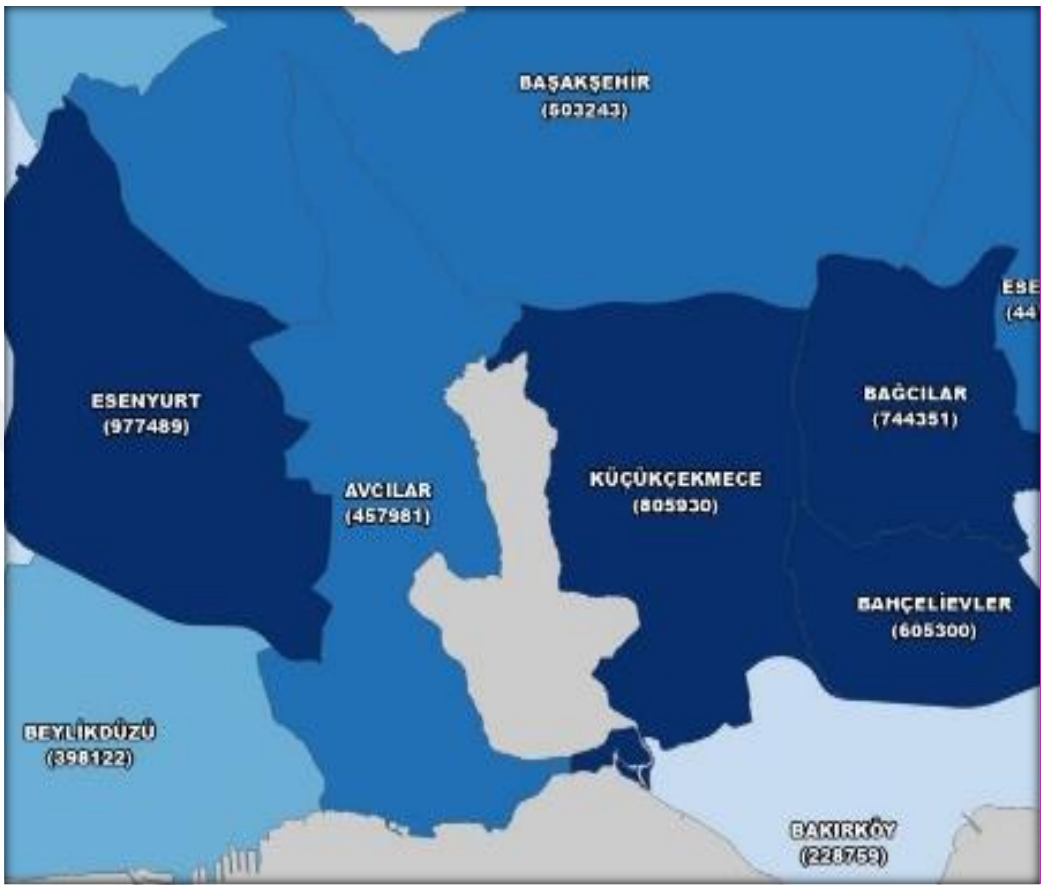
Şekil 5.3. İstanbul ili ilçelere göre nüfus gösterimi (İstanbul Büyükşehir Belediyesi)

Türkiye İstatistik Kurumu rakamlarına göre İstanbul'un nüfusu 2021 yılında 15 milyon 840 bin 900 kişi, İstanbul'un en kalabalık ilçeleri sırasıyla; 977 bin 489 kişi ile Esenyurt, 805 bin 930 kişi ile Küçükçekmece ve 744 bin 351 kişi ile Bağcılar'dır. İstanbul ilçesinin ilçelere nüfus grafiği Şekil 5.4'te yer almaktadır.



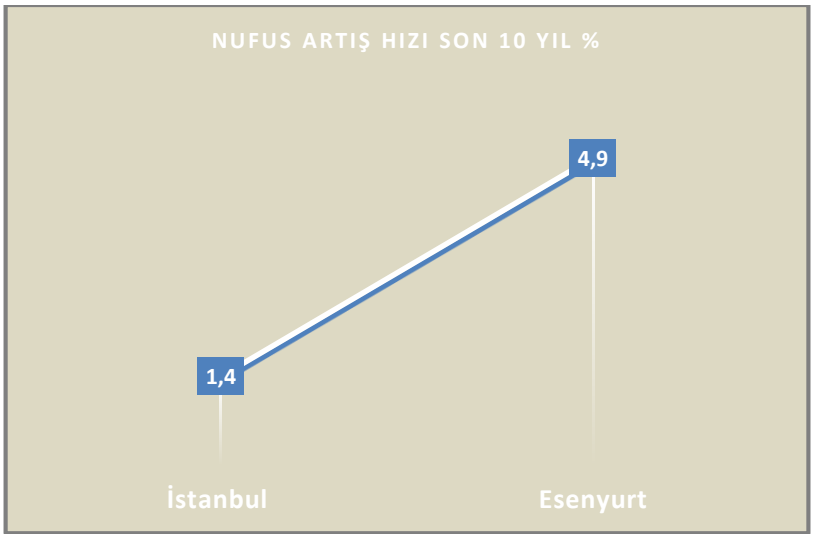
Şekil 5.4. İlçelere göre nüfus değerleri

Esenyurt ilçesine komşu ve yakın çevresinde olan ilçelerin yoğun nüfusa sahip olduğu bilgisi elde edilmiş olup Şekil 5.5'te yer alan haritada bu bilgi görsel olarak gösterilmiştir.

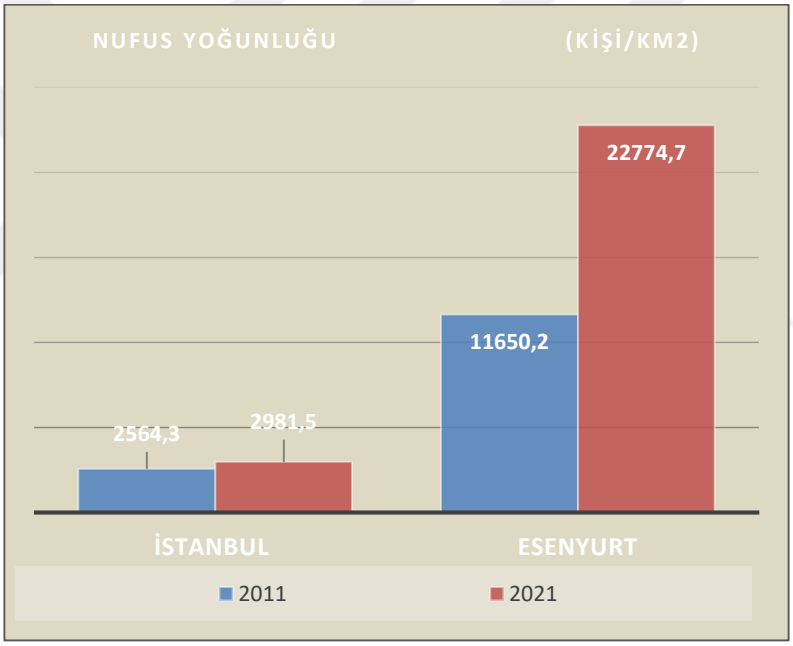


Şekil 5.5. Esenyurt ilçesi ve yakın çevresi nufus verileri (İstanbul Büyükşehir Belediyesi)

Esenyurt ilçesindeki nüfus bilgileri elde edilmiş olup, 2011 ve 2021 yılı nüfus artış hızı ve yoğunluğu incelenmiştir. Bu bilgilere göre Şekil 5.6'da gösterildiği gibi İstanbul için son 10 yıldaki ortalama yıllık artış hızı %1,4 iken Esenyurtta bu değer 4,9'dur.



Şekil 5.6. Nüfus artış hızı (Türkiye İstatistik Kurumu)



Şekil 5.7. Nüfus yoğunluğu (Türkiye İstatistik Kurumu)

Şekil 5.7'de gösterildiği gibi İstanbul için 2021 yılında nüfus yoğunluğu 2981,50 kişi/km^2 iken Esenyurtta bu değer 22774,70 kişi/km^2 'dir.

5.1.3. İmar durumu verileri

Esenyurt İlçesi plan çalışmaları 2013 yılında yapılmış olup, çalışma alanının kapsamında olan imar planı ''İstanbul İli Esenyurt İlçesi Tem Güneyi 3. Etap

1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Değişikliği'' planı olup, 12.07.2013 yılında onaylanmıştır.

