



T.C.
NECMETTİN ERBAKANÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**TRAFİK IŞIKLARINDA TRAMVAY
ÖNCELİKLİ SİSTEMİN MODELLENMESİ**

Mehmet BELEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mehmet BELEK

16/02/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TRAFİK IŞIKLARINDA TRAMVAY ÖNCELİKLİ SİSTEMİN MODELLENMESİ

Mehmet BELEK

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

2022, 53 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Sabri ALTUNKAYA

Günümüzde özel taşıt kullanımının artmasıyla birlikte, özellikle büyük şehirlerde yoğun trafiğin oluşturduğu birçok sorun ortaya çıkmıştır. Trafik yoğunluğu, seyahat süresinin artmasına, fazla yakıt sarfıyatıyla birlikte yüksek enerji maliyetlerine ve egzoz gazı emisyonu nedeniyle çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Belirtilen bu sorunların çözümünde toplu ulaşım sistemlerinin yaygınlaştırılması ve kullanımının özendirilmesi gerekmektedir. Toplu ulaşım araçlarının cazip hale getirilmesinde en önemli unsurlardan birisi de trafik ışıklarında tramvaylara geçiş önceliği verilmesidir. Trafik ışıklarında tramvaya geçiş önceliği uygulanması sonucunda, seyahat sürelerinin iyileştirilmesi ve seyahat sürelerindeki zaman tasarrufuyla birlikte toplu ulaşım talebin artması ve kullanıcılarının memnuniyet düzeyi, zaman kazançları maksimize edilirken işletmeci yönünden de giderlerin azaltılması sağlanacaktır.

Tez kapsamında, trafik ışıklarında tramvaya geçiş önceliği uygulaması Konya İli, Selçuklu İlçesi, Vatan Caddesi ve Hastane Caddesi kesişimi Belediye Kavşağında gerçekleştirilmiştir. Belediye Kavşağında tramvaylara tanınan öncelik uygulamasının öncesi ve sonrası ile ilgili veriler toplanıp VISSIM benzetim yazılımı üzerinde modellenmiştir.

Modellemeden elde edilen veriler sonucunda kavşak üzerinde tramvay başına ağırlıklandırılmış ortalama bekleme süresi, mevcut durumda 67,57 saniye olduğu, bu sürenin tramvay önceliği uygulandığında 37,09 saniyelere düşmesiyle %45,10 iyileşme sağlanacaktır. Kavşakta bulunan hafif taşıtların taşıt başına ağırlıklandırılmış ortalama bekleme süresi, mevcut durumda 31,3 saniye olduğu, bu sürenin tramvay önceliği uygulandığında 27,19 saniyelere düşmesiyle %13,13 iyileşme sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Geçiş Önceliği, Öncelikli Sistem, Toplu Ulaşım, Trafik Sinyalizasyon, Tramvay

ABSTRACT

MS THESIS

MODELLING OF TRAM PRIORITY SYSTEM AT TRAFFIC LIGHTS

Mehmet BELEK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN

2022, 53 Pages

Jury

**Assist. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN
Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Assist. Prof. Dr. Sabri ALTUNKAYA**

Today, with the increase in the use of private vehicles, many problems have emerged, especially in big cities, caused by heavy traffic. Traffic density causes an increase in travel time, high energy costs with excessive fuel consumption, and environmental pollution due to exhaust gas emissions. In order to solve these problems, it is necessary to expand and encourage the use of public transportation systems. One of the most important factors in making public transportation vehicles attractive is to give priority to trams at traffic lights. As a result of the implementation of priority to the tram at the traffic lights, together with the improvement of travel times and time savings in travel times, the demand for public transportation will be increased, and the satisfaction level of its users and time savings will be maximized while reducing the expenses for the operator.

Within the scope of the thesis, the application of priority to the tram at the traffic lights was carried out at the Belediye Junction at the intersection of Vatan Street and Hastane Street in Konya Province, Selçuklu District. Data were collected and modeled on VISSIM simulation software, before and after the priority given to trams at the Belediye Junction.

As a result of the data obtained from the modeling, the weighted average waiting time per tram on the intersection is 67.57 seconds in the current situation, and this time will decrease to 37.09 seconds when the tram priority is applied, and an improvement of 45.10% will be achieved. Weighted average waiting time per vehicle for light vehicles at the intersection is currently 31.3 seconds, reducing this time to 27.19 seconds when tram priority is applied, resulting in an improvement of 13.13%

Keywords: Transition Priority, Priority System, Public Transportation, Traffic Signaling, Tram

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimine başladığım andan itibaren desteğini esirgemeyen, tez çalışmamın planlanması, yürütülmesi ve oluşumunda yol gösteren değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN’ateşekkürü bir borç bilirim.Sistem Modellemesinde yardımlarını esirgemeyen Enes YÜNCÜ, Şule YILDIZ,Mehmet Eray BALCI ve Mehmet Alper KOÇ’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca yardım ve katkılarını esirgemeyen Konya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanı Dr. Hasan GÖRGÜLÜ, Trafik Sinyalizasyon Şube Müdürü Eyüp SOYKÖK ve tüm mesai arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Tez çalışması süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet BELEK
Konya-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Önemi.....	1
1.2. Tezin Kapsamı	2
1.3. Literatür Araştırması	2
2. KENT İÇİ TOPLU ULAŞIM SİSTEMLERİ	5
2.1. Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım Sistemleri	6
2.1.1. Otobüs sistemleri.....	6
2.1.2. Metrobüs sistemleri.....	7
2.1.3. Trolleybüs	8
2.1.4. Dolmuş /Minibüs.....	9
2.2. Raylı Toplu Ulaşım Sistemleri.....	9
2.2.1. Metro sistemleri	10
2.2.2. Banliyö sistemler.....	11
2.2.3. Hafif raylı sistemler.....	11
2.2.4. Tramvay sistemleri.....	12
3. TRAFİK SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ	14
3.1. İzole Sinyalizasyon Sistemleri.....	14
3.1.1. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi.....	14
3.1.2. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi.....	15
3.1.3. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi	15
3.1.4. El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi	16
3.2. Koordine Sinyalizasyon Sistemi	16
4. TRAFİK IŞIĞINDA ÖNCELİKLİ SİSTEMLER.....	17
4.1. Trafik Işığında Öncelik Uygulama Türleri.....	17
4.1.1. Kavşak tabanlı ışık önceliği sistemleri.....	17
4.1.2. Ağ tabanlı ışık önceliği sistemleri.....	17
4.2. Trafik Işığında Geçiş Önceliği Yöntemleri	18
4.2.1. Erken yeşil süresi verme.....	18
4.2.2. Yeşil süresi uzatma	18

4.2.3.	Faz ekleme	19
4.2.4.	Faz değişimi.....	19
4.3.	Toplu Ulaşım Araçlarını Algılama Sistemleri	20
5.	KONYA’DA TOPLU ULAşIMDA RAYLI SİSTEMLER	21
5.1.	Mevcut Raylı Sistem Hatları.....	21
5.2.	Yapılması Planlanan Raylı Sistem Hatları	23
6.	BENZETİM VE MODELLEME	25
6.1.	Benzetimin Üstünlük ve Zayıflıkları.....	25
6.2.	Benzetimin Kullanım Alanları	25
6.3.	Çalışmada Kullanılan Benzetim Yazılımı	26
7.	MATERYAL VE YÖNTEM	29
7.1.	Çalışma Alanı.....	29
7.2.	Kavşak Gruplandırılması.....	29
7.3.	Kavşaktaki Trafik Hacimleri	31
7.4.	Kavşaktaki Mevcut Sinyal Düzeni	32
7.5.	Kavşaktaki Tramvay Öncelikli Sinyal Düzeni	33
7.6.	Saha Uygulaması.....	34
7.7.	Saha Verilerinin Benzetim Yazılımına Aktarılması	39
7.8.	Mevcut ve Tramvay Öncelikli Duruma ait Modellerin Değerlendirilmesi	42
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
8.1.	Sonuçlar	47
8.2.	Öneriler	47
9.	KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİř	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	

SİMGELER VE KISALTMALAR

GPS	:	(Global Positioning System) Küresel Konumlama Sistemi
HRS	:	Hafif Raylı Sistemler
KBB	:	Konya Büyükşehir Belediyesi
KKC	:	Kavşak Kontrol Cihazı
METİS	:	Merkezi Trafik Yönetim Sistemi
Sa	:	Saat
Sn	:	Saniye
VAP	:	Vehicle Actuated Programming
VISSIM	:	(Verkehr in Stadt Simulation) Mikro Ölçekli Trafik Simülasyon Yazılımı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kent içi ulaşım sistemleri.....	5
Şekil 2.2.	Otobüs aracı.....	6
Şekil 2.3.	Metrobüs aracı	8
Şekil 2.4.	Trolleybüs aracı	9
Şekil 2.5.	Metro aracı	10
Şekil 2.6.	Banliyö aracı	11
Şekil 2.7.	Hafif raylı sistem aracı	12
Şekil 2.8.	Tramvay aracı	13
Şekil 3.1.	Trafik sinyalizasyon sistemleri.....	14
Şekil 4.1.	Erken yeşil süresi verme ve yeşil süresi uzatma uygulaması	19
Şekil 4.2.	Dört kollu bir kavşağın faz sıralaması	20
Şekil 5.1.	Alaaddin-Kampüs arası tramvay hattı	22
Şekil 5.2.	Alaaddin-Adliye arası tramvay hattı	23
Şekil 5.3.	Mevcut ve planlanan raylı sistem hatları	24
Şekil 6.1.	VISSIM paket yazılımında benzetimin koşturulma süreci	28
Şekil 7.1.	119 no'lu Belediye Kavşağının uydu görüntüsü	29
Şekil 7.2.	119 no'lu sinyalize kavşağın projesi	30
Şekil 7.3.	Mevcut sinyal düzeni.....	32
Şekil 7.4.	119 no'lu sinyalize kavşağın (1-3-2-1) sinyal diyagramı.....	33
Şekil 7.5.	119 no'lu sinyalize kavşağın (1-4-3-2-1) sinyal diyagramı.....	33
Şekil 7.6.	119 no'lu sinyalize kavşağın (1-3-4-2-1) sinyal diyagramı.....	34
Şekil 7.7.	119 no'lu sinyalize kavşağın (1-3-2-4-1) sinyal diyagramı.....	34
Şekil 7.8.	Araç sayım kamera montaj görüntüsü.....	35
Şekil 7.9.	Belediye kavşağına ait gece/gündüz sayım görüntüleri.....	35
Şekil 7.10.	Endüktif kapalı devre sistem yapısı.....	36
Şekil 7.11.	Loop'un zemin altına yerleştirilmesi.....	36
Şekil 7.12.	Merkezi yönetim modülü	37
Şekil 7.13.	Kavşak kontrol cihazı	38
Şekil 7.14.	Belediye Kavşağına ait METİS verileri.....	39
Şekil 7.15.	VISSIM yazılımına ait ana ekran görüntüsü	40
Şekil 7.16.	Mevcut duruma ait algoritma akış diyagramı	41
Şekil 7.17.	Tramvay öncelikli duruma ait algoritma akış diyagramı.....	42
Şekil 7.18.	Mevcut duruma ait simülasyon sonuçları	43
Şekil 7.19.	Tramvay öncelikli duruma ait simülasyon sonuçları.....	44

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 7.1.	05.01.2022 Sabah (07:30-08:30) arası sayımlar	31
Çizelge 7.2.	05.01.2022 Gün içi (12:30-13:30) arası sayımlar	31
Çizelge 7.3.	05.01.2022 Akşam (17:30-18:30) arası sayımlar	31
Çizelge 7.4.	Mevcut durumun kavşak kollarındaki taşıt başına ortalama bekleme süreleri	45
Çizelge 7.5.	Tramvay öncelikli durumun kavşak kollarındaki taşıt başına ortalama bekleme süreleri	45
Çizelge 7.6.	Mevcut ve tramvay öncelikli durumun kavşak kollarındaki taşıt başına ağırlıklandırılmış ortalama bekleme süreleri	46
Çizelge 7.7.	Tramvay ve hafif taşıtların taşıt başına ağırlıklandırılmış ortalama bekleme süreleri	46



1. GİRİŞ

Dünya nüfusu her geçen gün artmaktadır. Artan nüfusla birlikte ortaya çıkan ihtiyaçların karşılanmasında, mevcut alt yapılar yetersiz kalmaktadır. Karşılanamayan bu gereksinimlerin insan hayatı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkileri azaltmak için birçok alanda iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Bu alanların en önemlilerinden biri de trafiktir. Nüfusun artmasıyla birlikte trafikteki taşıt sayısı da artmaktadır(Yücel ve Büyükçay, 2013).

Günümüzde özel taşıt kullanımının artmasıyla birlikte, özellikle gelişmiş ve büyük kentlerde yoğun trafiğin oluşturduğu birçok sorununda ortaya çıkmasına neden olmuştur. Trafik yoğunluğu, seyahat süresinin artmasına, fazla yakıt sarfiyatı yüksek enerji maliyetlerine ve egzoz gazı emisyonu çevre kirliliğine yol açmaktadır(Yücel ve Büyükçay, 2013). Bu sorunun çözümünde toplu ulaşım sistemlerinin yaygınlaştırılması ve kullanımının özendirilmesi gerekmektedir. Kent içi toplu ulaşım sistemleriyle daha fazla yolcunun daha az taşıtla taşınması sağlanıp, trafik yoğunluğu azaltılabilmektedir(Sarısoy ve arkadaşları, 2015). Ayrıca trafik ışıklarında toplu ulaşım araçlarına geçiş önceliği tanınmasıyla, seyahat esnasında oluşan zaman kayıpları önemli ölçüde azalacaktır.

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Günümüzde trafik sorunu, özellikle kontrolsüz büyüyen kentlerde yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Trafik sorununu çözmek için toplu ulaşım hatlarının iyileştirilmesi ulaşım altyapı kapasitesinin yükseltilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Toplu ulaşımın daha cazip hale getirilmesiyle trafik sorunu azaltılabilecektir. Trafik ışıklarında toplu ulaşım araçlarına geçiş önceliği verilmesi toplu ulaşım hatlarındaki zaman kayıplarını önemli ölçüde azaltacaktır.

Bu çalışmada, tramvay toplu ulaşım sistemlerine, sinyalize olan kavşaklarda geçiş önceliği sağlanması ile seyahat sürelerinin iyileştirilmesi planlanmaktadır. Seyahat sürelerindeki zaman tasarrufuyla birlikte toplu ulaşım talebin artması ve kullanıcılarının memnuniyet düzeyi, zaman kazançları maksimize edilirken işletmeci açısından da giderlerin azaltılması sağlanacaktır. Ayrıca tramvaylara tanınan geçiş önceliği sayesinde tramvay gelmediği zaman kavşak kendi içinde dinamik bir şekilde

alışmasını sürdürerek araçların kavşaklarda bekleme süreleri en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.

1.2. Tezin Kapsamı

Bu tez, trafik ışıklarında tramvaya geçiş önceliğı modellenmesi başlığı altında Konya İlinde seçilen kavşakta tramvaylara tanınan öncelik uygulamasının öncesi ve sonrası ile ilgili analizler yapılmıştır. Tez sekiz bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm; giriş, tezin amacı ve önemi, tezin kapsamı ve literatür araştırmasından oluşmaktadır. İkinci bölüm; kent içi toplu ulaşım sistemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde; trafik sinyalizasyon sistemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde; trafik ışığında öncelikli sistemler hakkında bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde; Konya’da toplu ulaşımında raylı sistemler hakkında bilgiler verilmiştir. Altıncı bölümde; benzetim ve modelleme hakkında bilgiler verilmiştir. Yedinci bölümde; çalışma alanı tanıtılarak tramvay geçiş önceliğı saha uygulamaları ile ilgili veriler toplanıp analiz çalışmaları yapılmıştır. Sekizinci bölüm olan son bölümde; tez çalışmasının sonuçlarına yer verilmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlar, bir önceki bölümde elde edilen sonuçlara ve tartışmalara dayanılarak yapılmıştır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalara yön vermek için önerilerde bulunulmuştur.

1.3. Literatür Araştırması

Bu tez çalışması kapsamında daha önceden yapılan çalışmalar araştırılmış ve literatür taraması yapılarak aşığıda belirtilmiştir.

Erciyes (2016) yaptığı çalışmada, Münih şehrinde toplu ulaşım hatlarının nasıl hızlandırıldığı ve bu hatların hızlandırma aşamalarını ele almıştır. Hızlandırılması düşünülen hatta yolculuk süresi ölçümleri sonucu en çok zaman kaybının trafik ışıklarında yaşandığı ve bu nedenle de toplu ulaşım araçlarını hızlandırmak için trafik ışığında toplu ulaşım öncelik vermekten geçmektedir. Öncelikli sistemin sağlanabilmesi için toplu ulaşım aracında ve yol altyapısında bazı teknik donanımların olması gerekmektedir. Trafik ışıklarında yeşil süresini uzatma, öne çekme ve faz değışikliğı işlemlerinden hangisinin uygulanması gerekiyorsa, önceden programlanmış mantık devreleri sayesinde trafik ışıklarında toplu ulaşım araçlarına gerekli öncelik verilir. Toplu ulaşım işletmecisi, hızlandırılmış hatlarda yolculuk sırasındaki kayıp

zamanların azaltılmasıyla araç tasarrufu yapabilmektedir. Yolculuk süresinin kısılması ve işletme maliyetlerinin azaltılmasıyla birlikte hat verimliliği arttırılmıştır (Erciyes, 2016).

Polat (2017) yapmış olduğu tez çalışmasında, trafik ışığında otobüs önceliği uygulamasının etkilerini araştırmıştır. Otobüslere trafik ışığında geçiş önceliği uygulaması sonucunda, otobüslerin seyahat sürelerinin kısılması ve dakik olması neticesinde, yolcuların trafikte harcadığı zamanı azaltmayı amaçlamaktadır. Trafik ışıklarında otobüs önceliği etken ve edilgen öncelik olarak iki şekilde uygulanabilir. Bu çalışma kapsamında, ışıklı bir kavşakta gözlem yapılmış ve toplanan veriler ile kavşak VISSIM benzetim yazılımı ile modellenmiştir. Daha sonra kavşağın bir kolunda, otobüslere trafik ışığında yeşil süresi uzatma yöntemi kullanılarak öncelik verilmiştir. Trafik ışığında otobüslere tanınan öncelikli sistem ile mevcut durum karşılaştırılmıştır. Modellemeyen elde edilen sonuçlara göre kavşak üzerinde otobüs başına olan ortalama gecikmelerin mevcut durumda 27,5 sn iken, otobüs önceliği uygulandığında 18,5 sn'ye düştüğü gözlemlenmiştir (Polat, 2017).

Camcı (2019) yaptığı çalışmada, kavşak tasarımında trafik simülasyon yazılımlarını kullanmanın etkisini araştırmıştır. Sakarya ilinde bulunan iki kavşağı geleneksel yöntemler ile incelemiş, araç sayımları yapılarak güzergâhlar üzerindeki trafik hacmini ortaya koymuştur. Çalışmada VISSIM paket yazılımını kullanarak, kavşak modelleri oluşturulmuş ve trafik parametreleri yazılıma girilmiştir. Güncel durumdaki kuyruk uzunlukları iki kavşak içinde hesaplanmıştır. İki kavşak için yapılan farklı senaryo çalışmalarıyla mevcut durumlar karşılaştırılmış ve alternatif önerilerde bulunulmuştur (Camcı, 2019).

Aktaş ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, Sakarya ilinde modellenen sinyalizasyon kavşaklarda meydana gelen ortalama taşıt gecikmelerinin tüm trafik sistemini doğrudan etkilediğini belirtmişlerdir. Gecikme sürelerindeki artışın, sürücülerin hat seçiminde ve buna bağlı olarak trafiğin yol ağı üzerindeki dağılımında doğal bir rol oynadığını göstermişlerdir. Çalışmada, Sakarya ili kent içi sinyalizasyon kavşaklarda meydana gelen ortalama gecikmelerin taşıt cinsi ve miktarına bağlı olarak nasıl etkilendiğini, VISSIM simülasyon programıyla incelemişler ve Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan alınan resmi taşıt cinsi, sayısı ve ışık süreleri çalışmanın ana girdi parametrelerini oluşturmuş ve bu araç sayıları eşit yüzdelik oranlarla arttırılarak ortalama gecikmeye etkisini araştırmışlardır (Aktaş ve ark., 2017).

Adıyaman ve Gündoğdu (2011) yaptıkları çalışmada, raylı sistemlerde trafik geçiş üstünlüğü sağlanması için kullanılan teknolojiler, öncelikli sistemin avantajları ve uygulamada ki problemler üzerinde durmuştur. Raylı sistemlerin geçiş önceliği uygulamasında aktif öncelik sistemlerinden yeşil süresi uzatma veya erken yeşil yakma uygulamaları tercih edilmiştir. Erken yeşil yakma uygulamasının yoğun kavşaklarda bekleme sürelerinin çok uzamasına, tolere edilmeyecek kuyruk uzunlukları oluşturmaya neden olmuştur. Bu nedenle raylı sistemin geçtiği yoğun kavşaklarda öncelik isteği geldiğinde fazları yarıda kesmeyip, işletilen fazın bitiminde öncelik verilmiştir. Raylı sisteme öncelik tanınmadığı takdirde toplam yolculuk süresinin yaklaşık % 10'u kadar kavşaklarda bekleme süresi oluşmaktadır. Bunun yanında sefer aralığının tutturulabilmesi için ilave araç ihtiyacı olacağından işletme maliyetleri artacaktır(Adıyaman ve Gündoğdu, 2011).