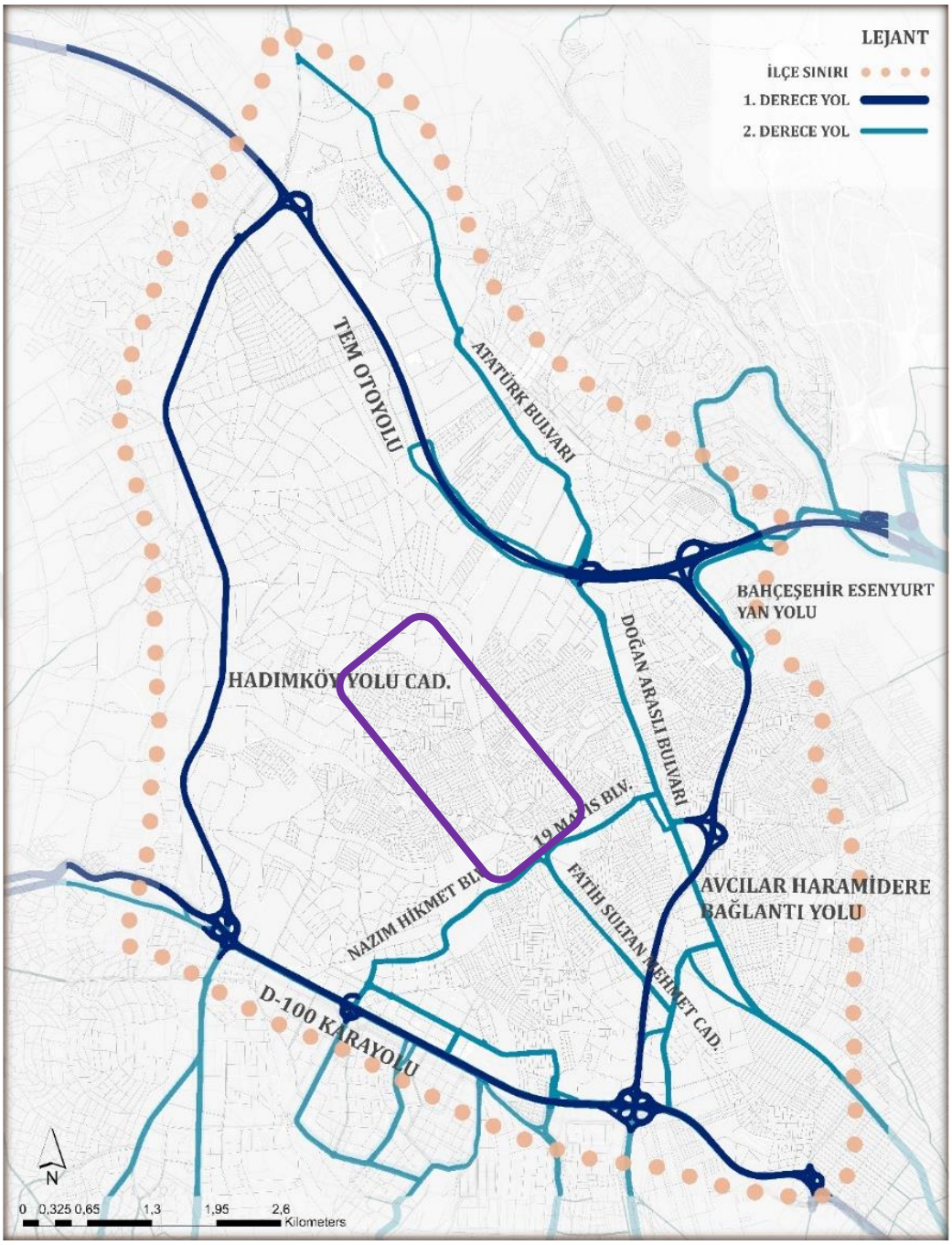


Şekil 5.8. İmar durumu görseli -1/1000 uyg. imar planı (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2022)

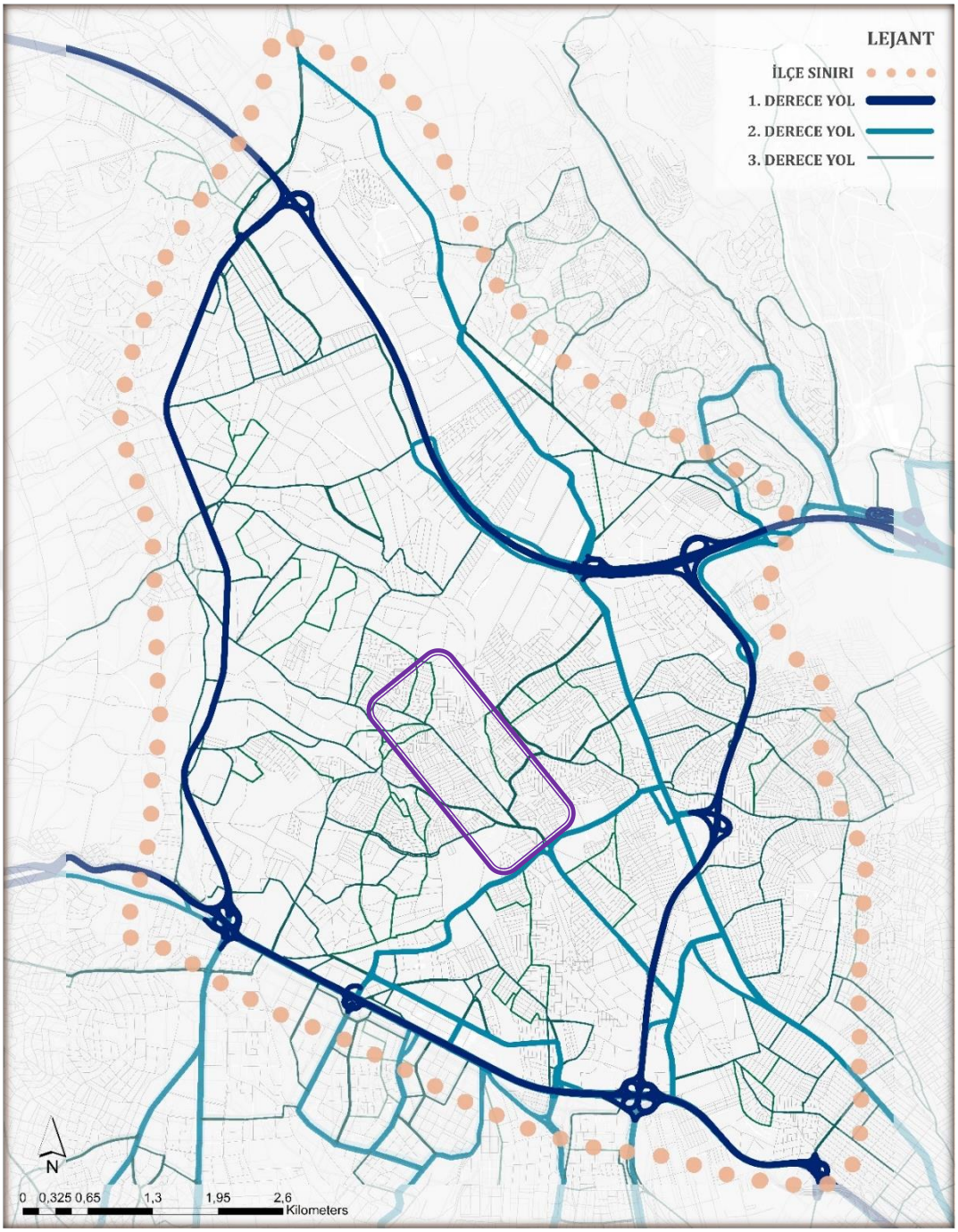
Şekil 5.8'de gösterilen plan koşullarına göre mevcut yol güzergâhına dere boyunca koruma kuşağı ve yol güzergâhı eklenmiş olup, proje tasarımlarında bu koşullar göz önünde bulundurulmuştur.

5.1.4. Ulaşım verileri

Esenyurt Kaymakamlığı verilerine göre Esenyurt yaklaşık olarak 4800 Hektar bir alanda yer almaktadır. İlçenin doğusunda Küçükçekmece ilçesi batısında TEM – D.100 Bağlantı yolu, Büyükçekmece ilçesi, kuzeyinde Hoşdere-Kınalı-Trakya Otoyolu (E-6-TEM), güneyinde D-100 (E-5) Karayolu bulunmaktadır. E-5 karayolu ve TEM (E-6) otoyolunu bağlayan bağlantı yolu ilçeyi ikiye ayırmaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan Esenyurt ilçesi ulaşım kademelenmesi verilerine bakıldığında çalışma alanının kapsamında olan akslar 3. Derece yol kademesinde bulunmaktadır. Ana aksların ve yol kademelenmesinin bulunduğu haritalar Şekil 5.9 ve 5.10'da gösterilmiştir.