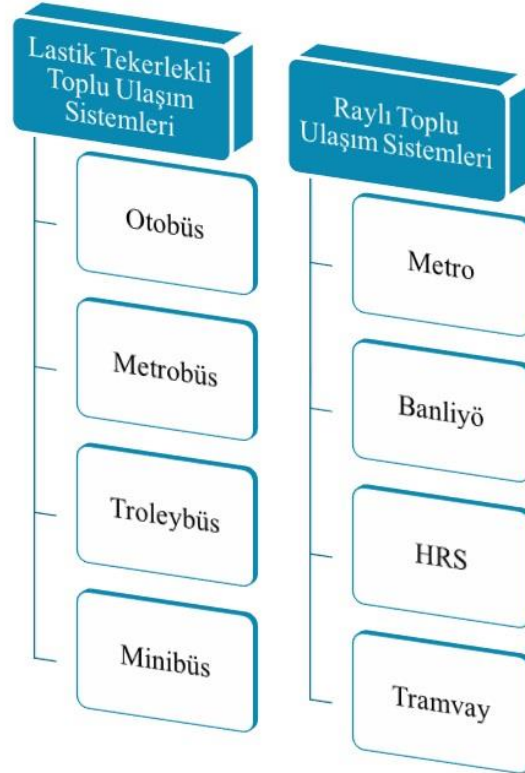
Yücel ve Büyükçay (2013) yaptıkları çalışmada, kavşağa yerleştirilecek sensörler ile taşıt yoğunlukları algılanıp bu yoğunluk değerlerine göre kavşağın adaptif olarak yönetilmesi için bir yöntem önermişler. Sinyalize kavşakların tam adaptif olarak yönetimini sağlayan bu yöntem, kavşağa yerleştirilen kameralardan gelen anlık ve geçmiş verileri kullanarak, bir sonraki faza ait tüm durumları analiz eder. Ortalama bekleme süresinin en düşük olduğu durum işleme konarak, yeşil ışık süresi ve bir sonraki aktif faz belirlenir. Önerilen yöntem Konya İhsaniye Kavşağı'nda uygulanmış olup, gerçek veriler ışığında ve benzetim ortamında taşıtların kavşakta ortalama bekleme süresinin yaklaşık%40 azaldığı gözlenmiştir (Yücel ve Büyükçay, 2013)

Bayrak ve arkadaşları (2014) yaptıkları çalışmada kavşakların araç yoğunluklarına göre yönetilmesini sağlayarak, kavşaklardaki bekleme sürelerinin azaltılmasını amaçlamaktadır. Çorum ilinde 6 kavşağın dinamik hale dönüştürüldükten sonra, bu kavşaklarda performans analizi yapmayı amaçlamıştır. Sabit zamanlı ve dinamik çalışma sonrasında günün üç farklı zaman diliminde ki ortalama bekleme süreleri hesaplanmıştır. Ayrıca araç sayımları dikkate alınarak ağırlıklandırılmış bekleme süreleri çıkarılmıştır. Sabit zamanlı kavşakların dinamik hale dönüştürülmesi neticesinde yaklaşık %48 iyileşme sağlanmıştır (Bayrak ve ark., 2014).

2. KENT İÇİ TOPLU ULAŞIM SİSTEMLERİ

Toplumsal yaşamın en önemli öğelerinden biriside ulaşımır. İnsanlar kent içerisinde bir noktadan başka bir noktaya en kısa sürede, güvenli, konforlu ve ekonomik bir şekilde ulaşabilmek için ulaşım araçlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Günümüzde özel araç kullanımının artmasıyla birlikte yoğun trafiğin oluşturduğu birçok sorunlar ortaya çıkmıştır. Trafik yoğunluğu seyahat sürelerinin uzamasına neden olurken, fazla yakıt sarfiyatıyla yüksek enerji maliyetleri ve egzoz gazı emisyonu çevre kirliliğine yol açmaktadır(Yücel ve Büyükçay, 2013). Dolayısıyla bu sorunun çözümünde devreye toplu ulaşım sistemleri girmektedir.

Kırsal alanlardan gerçekleşen göçler, her geçen yıl kentlerde önemli bir nüfus artışına neden olmaktadır. Kentsel nüfusun hızla artmasıyla birlikte yüksek kapasiteli toplu taşıma araçlarına olan gereksinimlerde artmıştır. Bunun sonucunda kentlerde ulaşım taleplerinin karşılanabilmesi için gerekli olan finansman, teknoloji ve ar-ge çalışmaları gün geçtikçe önem kazanmaktadır (Topdağı, 2017). Şekil 2.1’de bu bölümde ele alınan kent içi ulaşım sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Kent içi ulaşım sistemleri

2.1. Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım Sistemleri

Lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemleri transit ve paratransit olarak ikiye ayrılmaktadır. Birden fazla yolcu taşıyabilen araçlar için ayrılmış şeritli sistemler transit sistemler, geleneksel toplu taşımadan, güzergâh ve tarife durumuyla daha esnek olması şeklinde ayırt edilebilen sistemler paratransit sistemler olarak adlandırılırlar(Tüýdeş ve Göker, 2007).

2.1.1. Otobüs sistemleri

Günümüzde otobüs sistemleri kent içi ulaşımında en çok tercih edilen toplu ulaşım türüdür. Küçük şehirlerde temel taşıma sistemi olarak, gelişmiş ve büyük kentlerde ise raylı sistem hatlarına yolcu taşıyan ara ulaşım aracı olarak kullanılmaktadır. Özel araçların ya da kapasitesi düşük taşıtların işgal ettiği alan, yakıt sarfiyatı ve yolcu taşıma kapasiteleri gibi ölçütler göz önüne alındığında, otobüs sistemleri karayolu taşıtları arasında ekonomiklik, çevreye duyarlılık ve ihtiyaç duyduğu alan bakımından en etkin ulaşım sistemidir.

Kapasite ve çevresel etkileri dikkate alındığında raylı sistemler otobüslere göre daha avantajlı sistemlerdir. Otobüs sistemleri yatırım maliyetleri ve kullanım esnekliği yönünden raylı sistemlere göre daha çok tercih edilmektedir. Şekil 2.2'de otobüs aracı gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Otobüs aracı (URL-1)

Otobüs işletmeciliği ülkelere göre farklılıklar göstermekte olup, 3 değişik yöntem ile hizmet vermektedir. Bunlar;

- ✓ Trafik tipi normal, karma ve öncelik verilmeyen işletmecilik,
- ✓ Sinyalizasyon, düşey ve yatay işaretleme yöntemleriyle trafikte önceliğe sahip otobüs işletmeciliği,
- ✓ Mevcut trafikten tecrit edilen güzergâhlarda hizmet veren otobüs işletmeciliği(Cirit, 2014).

2.1.2. Metrobüs sistemleri

Karayolu ulaşımı, lastik tekerlekli sistemler olmasına rağmen raylı sistemler gibi çalışabilen kendisine ayrılan şeritlerde hareket etmektedir. Hızları, konfor ve kapasite seviyesi bakımından yüksek sistemlerdir. Yatırım ve işletme maliyetleri raylı sistemlere göre daha düşüktür. Trafikten izole edilmiş kendisi için ayrılan yolda seyahat etmesinden dolayı zamandan tasarruf sağlayabilen bir toplu ulaşım sistemidir(Çakır ve Diktaş 2011).

Sağladığı konfor ve hizmet düzeyi ile toplu ulaşım kullanıcıları üzerinde olumlu etki bıraktığı gibi gelişmekte olan ülkelerin, toplu ulaşım yatırımlarında kaynak sıkıntısına cevap verebilen pratik bir çözüm yoludur(Yazıcı, 2010). Metrobüs sistemlerinde yolcular tüm kapılardan aynı anda inip binmeleri ve bilet ücretlerinin ön ödemeli şekilde yapılması toplu ulaşımında seyahat sürelerinin kısaltılmasında önemli rol oynar. Metrobüs aracı Şekil 2.3'de verilmiştir.

Peronlarda durak platformları metrobüslerin kapı yüksekliğine uygun olarak imal edilmesi yolcuların araca daha kolay inip binmeleri neticesinde zamandan da tasarruf edilmiş olur(Topdağı, 2017).



Şekil 2.3. Metrobüs aracı (URL-2)

2.1.3. Trolleybüs

Trolleybüsler için ihtiyaç olan enerji Şekil 2.4’de görüldüğü üzere genellikle katener direkleri üzerinden sağlanır. Bu sistemlerin ilk yatırım maliyetleri otobüs sistemlerine kıyasla daha fazladır. Trolleybüs sistemlerin çevreye karşı olumlu etkileri ve uzun işletme ömürleri sayesinde bu fark kapanmaktadır. Avantajları; yüksek ivme ve tırmanma kapasitesine sahip olmasından dolayı yüksek eğimli arazilerde kullanılır. Kendine ayrılan yollarda yüksek teknolojili araçlar ile tam kapasitede yüksek hızlarda seyahat edebilir. Trolleybüsler elektrik enerjisi kullandığından gürültü seviyesi ve hava kirliliği değerleri düşüktür(Büyükbaş, 2016).



Şekil 2.4. Trolleybüs aracı (URL-3)

2.1.4. Dolmuş /Minibüs

Ülkelerde toplu ulaşım sistemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda otobüs duraklarında yolcu yığılmalarını önlemek amacıyla ara toplu taşıma sistemi olarak dolmuş ve minibüsler kullanılmaktadır (Abbaskılıç, 1994). Kent içi toplu ulaşım sistemlerinde dolmuş ve minibüsler yolcuların daha kısa mesafelerde tercih ettikleri ulaşım araçlarıdır. Manevra kabiliyetleri bakımından cadde ve sokakların daralan kısımlarında otobüslere kıyasla daha rahat hareket edebilmektedir.

2.2. Raylı Toplu Ulaşım Sistemleri

Raylı sistem hattı boyunca sabit bir güzergâhta yük veya yolcu taşıma amacıyla tek ya da birleşik araçlarla oluşan sistemler bütünüdür (Öztürk, 2012). Kentlerde görülen nüfus artışlarıyla beraber yüksek seviyelere ulaşan yolculuk talebinin mevcut otobüs sistemi ile karşılanmasının imkânsız olduğu ve yolculuk talebi yüksek olan koridorlarda raylı sistem taşımacılığının yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Toplu ulaşım sistemlerinden raylı sistemler nüfusu kalabalık olan kentlerde yaygın olarak kullanılmakla beraber sıklıkla tercih edilirler (Türkmen, 2019).

2.2.1. Metro sistemleri

Kent içi toplu ulaşım sistemleri arasında maksimum yolcu taşıma kapasitesiyle bilinen metro sistemleri, pek çok ülkede ana ulaşım sistemi olarak tercih edilmektedir. Birçok ülkede metrolar farklı isimlerle karşımıza çıkar. Örneğin; ABD’de “*Subway*”, Almanya’da “*S-Bahn*” veya “*U-Bahn*”, Fransa’da “*Metro*”, İngiltere’de “*Underground*”, ve Rusya’da “*Metropolitan*” bunlardan bazılarıdır (Çubuk ve arkadaşları, 2003).

Günümüzde tek yönde saatte 30000 ve üzeri yolcu kapasitesi olan hatlarda metro toplu ulaşım sistemlerinin kullanılması tercih edilmektedir. Banliyö hatları ve bölgesel demiryolu bağlantıları dışında karayolu ile herhangi bir bağlantısı olmayan bağımsız bir kentsel demir yolu ağıdır (Evren, 1978).