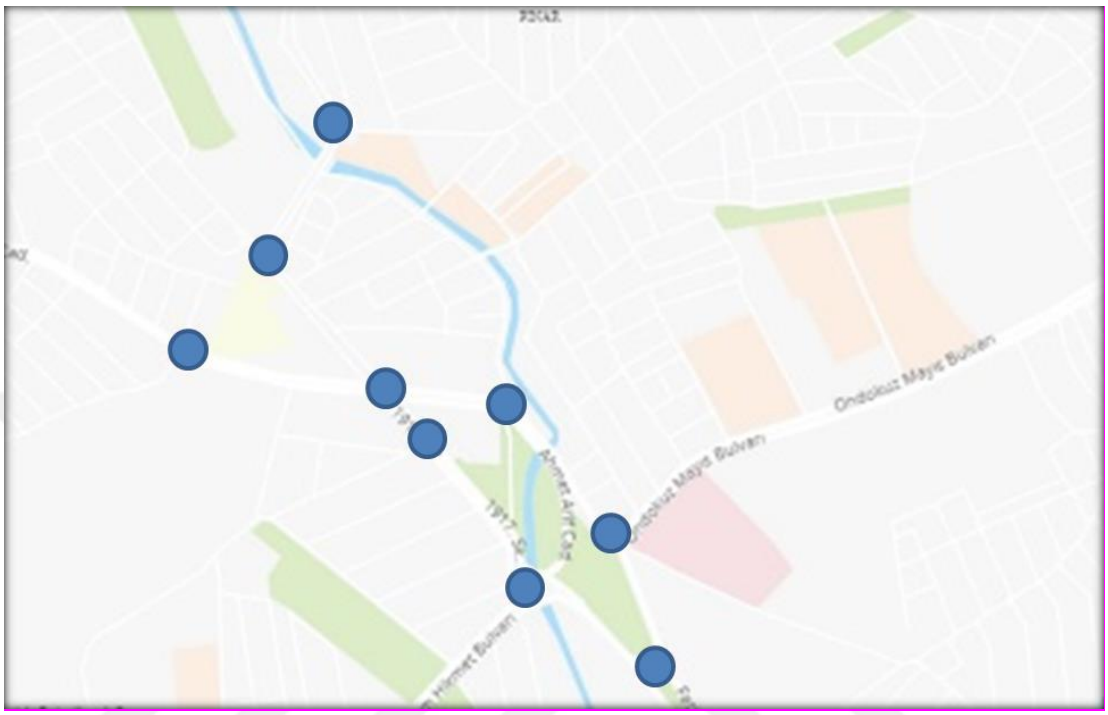
Şekil 5.9. Yol kademelenmesi (1., 2. derece yollar)



Şekil 5.10. Yol kademelenmesi (1.2.3. derece yollar)

Çalışma alanı; Esenyurt Devlet Hastanesi Lokasyonu, Ondokuz Mayıs Bulvarı (2x2), Fatih Sultan Mehmet Caddesi (2x2), Ahmet Arif Caddesi (2x2), Erzurum Kongre Caddesi (2x2)'nde yer almaktadır.

Çalışma aksı boyunca 9 kavşak noktasında trafik sayım verileri İSBAK A.Ş'den temin edilerek bu veriler mevcut ve öneri durum modellerine aktarılmıştır. Sayım noktalarının konumları Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 Trafik verisi alınan sayım noktaları

5.1.5. Çalışma alanındaki ulaşım sorunları

Çalışma alanı Esenyurt ilçesi Fatih Mahallesinde konumlu Esenyurt Devlet Hastanesine açılan ana caddeleri kapsamaktadır. On Dokuz Mayıs Bulvarı ve Fatih Sultan Mehmet Caddesi kesişiminde oluşan kavşakla birlikte bölge trafiğini incelemek üzere Ahmet Arif Caddeleri ve Erzurum Kongre Caddesi bu proje kapsamında değerlendirilmiştir. Bölgede yer yer tek yön sirkülasyonu hâkim olsa da yoğun araç talebi sebebiyle uzun kuyruklanmalar görülmektedir. Hastane bölgesinde toplu taşıma durakları mevcuttur. Bu noktalardaki disiplinsizlikler de bölge trafiği açısından sorun gündeme getirmektedir. Ayrıca sinyallerin verimsiz işlediği tespit edilmiştir.

Çalışma alanındaki trafik sorunlarını özetleyecek olursak;

- Zirve Saatte Karşılaşılan Sorunlar
  - ✓ Trafik Yoğunluğu
  - ✓ Sinyallerin verimsiz çalışması
  - ✓ Yaya Yoğunluğu
  - ✓ Kuyruklanma Sorunu
  - ✓ Toplu Taşıma Araçlarının Düzensiz Hareketi
- Otopark Sorunları
  - ✓ Düzensiz Parklanma
  - ✓ Yoğun Parklanma
- Yaya Sorunları
  - ✓ Araç Yolunda Hareket
  - ✓ Kontrolsüz Yaya Geçişleri

5.2. Mevcut Durumun Modellenmesi

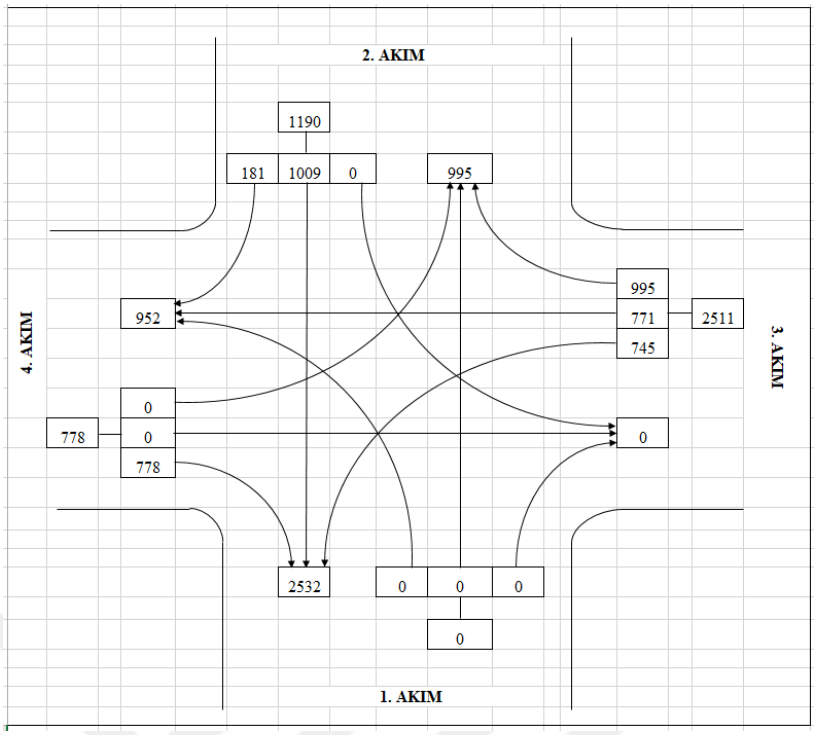
Tasarımı yapılan proje alanındaki öngörü ana yüklenici kavşaklar olan, Şekil 5.12'deki haritada gösterilen 3 kavşağa ait geometrik düzenleme yapılarak geliştirilmiş olup, kavşakların kavşak tipleri değiştirilmiştir. Bu nedenle bu kavşaklara ait mevcut durum değerleri değerlendirilerek kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır.

1 nolu kavşak Ahmet Arif Caddesi, Gazi Caddesi ve 1917 Sokak kesişiminde bulunan kontrollü bir kavşak olup, sinyalize olarak işletilmektedir. Bu kavşağa ait faz planları İBB İSBAK A.Ş'den temin edilmiş olup, modele aktarılmıştır. 2 nolu kavşak Ahmet Arif Caddesi, Cumhuriyet Caddesi ve Tomruk Sokak kesişiminde bulunan kavşağın geometrisi dönel kavşak formundadır. 3 nolu kavşak Gazi Caddesi, Şehit Hüseyin Demiroğlu Sokak ve 2073. Cadde kesişiminde bulunan 4 kollu kontrolsüz kavşak formundadır.

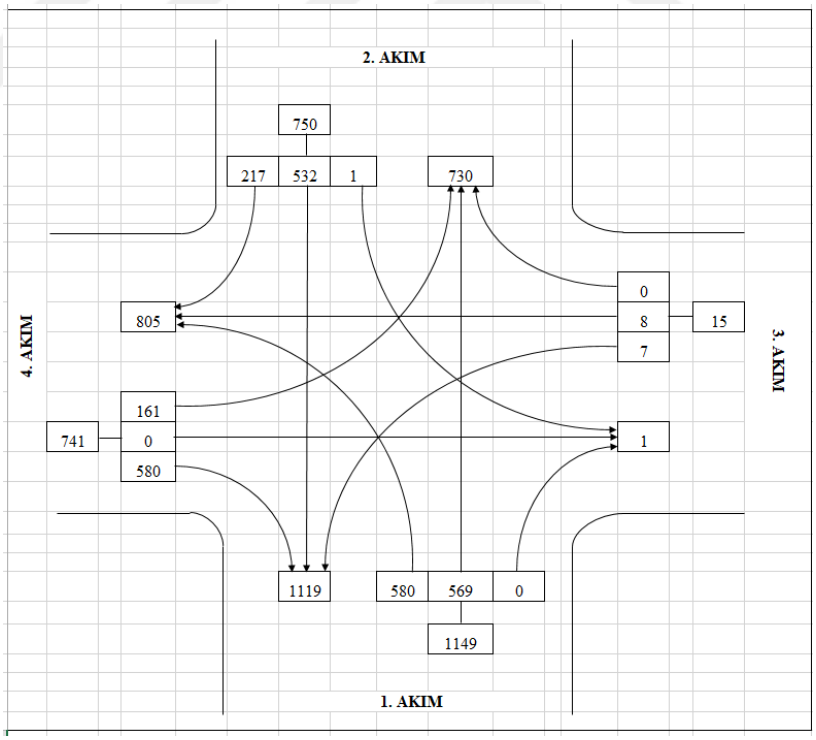


Şekil 5.12. Modeli yapılan ulaşım ağında yer alan 3 ana kavşağın konumu

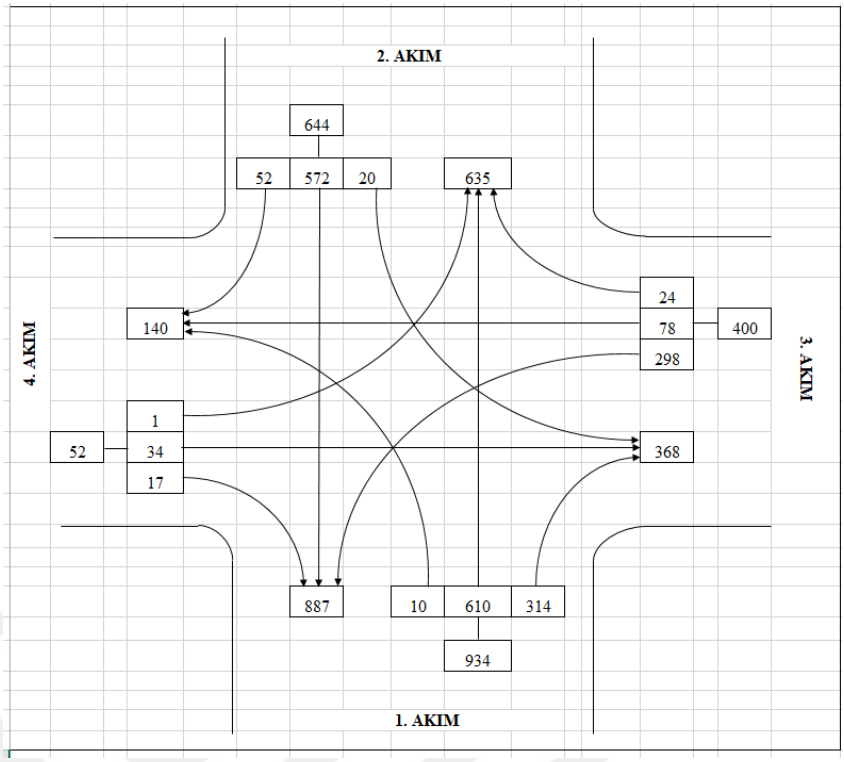
Mikrosimülasyon yazılımına çalışma alanındaki kavşaklara ait bir takım veriler tanımlanmıştır. Bu veriler; saha gözlemleri, hâlihazır haritalar ve video görüntülerinden elde edilen kavşak yapısı, şerit disiplinleri gibi alanının yol özellikleridir. Bu veriler ile birlikte, kavşaktaki sürücü davranışları ve şerit kullanımları özellikle göz önünde bulundurulmuş ve kavşak sayımları, zirve saatlerdeki sinyal planları yazılıma tanımlanarak model oluşturulmuştur. 2020 yılına ait İSBAK A.Ş. tarafından elde edilen trafik sayımları model verisi olarak kullanılmış olup, bu sayımlarda tüm akım kollarındaki araç tiplerine göre dağılımları da modele aktarılmıştır. Çalışmanın kapsamında yer alan lokasyonda yoğun yaya geçişleri de bulunmakta olup, yaya sayımları temin edilememiştir. Ancak gerek saha gözlemlerinden gerekse bölgedeki yaya sinyalli kavşakların yaya yeşil sürelerinden elde edilen veriye göre yaya hareketleri modele dahil edilmiştir. Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te sistem içerisinde öneri geometrisi değiştirilen kavşaklara ait sayım değerleri yer almaktadır. Bu veriler model kalibrasyonu için GEH değerlerinin tespit edilmesi için değerlendirilmiştir.



Şekil 5.13. 1 no'lu kavşağa ait sayım değerleri (taşıt/saat) (İsbak, 2020)



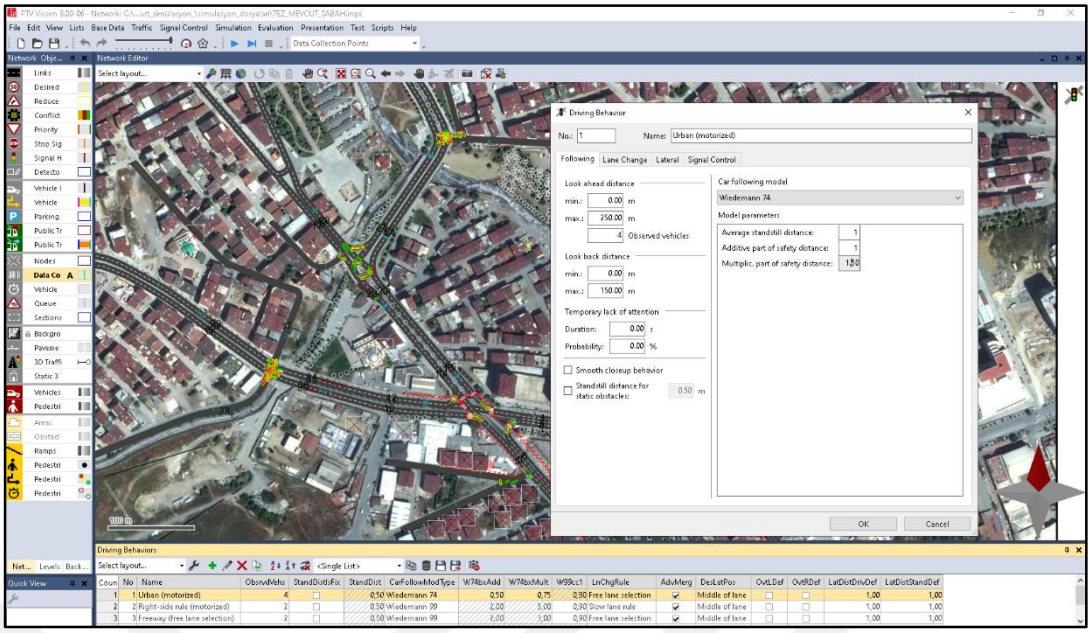
Şekil 5.14. 2 no'lu kavşağa ait sayım değerleri (taşıt/saat) (İsbak, 2020)



Şekil 5.15. 3 no'lu kavşağa ait sayım değerleri (taşıt/saat) (İsbak, 2020)

Ayrıca araç hızları trafik sayım videolarından ve saha deneyimlerine göre yaklaşık olarak tahmin edilerek modele girilmiştir. Taşıtlar için kabul edilen hızlar şehir içi hız olarak araç türlerine göre 40 ile 50 km/s arasında farklı değerler verilmiştir. Simülasyon modelinin veri girişlerinden sonraki adımı modelimizden emin olmak için yapılan kalibrasyon adımıdır.