Raylı ulaşım sistemlerinde tam tecritli olan metro sistemleri, yüzeydeki trafik yükünün azaltılması amacıyla yer altında inşa edilirler. Metro hatları delme (tünel), yüzeyde hemzemin olarak veya viyadük üzerinde tasarlanarak inşa edilirler (Çubuk ve arkadaşları, 2003). Metro aracı Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Metro aracı (URL-4)

2.2.2. Banliyö sistemler

Kentler arası demiryollarından farkı kısa mesafe yolcu taşımacılığı ile ayrılmaktadır. Kent merkezi ile sınırlarını birleştiren gün boyunca yolcu taşıyan sistemlerdir. Metro gibi yüksek kapasitede yolcu taşımacılığının yanında hızlı, konforlu ve güvenlidirler.

Günümüzde kentlerin geniş bir alana yayılması sonucu artan trafik sıkışıklığı, hava kirliliği, park sorunları gibi durumlara karşı banliyö trenleri alternatif sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca işletme giderleri ve enerji sarfiyatı bakımından ekonomiktirler(Büyükbaş,2016). Şekil 2.6’da banliyö treni görülmektedir.



Şekil 2.6. Banliyö aracı (Büyükbaş, 2016)

2.2.3. Hafif raylı sistemler

Hafif Raylı Sistemler (HRS), kent içi toplu ulaşım sistemleri arasında tek yönde saatte 35000 yolcu taşıma kapasitesi ile önemli bir yere sahiptir. Bu sistemler yolculuk taleplerinin fazla olduğu hatlarda ana ulaşım sistemleri olarak tercih edilmekle birlikte, kent nüfusu fazla olan yerlerde yüksek kapasiteli sistemlerle entegre olarak çalışan tali ulaşım sistemleridir. HRS’ler tramvay ile benzer özelliklere sahip olmakla birlikte

tramvay ile metro arasında kalan yarı hızlı bir ulaşım sistemidir. HRS'ler güzergâh hattı boyunca trafikten bağımsız hale getirilip tecrit edilmiş ise daha hızlı, konforlu ve güvenli bir ulaşım sağlanmış olur(Bayram, 2018). Şekil 2.7'de hafif raylı sistem aracı görülmektedir.



Şekil 2.7. Hafif raylı sistem aracı (Büyükbaş, 2016)

2.2.4. Tramvay sistemleri

Tramvaylar raylı sistem hattı ve trafiğin durumuna göre bir sürücü tarafından kontrol edilen, elektrik enerjisini katenerden alan, tek yönde saatte 15000 yolcu taşıma kapasiteli raylı toplu ulaşım sistemleridir(Keskin, 2013).

Kent içi ulaşımında tramvayların hizmet kalitesi karayolu ulaşım araçlarıyla aynı yolu paylaşımlı olarak kullanmalarıyla doğrudan ilişkilidir. Tramvayların karayolu ulaşımıyla farklı güzergâhları kullanmaları durumunda tramvayların servis kalitesi artmaktadır(Türkmen, 2019).

Tramvaylar hemzemin ve trafik ile karışık şekilde işletilmekte olup, istasyon aralıkları diğer raylı sistemlere göre daha yakın olduğundan, işletme hızları düşük olup 15-30 km/s arasında değişebilmektedir(Cirit, 2014).

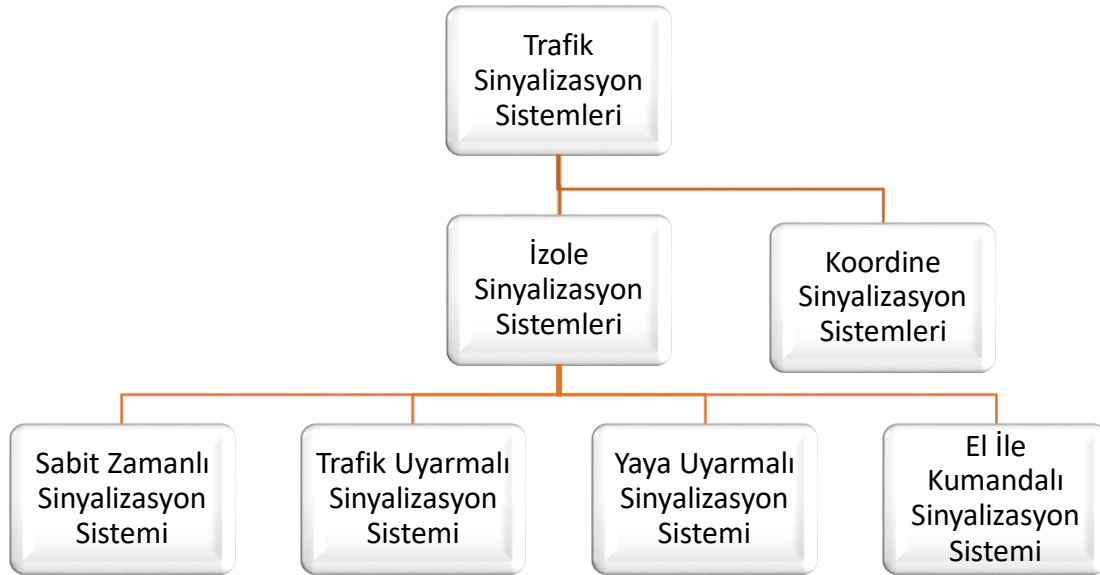
Tramvay sistemleri, metro ve hafif raylı sistemlere kıyasla yatırım maliyetleri çok düşük, yolcu hareketliliği en basit sistemlerdir(Büyükbaş, 2016). Şekil 2.8’de tramvay aracı gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Tramvay aracı (URL-5)

3. TRAFİK SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

Kavşaklarda trafik akışı ve yaya güvenliğinin sağlanması amacıyla sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de trafik sinyalizasyon sistemlerinin sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Trafik sinyalizasyon sistemleri

3.1. İzole Sinyalizasyon Sistemleri

İzole sinyalizasyon sistemleri, bir kavşağın yakınındaki diğer kavşaklar ile herhangi bir şekilde ilişkilendirilmediği sistemlerdir. Başka bir ifadeyle de kavşağın tek başına yönetildiği sistemler olarak tarif edilebilir.

3.1.1. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinde döngü süresi, faz süresi ve kavşağın çalışma zamanları önceden belirlenir. Sistemde farklı yönlerden kavşağa yaklaşan araç ve yaya trafiğine, önceden hazırlanmış sinyal programlarına uygun olarak sıra ile geçiş hakkı verilmektedir. Kavşağa yaklaşan araçlara verilecek geçiş hakkı süreleri ve bu sürelerin birbirine olan oranı, ortalama trafik yükü değerlerine göre belirlenir. Bu sistemin başarılı olması için sistem sürekli gözlem altında tutulmalı, günlere ve saatlere

bağlı değişen trafik akımlarına göre trafik sayımlarının yapılması gerekmektedir(Murat, 2001).

3.1.2. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi

Trafik uyarmalı sinyalizasyon sisteminde, taşıtların kullanabileceği sinyal süre ve sıraların algılayıcılar tarafından saptanan trafik talep ve yoğunluklarına göre düzenlenmektedir. Bu sistem iki şekilde uygulanmaktadır(Murat, 2001).

Yarı trafik uyarmalı sistemler: Bu tip sistemlerde kavşak bağlantı kollarının bazılarında uyarı alınır. Ana yol niteliğinde olan akıma sürekli yeşil ışık verilir ve tali yollardan herhangi bir uyarı almadıkça kırmızı ışıktaki bir değişiklik olmaz. Tali yoldan gelen talep doğrultusunda ana yolun akımı kesilerek diğer yollara geçiş hakkı verilir(Murat, 2001).

Tam trafik uyarmalı sistemler: Bu tip sistemlerde kavşak bağlantı kollarının tamamından sürekli olarak uyarı alınır. Geçiş hakkı, devre ve faz süreleri bağlantı kollarındaki araç yoğunluklarına göre değiştirilerek otomatik olarak düzenlenir. Tam trafik uyarmalı sistemler, gerçek verilerin anlık değerlendirmesine göre geçiş hakkı sırası ve süresine karar verdiklerinden, toplam gecikmeleri en aza indiren bir sistemdir(Murat, 2001).

Trafik uyarmalı sistemlerde en çok faz uzatmalı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde kavşağın faz düzenine göre her bağlantı kolu için minimum ve maksimum yeşil süresi hesaplanmaktadır. Bağlantı kollarındaki dedektörlerden alınan verilere göre yeşil ışık süresi belirlenmektedir. Önceden belirlenen maksimum yeşil süreye ulaşıldığında veya araç yoğunluklarında azalmalar gözlemlendiğinde faz sona ermekte ve algılayıcılardan alınan verilere dayanarak bir sonraki faza geçilmektedir(Murat, 2001).

3.1.3. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi

Kavşak olmayan yaya geçitlerinde ve bazı bağlantı yollarının giriş çıkışlarında yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi tesis edilir. Yayaalara güvenli bir şekilde geçiş hakkı tanımak için sürekli olarak veya günün belirli saatlerinde sabit zamanlı sinyal sistemi uygulanabilir. Yaya akımının az olduğu yer ve saatlerde ise taşıtlara verilen sürekli geçiş hakkı yayaaların Bas-Geç butonuna basmaları ile kesilir(Ayfer, 1977).

3.1.4. El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi

Kavşak bağlantı kollarındaki trafik ışıkları bir kumanda tablosuna bağlanarak ışıkların dışarıdan yönetilmesi sağlanabilir. Bu sistem özellikle sabit zamanlı olarak tesis edilmiştir. Bazı durumlarda trafik akımlarının ortalama değerlerden büyük sapmalar ve sık dalgalanmaların olduğu kavşaklarda kullanılır. Bu sistem trafik ve yaya uyarmalı sistemlere benzemekte, ancak talepler dışarıdan gözlem ile değerlendirilmektedir(Murat, 2001).

3.2. Koordine Sinyalizasyon Sistemi

Ana arterlerde birbirine yakın iki veya daha fazla kavşağın, trafik akımının her kavşakta kesintiye uğramasının ve gecikmelerin minimuma indirilmesi amacıyla bu kavşakların birbirleriyle koordine edilmesi gerekmektedir. Koordine sistemler öncelikle ana arterlerde uygulanmasının yanında, bazı durumlarda bütün bağlantı kollarındaki gecikmenin en aza indirilmesi olanakları da araştırılır. Bu sistemler ayrıca art arda sinyalizasyon kavşakları bulunan bir yol ağının bütün akımları için bilgisayar kontrollü olarak düzenlenebilir(Murat, 2001). Bu sayede;

- ✓ Ulaşımın güvenli bir şekilde sağlanması
- ✓ Kapasite kullanımı,
- ✓ Ekonomiklik,
- ✓ Bekleme sürelerinin azalmasıyla birlikte seyahat süresi azalması sonucunda; yakıt tasarrufu sağlanması, araç yakıtından kaynaklı karbondioksit salınımının azalması, gürültü ve çevre kirliliğinin azalması gibi olumlu sonuçları olmaktadır (Adal, 1999).