Model kalibrasyonu için iki ana parametre düzenlenerek gerekli kalibrasyonlar yapılarak GEH değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 5.2). Bu parametrelerden ilki takip mesafesi diğeri ise şerit değiştirme parametreleridir (Şekil 5.16). Şehir içinde takip mesafesi 20m - 30m gibi değerler alabilirken, modelde bu değer İstanbul trafiği dikkate alınarak 5m olarak varsayılmıştır.



Şekil 5.16. Model kalibrasyonu için parametrelerin belirlendiği vissim arayüzü

Çizelge 5.2. Hesaplanan GEH değerleri

Kavşak Adı	Akım Kolları	Sayım Hacim (araç/saat)	Model Hacim (araç/saat)	Fark	GEH Değeri
1 Nolu Kavşak	1	2532	2344	188	3,818
	2	2385	2533	-148	2,985
	3	2511	2496	15	0,300
	4	1730	1818	-88	2,089
2 Nolu Kavşak	1	2268	2339	-71	1,479
	2	1480	1501	-21	0,531
	3	1546	1525	21	0,549
	4	16	13	3	0,788
3 Nolu Kavşak	1	1821	1820	1	0,035
	2	1134	1256	-122	3,515
	3	52	51	1	0,139
	4	400	390	10	0,503

GEH değerlerinin 5'in altında çıkması ile model kalibrasyonu tamamlanmış, olup parametre değerleri öneri durum içinde aynı alınmıştır. Kavşaklara ait benzetim modelleri, PTV VISSIM 8.0 trafik mikrosimülasyon yazılımı aracılığıyla oluşturulmuş olup, Şekil 5.17'de kavşaklardaki kuyruklanmaların gösterildiği model görseli yer almaktadır.



Şekil 5.17. Simülasyon görüntüsü-mevcut kuyruklanmalar

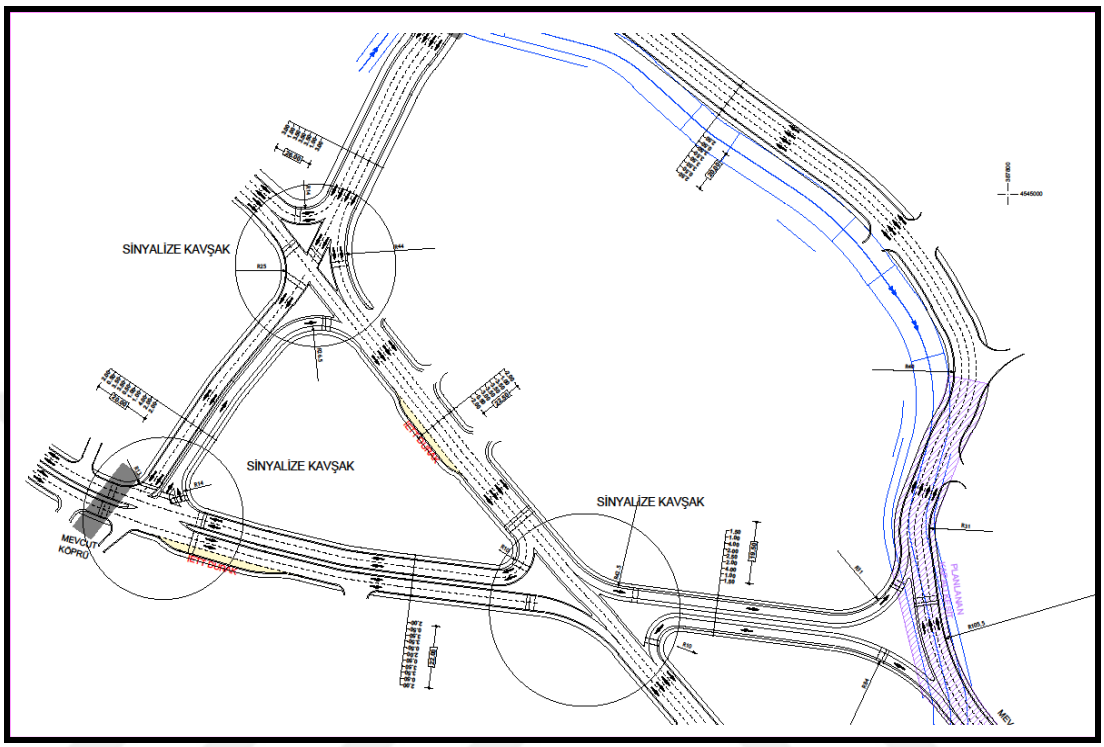
5.3. Tasarlanmış Ulaşım Projesinin Modellenmesi

Çalışma alanının genel sorunlarına yönelik çözümler için bölgenin imar planları değerlendirilmiş ve planlanan yollarda projeye dahil edilerek olası sirkülasyon değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar simülasyon yöntemi ile analiz edilmiştir.

Geliştirilen öneri proje çalışmasında Hastane önündeki kavşağın devam olan Ahmet Arif Caddesi ile Erzurum Kongre Caddesi arasında yeni bir yol planlanmıştır. Aynı şekilde Ahmet Arif Caddesi üzerinde 4*1 şerit disiplininde tek yön yeni bir yol da tasarlanmıştır. Yeni açılan yollara bağlı olarak sirkülasyonlar değerlendirilmiş ve kavşak düzenlemeleri tamamlanmıştır.

1 nolu kavşak mevcut durumda 2*2 sinyalize iken proje öngörüsünde araç sinyalleri kaldırılarak kesişimler azaltılmıştır. Kavşakta sadece yaya kullanımı için sinyal önerilmiştir. 2 nolu kavşak mevcut durumda dönel kavşak formunda olup, öneri durumda araç kesişimlerine bağlı olarak 2 fazlı sinyalize kavşak olarak planlanmıştır. 3 nolu kavşak mevcut durumda kontrolsüz kavşak formunda olup öneri durumda sola dönüş talepleri de dikkate alınarak 3 fazlı sinyalize kavşak olarak önerilmiştir. Önerilen projede 2 ile 3 nolu kavşak arasında yeni bir yol açılarak bu kavşaklar birbirine bağlanmıştır. Kavşaklara ait

değişen geometrilerin gösterildiği öneri durum projesi Şekil 5.18'de gösterilmiştir. Şekil 5.19'da ise proje alanındaki tüm düzenlemelerin yer aldığı projenin mevcut konum haritasına çakıştırılmış hali yer almaktadır.



Şekil 5.18. Ahmet Arif Caddesi- Gazi Caddesi kesişimi proje alanı (İstanbul Büyükşehir Belediyesi)



Şekil 5.19. Öneri projenin arazi üzerinde gösterimi

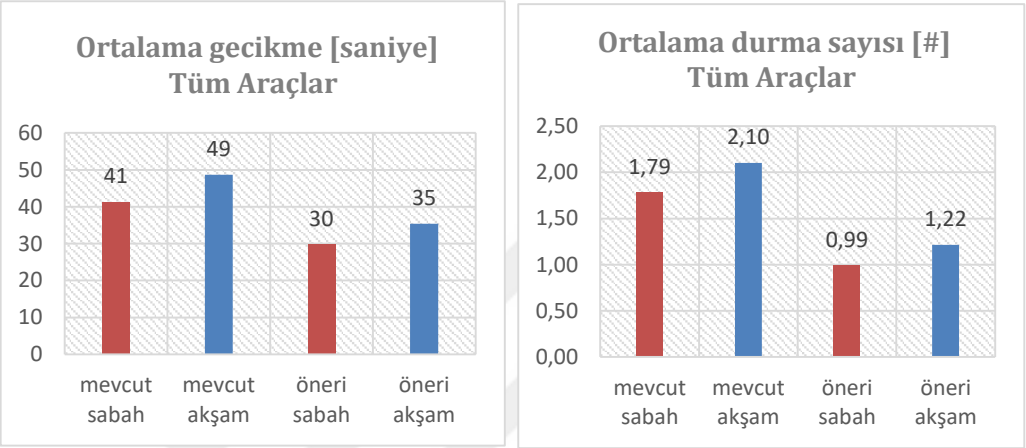


Şekil 5.20. Simülasyon görüntüsü-öneri durum

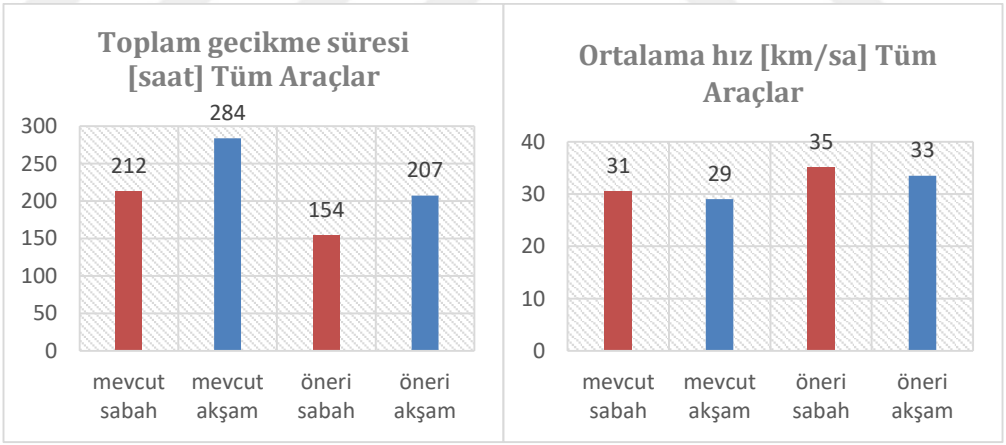
Şekil 5.20’ de de görüldüğü gibi mevcut durum modeline yansıyan kavşaklardaki kuyruklanmalar proje modelinde meydana gelmemektedir.

5.4. Mevcut Durum ve Projenin Model Sonuçlarının Değerlendirmesi

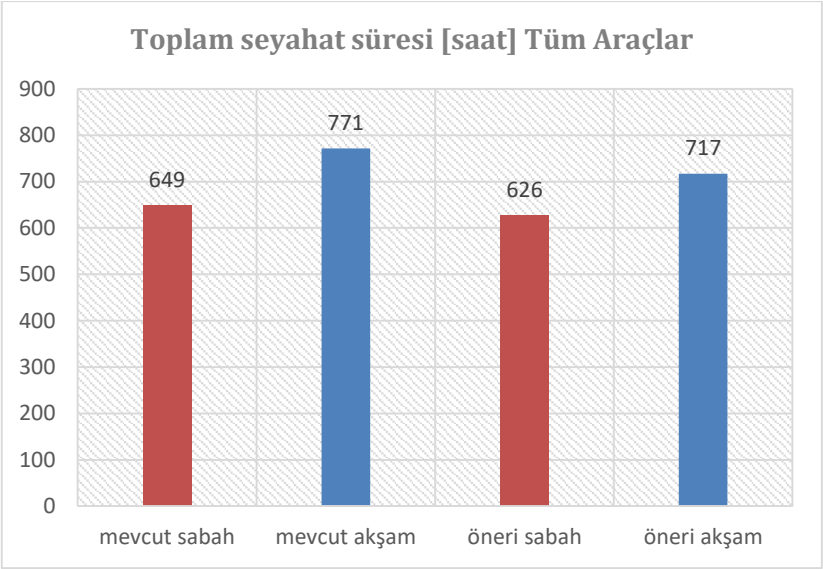
Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23' de yer alan grafiklerde çalışma kapsamındaki güzergahın tüm yaklaşım kolları dahil oluşturulan ulaşım modeli için; mevcut ve öneri durumun sabah ve akşam değerlerinin performans ölçüm kriterlerine göre karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 5.21. Mevcut – öneri karşılaştırılması (ort. gecikme ve ort. durma sayısı)



Şekil 5.22. Mevcut – öneri karşılaştırılması (ort. hız ve toplam gecikme süresi)



Şekil 5.23. Mevcut – öneri karşılaştırılması (toplam seyahat süresi)

Yapılan analizlere bakıldığında öneri durum değerlerinin ortalama gecikme, ortalama durma, toplam gecikme ve toplam seyahat sürelerinde mevcut durum değerlerine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Mevcut güzergahın değiştirilerek, sirkülasyon değişikliğinin yapılması ve ağ genelindeki kesişimlerin azaltılması sonuçlara olumlu yansımıştır. Kesişimlerin azaltıldığı noktalarda taleplerin karşılanması için yeni yollar açılarak kavşak noktaları tasarlanmış ve uygun geometrik düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemeler kavşaklarda bekleme sürelerini olumlu yönde etkilemiş olup, ağ genelinde trafiğin akıcılığı sağlanmıştır. Böylece mevcut durumdaki trafik sorunlarının giderilmesine yönelik çözümlerin ne derece fayda ürettiği görülmüştür.

5.5. Proje Tasarımının Arazi Kullanımı Bakımından Değerlendirilmesi

Arazi kullanımı doğal koşulların insanlara sunduğu alanlarda, hayatın sürdürülebilmesi için gerçekleştirilen ekonomik faaliyetlere bağlı olarak ortaya çıkan alan kullanımını ifade etmektedir. Bu alanlar ekonomik faaliyetlere göre ortaya çıktığı için hammadde, sanayi ve hizmet sektörüne ait alanların arazi örtüsü üzerindeki dağılışını ifade etmektedir.

Kentsel arazideki kullanım arasındaki haraketi yollar belirlemektedir. Ulaşımın günlük hareketliliğin yanı sıra acil durum anlarında da hem halk hem de müdahale ekipleri açısından önemli bir işlevi bulunmaktadır. Özellikle kamusal alanlarının konumlanmasında servis aldığı yol ile olan ilişkisi, yol kademesi ve yol genişliği çok önemli hale gelmektedir. Ulaşım planlaması süreçlerinde bu faktör göz önünde bulundurularak ulaşım projeleri öngörülmelidir.

Çalışma alanında yer alan Esenyurt Necmi Kadıoğlu Devlet Hastanesi, tasarlanmış ulaşım projesinin yol ağında bulunmakta olup acil durum senaryosunda hastaneye olan erişilebilirlik test edilmiş ve sonuçları paylaşılmıştır.

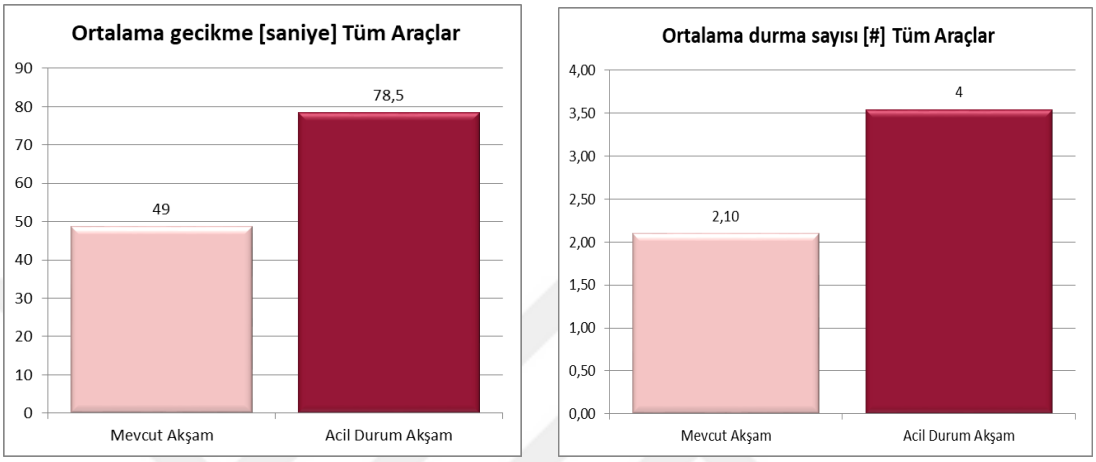
Acil Durum senaryosunda yakın bölgede gerçekleşen olası bir acil durumda bölgeden Esenyurt Necmi Kadıoğlu Devlet Hastanesine ilk 30 dakika içinde 30 adet ambulans gönderilerek hastaneye erişim sağlayan yolun durumu değerlendirilmiştir.

Şekil 5.24'te görüldüğü gibi hastane önündeki 19 Mayıs Bulvarı 2*2 refüj ile bölünmüş bir yoldur. Hastane önünde yaya kullanımı için sinyal bulunmaktadır.