Sinyalizasyon sistemi tesis edilecek iki kavşağın aralarındaki mesafe 750m'den az ise, dalga hareketlerinde değişiklik olmayacağından aralarında koordinasyon kurulması gerekebilir. İki kavşak arasındaki mesafe 750m'den daha fazla olması durumunda da koordine sinyalizasyon sistemleri kurulabilmektedir. Ancak sistemin sağlıklı bir şekilde çalışması için araç hızlarının istenilen seviyelerde tutulmasına bağlıdır(Ayfer,1977).

4. TRAFİK IŞIĞINDA ÖNCELİKLİ SİSTEMLER

Toplu ulaşım araçlarının seyahat süresini olumsuz etkileyen durumlardan birisi de trafik ışıklarındaki zaman kaybıdır. Trafik ışıklarındaki zaman kaybı, toplu ulaşım araçlarının toplam zaman kaybı içerisindeki en büyük kısmını oluşturmaktadır. Bu yüzden trafik ışıklarında zaman kaybının en aza indirilmesi toplu ulaşımı hızlandırma çalışmalarının en etkili bölümünü oluşturmaktadır. Toplu ulaşımı hızlandırmanın temeli, toplu ulaşım araçlarına trafik ışıklarında geçiş önceliği vermekten geçmektedir. Trafik ışıklarında geçiş önceliği sağlanabilmesi için toplu ulaşım aracında ve yol altyapısında bazı teknik donanımların olması gerekmektedir (Erciyes, 2016).

4.1. Trafik Işığında Öncelik Uygulama Türleri

Dünya genelinde trafik ışığında öncelik uygulama türlerinden yaygın olarak kavşak ve ağ tabanlı olmak üzere iki tür ışık önceliği kullanılır.

4.1.1. Kavşak tabanlı ışık önceliği sistemleri

Toplu ulaşım araçlarının kavşağa gelişi, kavşakta bulunması ve kavşağı terk etmesi durumlarının dedektörler ile algılanıp, trafik ışığı denetleyicisi tarafından kavşaktan geçiş önceliğinin verildiği uygulama türüdür. Toplu ulaşım araçlarının kavşağa yaklaşımı ve kavşağa giriş noktaları algılandıktan sonra, kavşakta çalışmakta olan programın hangi fazda olduğu ışık önceliğinin ne zaman verileceğini belirleyecektir. Trafik ışığı denetleyicisi gerekli kural ve koşullar sağlandığında toplu ulaşım araçlarına geçiş önceliği verecektir. Kavşak tabanlı ışık önceliği daha basitleştirilmiş bir uygulama olmasından dolayı daha çok tercih edilir (Quigley, 2014).

4.1.2. Ağ tabanlı ışık önceliği sistemleri

Teknolojinin gelişmesiyle beraber trafik ışığında öncelik sistemlerinin tek bir kavşakta değil de ağ düzeyinde uygulanmasına olanak tanımıştır. Ağ tabanlı ışık önceliği sistemleri, toplu ulaşım araçlarının hat üzerindeki konumlarını belirlemek için otomatik araç yeri belirleme teknolojisini kullanmaktadır. Gerçek zamanlı yolculuk

bilgileri, ışık önceliği istemek için trafik ışığı denetim aygıtı ile iletişim kurmadan önce toplu ulaşım aracının kavşak noktasına gerçek varış zamanını belirler(Polat, 2017).

4.2. Trafik Işığında Geçiş Önceliği Yöntemleri

Toplu ulaşım araçlarına öncelik verilmesi için bir algılama sisteminin ya da öncelik isteği etkinleştirmesinin bulunması gerekmektedir. Dünyada yaygın olarak kullanılan öncelik yöntemleri yeşil süresi verme, yeşil süresi uzatma, faz ekleme ve faz değişikliği yapmadır.

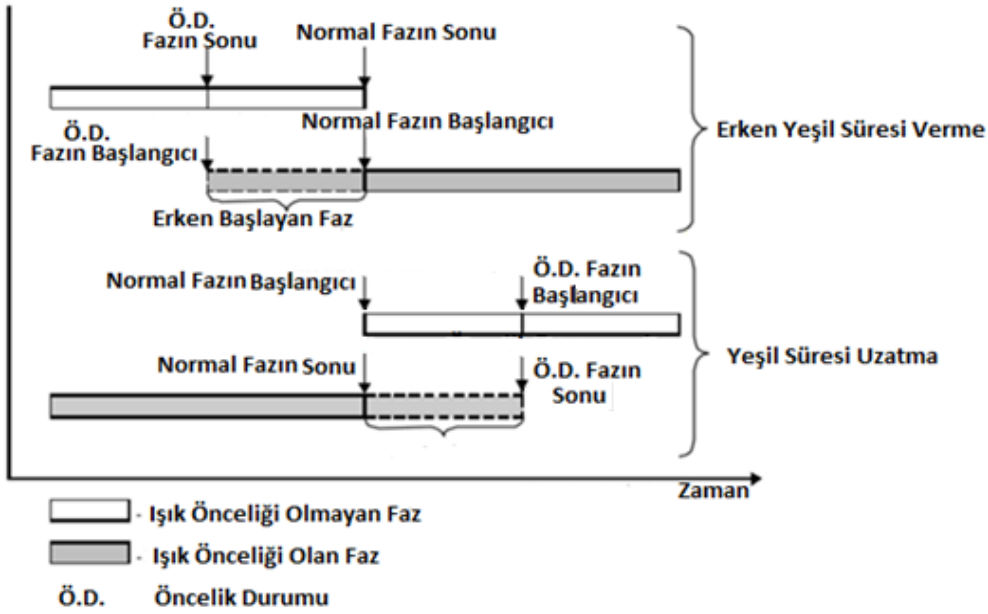
4.2.1. Erken yeşil süresi verme

Trafik ışıklarında geçiş önceliği verilecek araçlardan geçiş önceliği ile ilgili bir talep gelmesi durumunda; kavşak öncelik verilecek fazın dışında başka bir fazı işletiyorsa, İşletilen faz ve diğer fazların minimum yeşil süresi ve koruma süreleri ihlal edilmeden, diğer fazların yeşil süresi kısaltılarak öncelikli faza erken yeşil süre verilmiş olur(Wang ve arkadaşları, 2008).

4.2.2. Yeşil süresi uzatma

Geçiş önceliği verilmesi planlanan araçların, trafik ışıklarının bulunduğu kavşağa yaklaştıklarında; işletilen fazın öncelikli faz olması ve kalan yeşil süresinin yetersiz olması durumunda, geçiş önceliği için yeşil süresi uzatma yöntemi kullanılır. Öncelik verilecek araçların daha fazla gecikmeden kavşaktan geçişlerini sağlamak için işletilen öncelik fazına ilave yeşil süresi uygulanır. Böylece geçiş önceliği tamamlanmış olur (Wang ve arkadaşları, 2008).

Şekil 4.1’de trafik ışığında geçiş önceliği tanınacak araçlar için erken yeşil süresi verme ve yeşil süresi uzatma uygulamaları görülmektedir.



Şekil 4.1. Erken yeşil süresi verme ve yeşil süresi uzatma uygulaması (Wang ve ark., 2008)

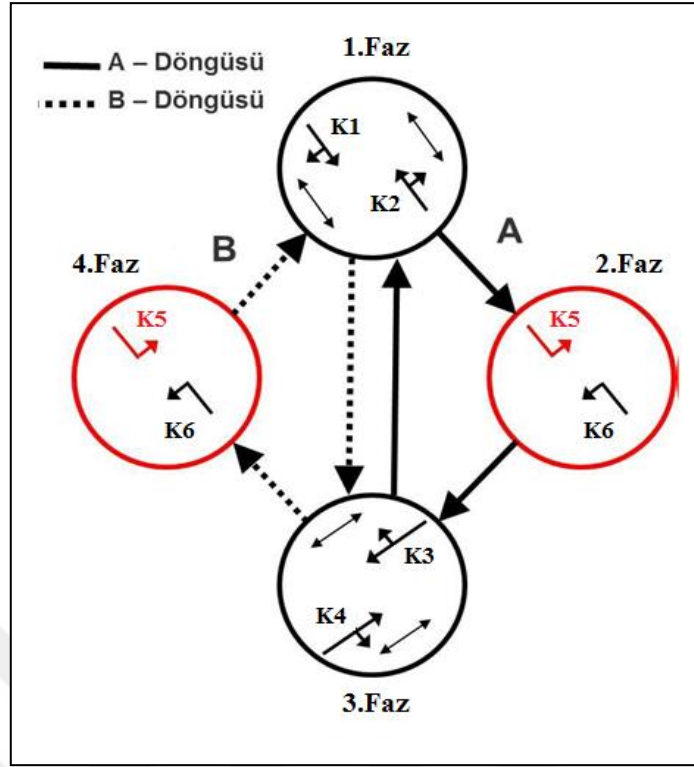
4.2.3. Faz ekleme

Bu yöntem de geçiş önceliği verilecek araçlar için özel bir fazın eklenmesidir. Kavşak kendi içinde çalışmasını sürdürürken geçiş önceliği talebiyle beraber çıkan fazlar durdurularak geçiş önceliği tanınan araçlara belirli sürede yeşil süresi verilir. Daha sonra özel faz işletildikten sonra kavşak çalışmasını kaldığı yerden devam ettirir(Deshpande, 2003).

4.2.4. Faz değişimi

Bu yöntemde faz sıralaması, toplu ulaşım araçlarına geçiş önceliği tanınacak şekilde değiştirilmektedir(Deshpande, 2003).

Şekil 4.2’de dört kollu bir kavşağın faz sıralaması gösterilmektedir. 1.fazda K1-K2, 2-4.fazda K5-K6 ve 3.fazda K3-K4 grupları yeşil yanmaktadır. Kavşakta herhangi bir geçiş önceliği talebi bulunmadığı zaman A döngüsü (1.faz-2.faz-3.faz-1.faz) işletilmektedir. Geçiş önceliği talebiyle beraber faz sırası değiştirilerek B döngüsü (1.faz-3.faz-4.faz-1.faz) ile toplu ulaşım araçlarının geçişleri hızlandırılır.



Şekil 4.2. Dört kollu bir kavşağın faz sıralaması(Erciyes 2016)

4.3. Toplu Ulaşım Araçlarını Algılama Sistemleri

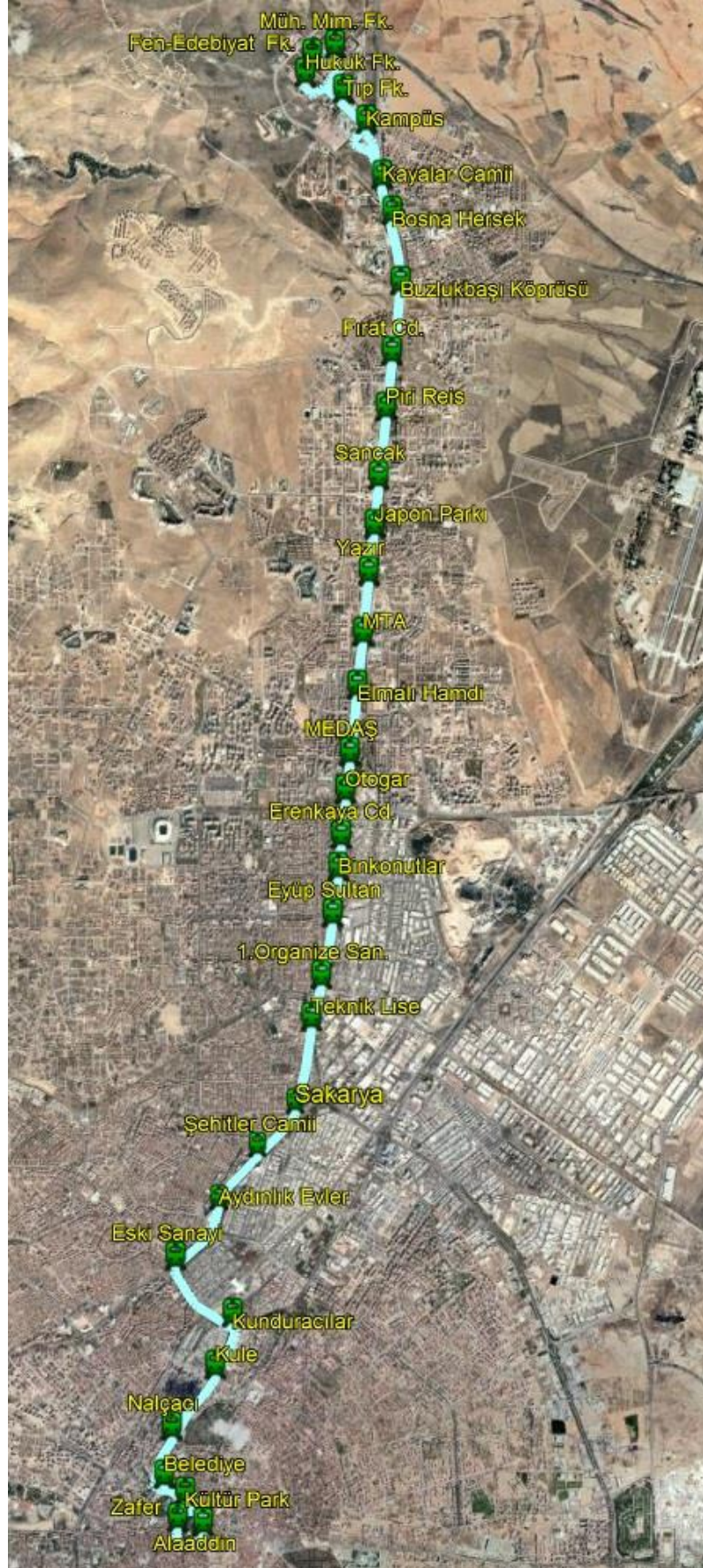
Belirli bir güzergâha sahip olan toplu ulaşım araçlarının geçiş önceliği taleplerinin algılanmasında bazı teknolojik cihazlara ihtiyaç duyulur. Öncelikli sistemin verimli bir şekilde çalışması dedektörlerden alınan verilerin doğruluğuna bağlıdır. Öncelikli sistemlerde kullanılan bazı algılama teknolojileri şunlardır: Video görüntü işleme, endüktif kapalı devre sistemleri, radyo frekans, GPS (Global PositioningSystem), infrared (kızılötesi) algılayıcı, ultrasonik algılayıcı vb.

5. KONYA'DA TOPLU ULAŞIMDA RAYLI SİSTEMLER

Anadolu Yarımada'sının ortası, İç Anadolu Bölgesi'nin güneyinde yer alan Konya, ülkenin kuzey-güney ve doğu-batı ulaşımının sağlanması konusunda transit bir noktada bulunmasından dolayı oldukça önemli bir konumdadır.

5.1. Mevcut Raylı Sistem Hatları

Konya'da raylı sistem tarihçesi 1906 yılında kurulan atlı tramvayakadar dayanır. 1917 yılında dönemin Belediye Başkanı Muhlis Koner zamanında, Selanik'ten sökülerek Konya'ya getirilmiş ve kurulmuştur. Atlı tramvay ortadan kaldırıldıktan sonra zaman içinde şehrin büyümesi ve üniversite yerleşkesinin şehir merkezine uzak olması nedeniyle 1987 yılında Alaaddin-Kampüs arasında tramvay hattı yapılması kararı alınır. Alınan bu karar doğrultusunda yapılan çalışmalar neticesinde 1992 yılında 10,5 km'lik Alaaddin-Cumhuriyet, 1996 yılında ise 8 km'lik Cumhuriyet-Kampüs arası tramvay hattı projesi tamamlanarak seferlere başlanılır. 2007 yılında ise kampüs yerleşkesine 3,3 km'lik ilave hatla beraber toplamda 21,8 km'lik Alaaddin-Kampüs arası tramvay hattı işletmeye alınmıştır(Url-7).Şekil 5.1'deAlaaddin-Kampüs arası tramvay hattı gösterilmiştir (Konya Büyükşehir Belediyesi).



Şekil 5.1. Alaaddin-Kampus arası tramvay hattı (KBB)

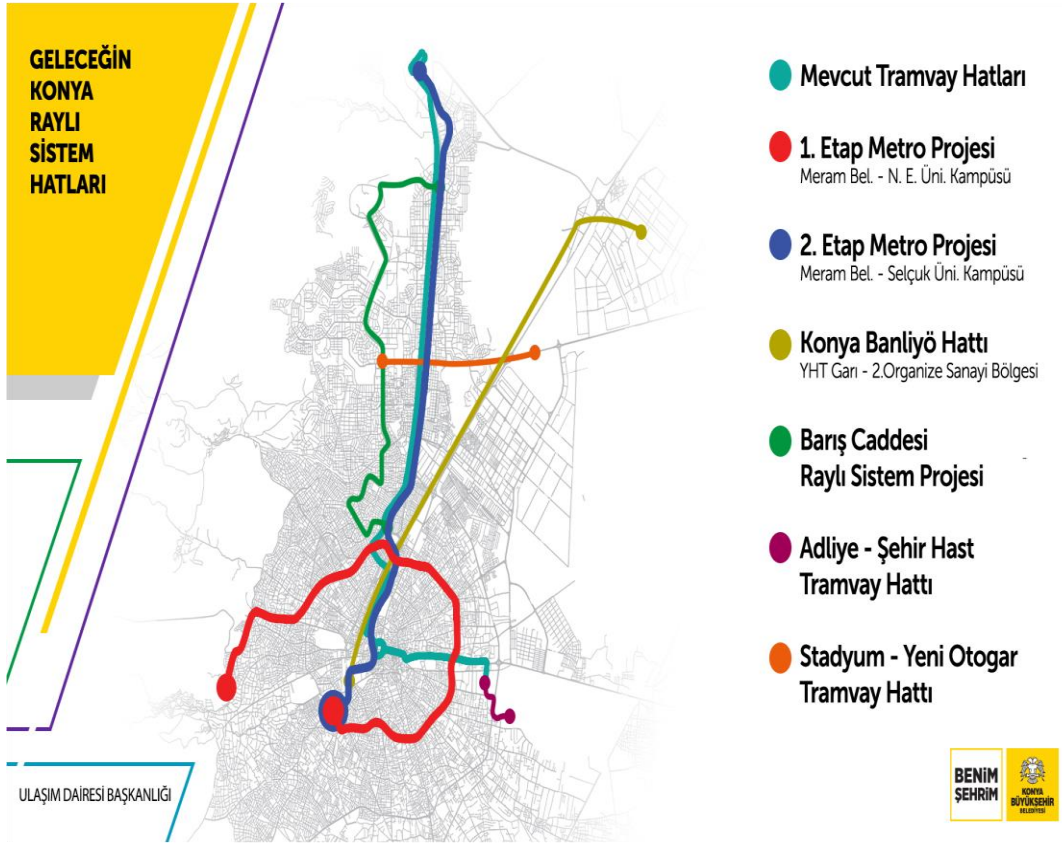
Ayrıca 2013 yılında alınan yeni bir kararla 5,5 km'lik Alaaddin-Adliye tramvay hattı projesinin yapılmasına karar verilmiştir. Bu hattın Alaaddin-Mevlana Kültür Merkezi arasındaki kısmı Konya'nın önemli tarihi ve turistik bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle katener direklerinden kaynaklan kötü görüntüyü önlemek için bu 2 km'lik kısım katenersiz olarak yapılmış olup, 2015 yılında işletmeye alınmıştır(Kanmaz,2015). Şekil 5.2'de Alaaddin-Adliye arası tramvay hattı gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Alaaddin-Adliye arası tramvay hattı(KBB)

5.2. Yapılması Planlanan Raylı Sistem Hatları

Konya Büyükşehir Belediyesi kent içi ulaşım sorunlarının çözümüne yönelik, kentin sahip olduğu toplu ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanımının artırılması ile ilgili çalışmaları devam etmekte olup, toplu ulaşım adına yeni raylı sistem hatlarının planlamasını yapmaktadır. Şekil 5.3'de mevcut ve planlanan raylı sistem hatları görülmektedir.



Şekil 5.3. Mevcut ve planlanan raylı sistem hatları (KBB)

6. BENZETİM VE MODELLEME

Benzetim, teorik ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden-sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, farklı koşullar altında sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir.

Benzetimler, genel tasarım biçimleri içinde birçok tasarım seçeneğinin uygulanmasına olanak sağlar. Benzetim çalışmaları kapsamında model tasarımı ve deneyler uygulanır. Sistemin önemli durumlarını temsil eden bir model tasarımı sonrası deneyler kısmı başlar(Polat, 2017).

6.1. Benzetimin Üstünlük ve Zayıflıkları

Benzetim çeşitli problemlerin çözümünde güçlü bir yardımcı olup, yaygın olarak kullanılmasının birçok sebepleri vardır. Bunlar;

- ✓ Karmaşık bir yapıdaki gerçek sistemleri analitik olarak inceleyecek matematiksel modellerin oluşturulmasındaki güçlüklerle çözüm üretir.
- ✓ Benzetim; yeni politikalar, değişkenler ya da çalışma koşullarının denenmesine olanak sağlayarak sistem performansının bu yeni koşullar için öngörülmesini sağlar.
- ✓ Birbirinden farklı tasarımların karşılaştırılmasına olanak verir.
- ✓ Gerçek sisteme müdahale edilmeden denenmesi sağlanır.
- ✓ İncelenen sistemin değişik zaman dilimlerinde ele alınması mümkündür.
- ✓ Bu üstünlüklere karşın, benzetim çalışmalarının bazı zayıflıkları da vardır:
- ✓ Benzetim modelleri pahalı ve geliştirilmesi zor modellerdir.
- ✓ Benzetim modelleri problemlere en iyi çözümü bulmak yerine çeşitli seçenekleri karşılaştırır.
- ✓ Benzetim sonuçlarının incelenen sistemi doğru yansıtması için modelin geçerliliği çok önemlidir. Modelin geçerliliği, gerçeğin tam olarak yansıtıp yansıtılmadığının belirlenmesidir(Gözler, 2015).