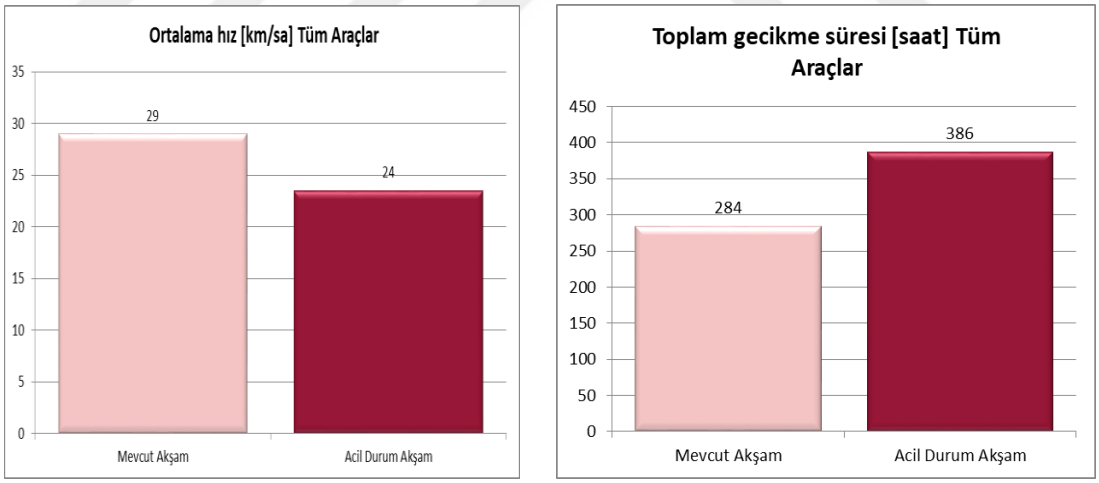


Şekil 5.24. Acil Durum Senaryosu Simülasyon Görüntüsü - Esenyurt Necmi Kadıoğlu Devlet Hastanesi Önü

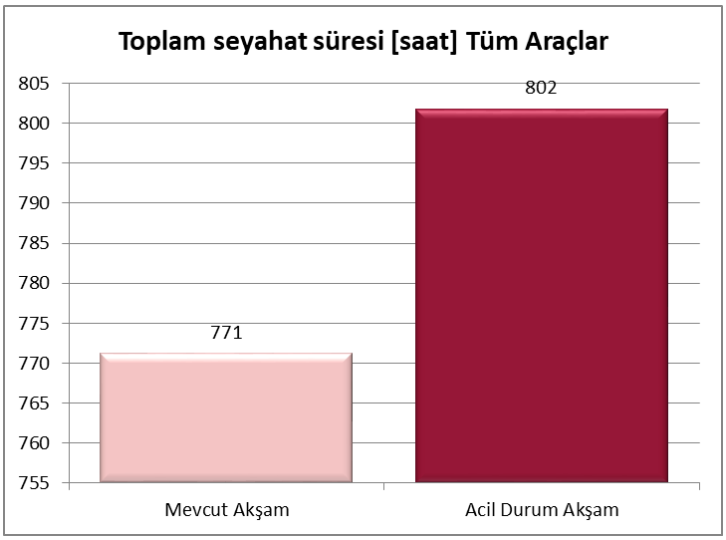
Acil durum senaryosunda hastaneye toplu olarak gönderilen ambulanslar hastane girişinde kuyruklanmıştır. Bu sebeple hastane özelinde servis yolu gibi yeni bir yol düzenlemesi ile kuzeyden gelen ambulanslara yönelik hastaneye geçiş için geometrik düzenlemelere ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.25, Şekil 5.26 ve Şekil 5.27'de analiz sonuçları yer almaktadır.



Şekil 5.25. Mevcut – acil durum karşılaştırılması (ort. gecikme ve ort. durma sayısı)



Şekil 5.26. Mevcut – acil durum karşılaştırılması (ort. hız ve top. gecikme süresi)



Şekil 5.27. Mevcut – acil durum karşılaştırılması (toplam seyahat süresi)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kentlerin karşı karşıya kaldığı problemlere karşı sürdürülebilir planlama anlayışına ihtiyaç duyulmaktadır. Ulaşım planlaması kentsel planlamanın ayrılmaz bir parçası olup, çalışmanın kapsamı ulaşım planlamasına yöneliktir. Ulaşım planlama sürecinde doğru kararlar alınabilmesi için proje çalışmaları trafik mühendisliği yönünden ele alınmalı ve tasarımlar analiz edilerek değerlendirilmelidir.

Çalışmanın uygulama kısmında öneri modelimizin trafik mühendisliği etütlerine göre sabah ve akşam performans değerleri kıyaslanmıştır. Bu sonuçlara göre öneri modelimizin mevcut duruma göre yaklaşık olarak ortalama gecikme süresinde %27, ortalama durma sayısında %43, ortalama hız değerinde %15, toplam gecikme süresinde %10, toplam gecikme süresinde %27 ve toplam seyahat süresinde %5 daha iyi sonuçlar elde ettiği tespit edilmiştir. Böylece tasarımı yapılan projenin saha da uygulanması halinde trafik mühendisliği yönünden değerlendirilmesi sahaya uygulanmadan yapılarak elde edeceğimiz faydaları gözlemlenmiştir. Projenin uygulanabilirliği için karar vericilere projeyi değerlendirme imkânı sunulmuştur. Modelleme yöntemi sayesinde projemizden elde edeceğimiz kazanımlar ortaya konularak ulaşım planlarına doğru öngörüde bulunmamız sağlanacak ve böylece ekonomik ve sosyal fayda elde etmemiz mümkün olacaktır. Çalışmamızın devamında acil durum senaryosu test edilerek hastaneye erişim değerlendirilmiş ve bu noktadaki eksiklikler tespit edilmiştir. Tasarım projesinde hastane özelinde değerlendirme yapılmamış olması, proje tasarım sürecine arazi kullanımının dahil edilmediğini ortaya koymaktadır. Ancak simülasyon modelleri ile bu faktör değerlendirilerek arazi kullanımına bağlı proje ihtiyaçlarının tespit edilebileceği görülmüştür.

Çalışmada ulaşımda modellemenin önemi vurgulanmıştır. Herhangi bir trafik düzenleme projesi için; dönüşü olmayan ya da çok büyük maliyetli olacak hataların sahada yapılmasını engellemek ve eksikliklerin tespiti amaçlanmalıdır. Bu amaçla çalışmada anlatılan simülasyon yöntemi ile modelleme sayesinde

akılcı ve kalıcı kararlar verilebilmesi için bilimsel metotlardan faydalanılmış olacaktır.

Kentlerin karşı karşıya kaldığı problemlere karşı sürdürülebilir planlama anlayışına ihtiyaç duyulduğu ve bu bağlamda kentsel planlamanın ayrılmaz bir parçası olarak ulaşım planlamasına dair bir çalışma yapılmıştır. Ulaşım planlama sürecinde ciddi bir trafik mühendisliği çalışması yapılmalı ve bunun sonucu olarak tasarımlar yapılarak planlama kararları öngörülmelidir.

Ulaştırma yatırımları, uzun dönemli etkileri olan yüksek maliyetli yatırımlardır. Bu sebepten bu tür projelere ilişkin önceliklerin doğru belirlenmesi ve kısıtlı ekonomik kaynakların en fazla yarar getirecek şekilde kullanılması çok önemlidir. Ulaştırmanın bir bütün olarak arazi kullanımı ile etkileşimleri de göz önünde tutularak planlanması gerekmektedir. Karayolu ulaşım ağında yaşanan sorunları uzun vadede çözebilmek için özel otomobil kullanımı azaltılarak toplu taşıma sistemlerinin kullanılmasına öncelik verilmelidir. Kısa vadede çözüm üretebilmek için ise, trafik sorunlarının en fazla yaşandığı alanlar olan kavşakların performansı arttırılmalıdır. Bu da karar vericilerin tasarlanacak kavşağın bulunduğu bölgenin özelliklerini, sürücü profillerini, trafik akım değerlerini doğru analiz edip en uygun kavşağın seçiminin yapılması sağlanarak gerçekleştirilebilir.

Yapılan simülasyon uygulamasında, modelin oluşturulması işlemi ve kalibrasyonu, bir güne ait zirve saatlerdeki trafik talep verileri kullanılarak yapılmıştır. Farklı birkaç güne ait trafik verilerinin modelde denenmesiyle ve kalibrasyona daha fazla zaman ayrılmasıyla gerçeğe daha yakın bir model elde edilebilir. Böylece, sorunların çözümüne yönelik geliştirilen senaryolar model üzerinde denenerek daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilecek ve saha uygulamasında alınacak kararlara yardımcı olabilecektir.