6.2. Benzetimin Kullanım Alanları

Benzetimin kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ Benzetim, karmaşık bir sistemin içyapısını ya da karmaşık bir sistemdeki alt sistemi incelemek için kullanılabilir.

- ✓ Bilgi, çevre ve yapısal değişiklikler benzetilebilir ve modelin davranışı üzerinde bu değişikliklerin etkileri incelenebilir.
- ✓ Bir benzetim modelinin tasarımından elde edilen veriler, incelenen sistemin geliştirilmesine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.
- ✓ Benzetim girdi parametrelerini değiştirerek ve sonuçları analiz ederek, hangi değişken parametresinin önemli olduğu ve değişkenlerin birbirlerini nasıl etkiledikleri hakkında bilgi edinilir.
- ✓ Benzetim, analitik çözüm yöntemini destekleyen bilgi verici bir araç olarak kullanılabilir (Gözler, 2015).

6.3. Çalışmada Kullanılan Benzetim Yazılımı

Trafik benzetim modelleri makroskopik, mezoskopik ya da mikroskopik olabilir. Makroskopik modeller trafikteki akım ve yoğunluk gibi birikim değerleri belirlerken, mikroskopik modeller her bir sürücünün davranışını ve mevcut koşullardaki tepkisini inceler. Mikroskopik modeller sistemleri değerlendirmede ve daha ayrıntılı bir şekilde incelemede yardımcı olur (Koç, 2010).

Bu çalışma kapsamında kullanılan VISSIM (Verkehr in StädtenSimulation) paket yazılımı, kent içi ulaşım da trafiğin ve toplu ulaşım sistemlerinin modellenmesi ve analiz edilmesi için geliştirilmiş; davranış tabanlı ve ayrık zamanlı bir mikroskopik benzetim yazılımıdır. Bir yazılım ve ulaşım danışmanlık kuruluşu olan PTV GmbH (Planung Transport VerkehrsAktiengesellschaft) tarafından geliştirilen bu yazılımın kalibrasyonu Almanya Karlsruhe Teknik Üniversitesi'nce gerçekleştirilmiştir. VISSIM benzetim sürecinde trafiğin görünüşü ve denetim değişkenlerine ilişkin verilerin ekrandan canlı olarak izlenebilmesi ve gerçek hayatta trafik algılayıcıları üzerinden alınabilecek mikroskopik akım değişkenlerinin sanal ortamda üretilebilmesi gibi yenilikleriyle; aynı amaçla kullanılan diğer benzetim yazılımlarına göre daha esnek kullanım olanakları sağlamaktadır (Polat, 2017).

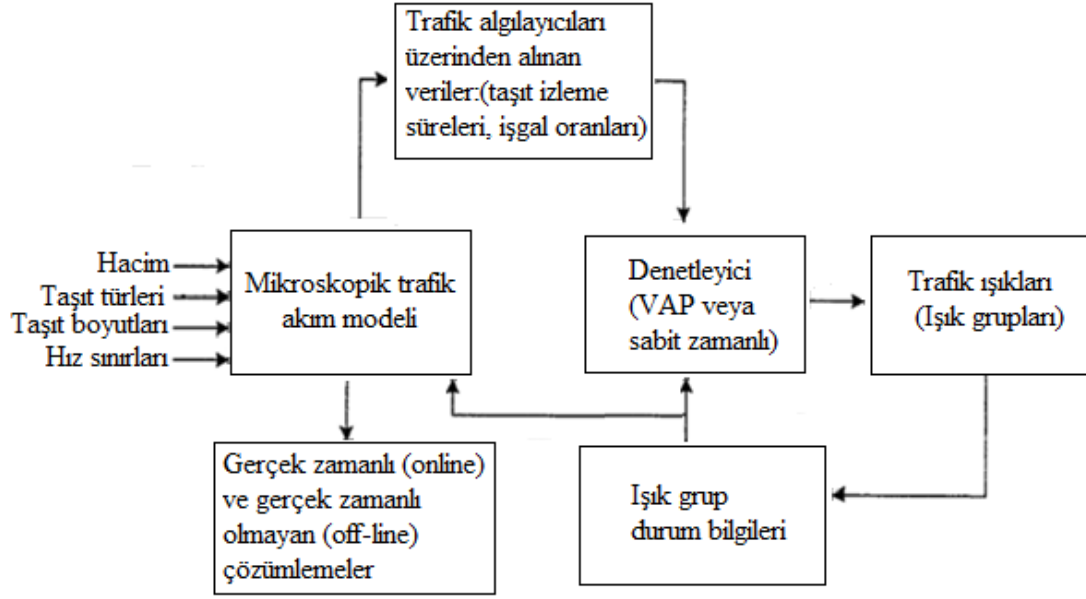
Bu yazılım yardımıyla, kent içi karayolu trafiği ve toplu ulaşım işlemleri, çeşitli yol çözümleme bileşimleri, trafik ışıkları ve toplu ulaşım durakları gibi kısıtlara bağlı olarak çözümlenebilir. Dolayısıyla VISSIM kent içi ulaşımın planlanması ve trafiğin denetimi açısından dikkate alınabilecek çeşitli seçeneklerin hızla değerlendirilmesi ve çeşitli ulaşım sorunlarının giderilmesinde başvurulabilecek önemli bir araçtır (Akbaş, 2001).

VISSIM paket yazılımı, iki farklı yazılımdan oluşur: Trafik benzetimlik ve ışık durum üretici. Trafik benzetimlik, Weidmann taşıt izleme modeli ile yol (şerit) değiştirme mantığının dikkate alındığı bir mikroskopik benzetim yazılımıdır. Işık durumu üretici ise, trafik benzetimlikten birer saniyelik zaman adımlarında alınan verilerin işlendiği ve bir sonraki saniye için ışık durumlarının ne olacağına ilişkin kararların üretildiği bir denetim yazılımıdır (Akbaş, 2001).

Benzetim sonuçları gerçek zamanlı olarak trafiğin değişimine ilişkin görüntülerin ekranda canlandırılması; gerçek zamanlı olmadan da, ulaşım süresi ya da gecikmeler gibi bir kısım istatistiksel verilerin arka plandaki veri dosyalarına aktarılması suretiyle elde edilir. Işık durum üretici, trafik benzetimlikten benzetimin her saniyesinin bitim anında aldığı verileri değerlendirerek, bir sonraki benzetim saniyesindeki ışık durumları için kararlar üretir ve bunları trafik benzetimliğine iletir. Trafik benzetici ile ışık durum üretici arasındaki haberleşme ve benzetimliğin çalışma mantığı Şekil 6.1’de gösterilmiştir (Akbaş, 2001).

VISSIM paket yazılımını kullanmanın bir başka üstünlüğü ise ağır taşıt şeritlerini, gişe alanlarını, emniyet şeritlerini, ayrılma katılma kollarını ve görüş alanlarını benzetim yeteneğine sahip olmasıdır. Ayrıca tasarım seçeneklerini görmeyi kolaylaştıracak üç boyutlu gösterim özelliğine sahip olması da diğer bir üstünlüğüdür. Şerit sayısı, şerit sayısının artması ve karayoluna ilişkin diğer geometrik tasarımlar da arazi gözlemlerini birebir yansıtacak şekilde oluşturulabilir. Ayrıca VISSIM paket yazılımına eklenecek daha fazla bilgi saha koşullarını daha iyi yansıtmalarını sağlar (Koç, 2010).

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan VAP (VehicleActuatedProgramming), trafik uyarmalı bir denetim sürecinde ışık durumlarını üretmek için, VISSIM paket yazılımının ek olarak kullandığı bir programlama parçasıdır. Trafik uyarmalı denetim mantığı, kullanıcı tarafından VAP’ın komut ve fonksiyonları kullanılarak oluşturulan bir metin dosyası ile tanımlanır. VAP, denetim mantığının öngördüğü komutları benzetim sürecinin her saniyesi için yeniden yorumlar ve kurulan trafik ağı için gerekli ışık zamanlama bilgilerini üreterek bir sonraki benzetim saniyesinde kullanılmak üzere trafik benzetimliğe gönderir. Bu süreçte denetim mantığına bağlı olarak değerlendirilen algılayıcı değişkenleri de, benzetimin her saniyesi için yeniden ölçülür (Akbaş, 2001).



Şekil 6.1. VISSIM paket yazılımında benzetimin koşturulma süreci(Akbaş, 2001)

7. MATERİYAL VE YÖNTEM

7.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma; Konya İli, Selçuklu İlçesi, Nişantaşı Mahallesi, Vatan Caddesi ile Hastane Caddesi kesişimi Belediye Kavşağında gerçekleşmiştir. Konya Büyükşehir Belediyesi, sinyalize olan bu kavşağın numarasını 119 olarak belirlemiştir. Şekil 7.1’de 119 no’lu Belediye Kavşağının uydu görüntüsü gösterilmiştir. Söz konusu kavşak konum itibariyle şehrin merkezinde olup, trafik akımının fazla olması ve tramvay yolunun bütün yönleri kesmesi, 119 no’lu sinyalize kavşağın seçilmesinde önemli bir etkindir.