Sonuç olarak, simülasyon programları, alternatif senaryo durumlarını çok kısa sürede analiz ederek süre ve maliyet açılarından, tasarımcılara, en iyi seçeneğin bulunması konusunda yardımcı olmaktadır. Böylece üretilen projelerin Trafik

mühendisleri ve ulaştırma alanında çalışan diğer teknik personellerin güvenle başvurabileceği simülasyon programları, öğrenci ve akademisyenlere de akademik çalışmalarda yeni üretilen veya bilinen matematik modellerini test edebilme imkânı sunmaktadır. Projelerin arazi kullanımlarına yönelik mevcut kullanımların ya da planlanan kullanımlar için farklı senaryolar ile test edilmesi önemli bir kıstas olup projeler bu yönü ile ele alınarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

Akbulut, F., 2016. Kentsel Ulaşım Hizmetlerinin Planlanması Ve Yönetiminde Sürdürülebilir Politika Önerileri. Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11 (1), 343.

Akdemir, N., 2017. Tasarım Kavramının Geniş Çerçevesi: Tasarım Odaklı Yaklaşımlar Üzerine Bir İnceleme. Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 7 (1), 85-92.

Al- Hameedawı, S., 2017. Evaluatıon Of Travel Tıme For Dıfferent Type Of Vehıcles In Traffıc Sımulatıon, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Aydın, K., 2007. İstanbul Deniz Otobüsleri Seferlerinin Simülasyon Yardımıyla Planlanması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Ayhan, F., 2019. Esenyurt İlçesinde Nüfusun Gelişimi ve Bu Gelişimde Rol Oynayan Etmenler. Kent Akademisi Dergisi, 12 (37), 67-81.

Barnard, M., 2002. Sanat, Tasarım Ve Görsel Kültür. G. Korkmaz (Çev.), Ütopya Yayınları, Ankara.

Bayata, H.F. Bayrak, O.Ü., 2018. Yeni Yapılması Planlanan bir Kavşağın Mikro-Simülasyon ile Değerlendirilmesi. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3), 550-559.

Camcı, A.A., 2019. Kavşak Tasarımında Trafik Simülasyon Tekniklerinin Kullanımı Ve Sakarya İçin Uygulamalar, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya

Columbia River Crossing (CRC) Project, 2006. Vissim Calibration and Validation Technical Report, Erişim Tarihi: 10.09.2022, https://wsdot.wa.gov

Cyclist Türkiye, 2022. Erişim Tarihi: 18.03.2022. https://www.cyclistmag.com.tr

Çakıcı, Z., 2020. Sinyalize Kavşaklar İçin Optimizasyon Tabanlı Trafik Yönetim Modeli, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Denizli

Çelik, F., 1987. Denetimsiz Eşdüzey Kavşak Sisteminin Simülasyonu ve Taşıt Gecikmelerinin Formüle Edilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul

Duran, Z., 2016. Bir Proje Performans Ölçüm Sistemi Olarak Kazanılmış Değer Analizi Ve Bir Araştırma, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli

Eraslan, E. Algün, O., 2005. İdeal Performans Değerlendirme Formu Tasarımında Analitik Hiyerarşi Yöntemi Yaklaşımı. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(1), 95-106.

Eren, A., 2010. Şehirlerarası Otobüs Seferlerine İlişkin Gelir Belirleme Konusunda Bir Benzetim Uygulaması, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa

Esenyurt Kaymakamlığı, 2022. Erişim Tarihi: 20.01.2022. http://www.esenyurt.gov.tr

Gezgin, T., 2007. Sanat-Tasarım Olgusunun Zamansal İzdüşümü Ve 19. Yüzyıl Genel Karakteri İçinde Sanat Tasarım Gerçekliği. Anadolu Sanat, 18, 37-51

Gomes, G., May, A. Horowitz, R., 2003. A Microsimulation of a Congested Freeway Using VISSIM. Ulaştırma Araştırma Kurulu, 82. Yıllık Toplantısı, Washington

Hayırlıoğlu, M., 2017. Toplu Ulaşım Sistemlerinin Faydaları. Demiryolu Mühendisleri Derneği Dergisi, 6, 42-46

HCM, 2010. Highway capacity manual, 5th edition, Transportation Research Board, TRB, Washington, D.C., Aralık 2010.

Irgat, O., 2019. Makroskobik Ulaşım Modelleme Teknikleri Kullanarak Karayollarında Trafik Güvenliği Analizleri, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2022. Erişim Tarihi: 10.06.2022, https://cbs.ibb.gov.tr

İsbak İstanbul Bilişim Ve Akıllı Kent Teknolojileri A.Ş, 2022. Erişim Tarihi: 05.05.2022. (Flash Disk)

Kavcar, B., 2004. Simülasyon Yöntemi Kullanılarak Yapılan Satış Tahminleriyle Satış Bütçesi Hazırlanması, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara

Kopal, B., 2011. Boğaziçi Köprüsü Üzerindeki Trafik Sıkışıklığının Hız Yönetimi Yöntemiyle Azaltılması, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Kös, M., 2015. Kentiçi Ulaşım Problemlerine Alternatif Entegre Bisiklet Ulaşımı Planlaması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

M1 İstanbul Metrosu, 2022. Erişim Tarihi: 11.01.2022. https://tr.wikipedia.org

Murat, Y. Ş., 2012. Kavşakların Planlanması, Erişim Tarihi: 08.10.2022, https://docplayer.biz.tr

Ocakdan, S., 2010. Arterlerin Yeniden Yapılandırılmasında Simülasyon Tekniği İle Karar Verme Ve Bir Kavşak Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Oktan, H., 2021. Erzurum'da Üç Kavşaktan Oluşan Koridorun Mikrosimülasyon Ve Ahp Yöntemiyle İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.

Öğütveren, E., 2019. Modern Dönel Kavşakların Geometrik Tasarımı Ve Kapasite İlişkisi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.

Öncü, E., 1997. Kent içi Ulaşımda 21. Yüzyıl Perspektifi. Ulaşım – Trafik Kongresi, , 21-42, Ankara.

Özdamar K., 1988. Bilgisayar ile Benzetim Yöntemleri (Benzetime Giriş). Anadolu Üniversitesi Yayınları, No:281, Eskişehir.

Şahin, M., 2012. Türkiye'de Yapılan Bölünmüş Yolların Trafik Güvenliğine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Şenlik, İ., 2016. Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemleri. Elektrik Mühendisliği Dergisi, 458, 37-39

TEH 2010. Traffic engineering handbook, Institute of Transportation Engineers. 6 th Edition, HE333. T68 2008, Washington.

Tiwari, G., 2006. Urban Passenger Transport. Framework for an Optimal Modal Mix, INRM Policy Brief Series, No: 1, Asian Development Bank, New Delhi

Türkiye İstatistik Kurumu, 2021. Erişim Tarihi: 10.05.2022, https://www.tuik.gov.tr

Türkiye Kent İçi Bisikletli Ulaşım Strateji Planı (2030), 2022. Erişim Tarihi: 20.01.2022, https://wrisehirler.org

Yaya ve bisikletli haraketliliği, 2018. Erişim Tarihi: 08.10.2022https://www.haberturk.com

Yayla, N., 2004. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, 211-223, İstanbul

Yılmaz, E., 2006. Karayolu Trafik Simülasyonu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon

Yiğit, S., Suri, L., 2020. Kent İçi Ulaşımda Aktarma Merkezlerinin Rolü Ve Yenibosna Aktarma Merkezi Projesi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 19(37), 11-21.

Yurdakul, İ., 1988. Genel Çizgileriyle Tasarım. Sanat Yazıları III. Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, 109-110-112, Ankara

Zincir Market Taşımacılığı, 2022. Erişim Tarihi: 09.12.2022, http://www.fourskylojistik.com

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Menekşe ŞEKER MURAT

Eğitim Durumu

Lise : Kasımoğlu Fen Lisesi, 2004

Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü

Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Kamu Yönetimi Bölümü

Yayınlar

Şeker Murat, M. Suri, L., 2022. Kent İçi Ulaşım Projelerinde Mikrosimülasyon Yönteminin Kullanılması: Esenyurt Ahmet Arif Caddesi Örneği. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Basımda.