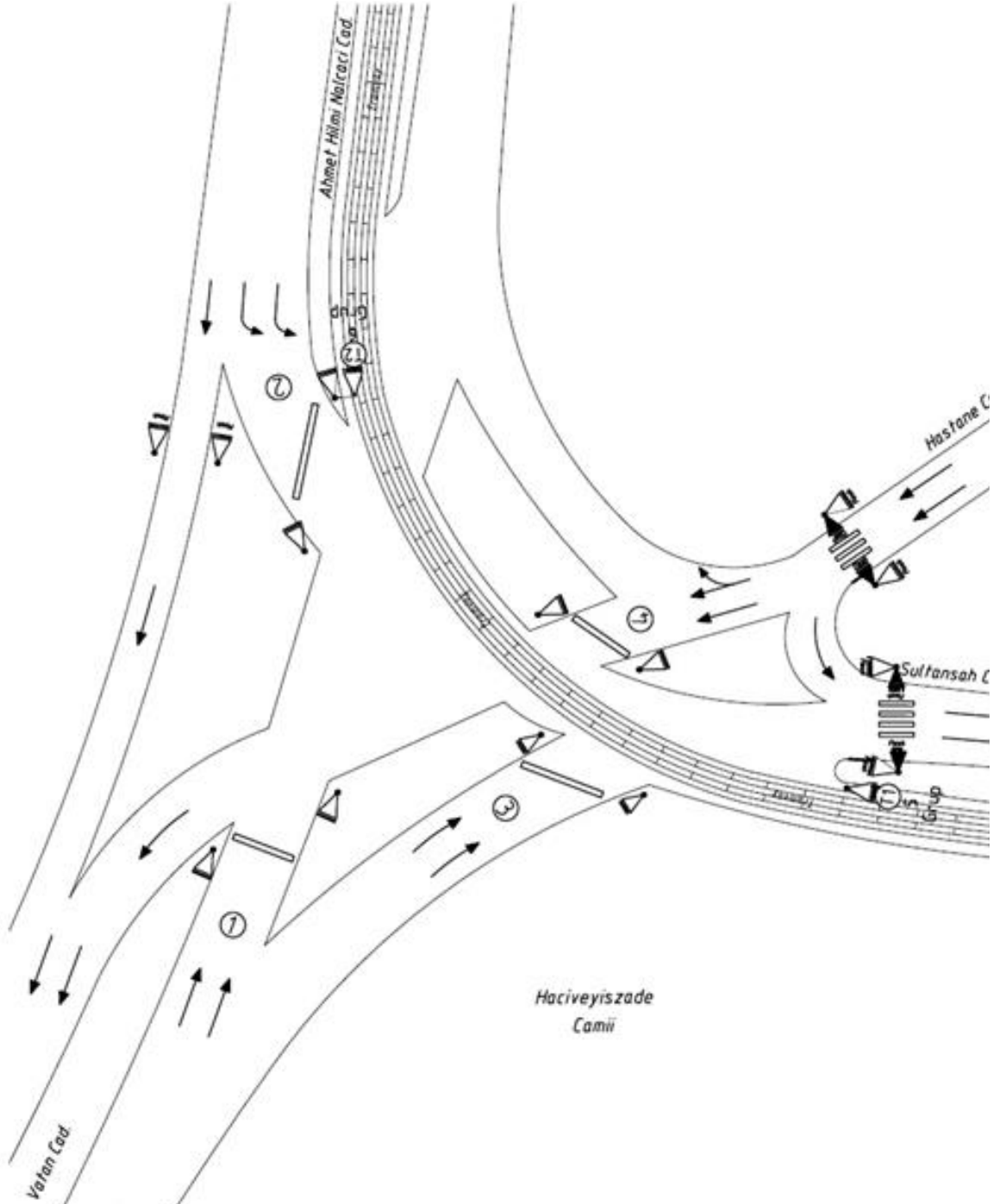
Şekil 7.1. 119 no’lu Belediye Kavşağının uydu görüntüsü

Şekil 7.1’den görüleceği gibi çalışmanın gerçekleştiği sinyalize kavşak üç kavşak kolu ve tramvay hattından oluşmaktadır. 1. kavşak kolu Adalhan Gelişi, 2. kavşak kolu Kule Gelişi ve 3. kavşak kolu Hastane Gelişi olarak isimlendirilmiştir.

7.2. Kavşak Gruplandırılması

Kavşakta araç ve yaya akımlarının kontrol alınması ve belirli bir düzen içinde trafik akışının sağlanması için kavşağın doğru bir şekilde programlanıp yönetilmesine

ihtiyaç vardır.Öncelikle kavşak programlanmadan önce kavşağın düzgün bir şekilde gruplandırılması gerekir. Şekil 7.2’de 119 no’lu sinyalize kavşağın gruplandırılması gösterilmiştir.



Şekil 7.2. 119 no’lu sinyalize kavşağın projesi

Şekil 7.2’de 119 no’lu sinyalize kavşağın projesi incelendiğinde araç ve tramvaylar için gruplandırma yapılmıştır. Bunlar:

- 1.grup Adalhan Gelişi Düz Gidiş
- 2.grup Kule Gelişi
- 3.grup Hastane Caddesi Gelişi
- 4.grup Adalhan Gelişi Sağa Dönüş
- 5.grup Tramvay

7.3. Kavşaktaki Trafik Hacimleri

Bu tez çalışması kapsamında incelenen kavşakta trafik hacim sayımı yapılmış olup, sayım 5 Ocak 2022 tarihinde günün üç farklı zaman diliminde trafiğin yoğun olduğu saatlerde yapılmıştır. Kavşaktaki saatlik trafik hacimleri birim otomobil cinsinden aşağıda gösterilmektedir.

Çizelge 7.1. 05.01.2022 Sabah (07:30-08:30) arası sayımlar

Akım	Adalhan Gelişi	Nalçacı Gelişi	Beşyol İst. Gidiş	Çıkan Toplam
Adalhan Gelişi		892	651	1543
Nalçacı Gelişi	874	76	592	1542
Hastane Gelişi	402	53	60	515
Giren Toplam	1276	1021	1303	3600

Çizelge 7.2. 05.01.2022 Gün içi (12:30-13:30) arası sayımlar

Akım	Adalhan Gelişi	Nalçacı Gelişi	Beşyol İst. Gidiş	Çıkan Toplam
Adalhan Gelişi		641	473	1114
Nalçacı Gelişi	915	86	462	1463
Hastane Gelişi	470	84	96	650
Giren Toplam	1385	811	1031	3227

Çizelge 7.3. 05.01.2022 Akşam (17:30-18:30) arası sayımlar

Akım	Adalhan Gelişi	Nalçacı Gelişi	Beşyol İst. Gidiş	Çıkan Toplam
Adalhan Gelişi		743	478	1221
Nalçacı Gelişi	1243	93	482	1818
Hastane Gelişi	692	75	74	841
Giren Toplam	1935	911	1034	3880

Kavşakta trafik hacminin en fazla olduğu akşam saatlerinde, Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesinden gelen 1818 aracın 93 tanesi U dönüşü yaparken, 1243 tanesi Vatan caddesine devam etmiş ve 482 tanesi Sultan Şah Caddesine yönelmiştir. Aynı şekilde Vatan Caddesinden gelen 1221 aracın 743 tanesi Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesine, 478 tanesi Sultan Şah Caddesine yönelmiştir. Aynı şekilde Hastane Caddesinden gelen 841 aracın 75 tanesi Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesine, 692 tanesi Vatan Caddesine ve 74 tanesi de Sultan Şah Caddesine yönelmiştir.

7.4. Kavşaktaki Mevcut Sinyal Düzeni

Belediye Kavşağı mevcut durumda araç yoğunluğuna bağlı olarak dinamik bir şekilde çalışmaktadır. Söz konusu kavşak üç bağlantı kolu ve tramvay hattı olmak üzere dört fazdan oluşmaktadır. Kavşağın tramvaylara geçiş önceliği tanınmadan önceki sinyal diyagramı Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Mevcut sinyal düzeni

Şekil 7.3’de Belediye Kavşağına ait sinyal diyagramı incelendiğinde tramvaylara geçiş önceliği tanınmadığı için bir döngü içinde tramvay fazı eklenmiştir. Kavşağa gelen tramvay kendisine tanınan fazı beklemek zorunda kalmaktadır. Buda toplu taşıma araçlarının seyahat sürelerinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca kavşağa tramvay gelmediği zamanlarda tramvay için ayrılan bu faz araç sürücüleri için kayıp bir zamandır.

7.5. Kavşaktaki Tramvay Öncelikli Sinyal Düzeni

Belediye Kavşağının tramvay öncelikli ve araç yoğunluğuna göre dinamik çalıştırılması için Kavşak Kontrol Cihazı (KKC) programından faydalanılır. KKC programı oluşturulurken tramvay talep durumu göz önünde bulundurulur.

Şekil 7.4'te Belediye Kavşağına ait sinyal diyagramı incelendiğinde tramvaylara geçiş önceliği tanındığı için bir döngü içinde ayrıca tramvay fazı eklenmemiştir. Kavşağa tramvay gelmediği müddetçe kavşak üç faz olarak çalışmasını sürdürecektir. Bu durum araç sürücüleri için yaşanan kayıp zamanı ortadan kaldırmış olacaktır.



Şekil 7.4. 119 no'lu sinyalize kavşağın (1-3-2-1) sinyal diyagramı

Şekil 7.5'te Belediye Kavşağına ait sinyal diyagramı incelendiğinde tramvaydan gelen talep doğrultusunda 1.fazdan sonra tramvaylara geçiş önceliği verildiği görülmektedir.



Şekil 7.5. 119 no'lu sinyalize kavşağın (1-4-3-2-1) sinyal diyagramı

Şekil 7.6’da Belediye Kavşağına ait sinyal diyagramı incelendiğinde tramvaydan gelen talep doğrultusunda 3.fazdan sonra tramvaylara geçiş önceliği verildiği görülmektedir.



Şekil 7.6. 119 no’lu sinyalizasyon kavşağı (1-3-4-2-1) sinyal diyagramı

Şekil 7.7’de Belediye Kavşağına ait sinyal diyagramı incelendiğinde tramvaydan gelen talep doğrultusunda 2.fazdan sonra tramvaylara geçiş önceliği verildiği görülmektedir.



Şekil 7.7. 119 no’lu sinyalizasyon kavşağı (1-3-2-4-1) sinyal diyagramı

7.6. Saha Uygulaması

Belediye Kavşağında tramvaya geçiş önceliği tanınmasının yanında kavşağın akıllı bir şekilde yönetilmesi amaçlanmaktadır. Kavşakta araç ve tramvayların bekleme sürelerinin azaltılmasıyla ilgili yapılacak bu çalışma için sistemin ihtiyaç duyduğu girdileri üretebilmek ve algoritmanın çıktılarını kavşağa yansıtabilmek için ilgili kavşağa akıllı bir sistemin kurulması gereklidir.

Sistemin girdilerinden olan trafik yönlerindeki anlık verilerin (araç yoğunlukları, araç sayısı, tramvay talep bilgisi) elde edilebilmesi için, kavşağa dedektörler yerleştirilmelidir. Belediye Kavşağı örneğinde dedektörler olarak kamera ve loop sistemi kullanılmıştır. Şekil.7.8’de araç sayım kamera montajı görülmektedir.



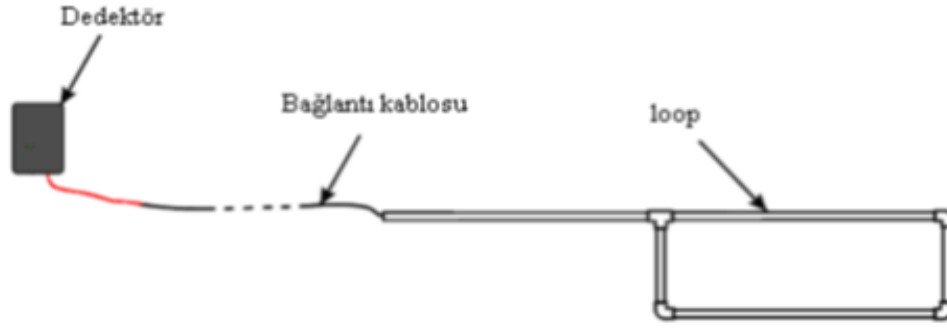
Şekil 7.8. Araç sayım kamera montaj görüntüsü

Araç sayım kameralarının görüntü tabanlı analizi sayesinde, ortalama araç hızı, araç sayısı, işgaliye oranı gibi anlık trafik verileri üretilmektedir. Araç sayım ünitesi tarafından elde edilen veriler, istenilen herhangi bir merkeze kablolu/kablosuz ağ üzerinden iletelebilmektedir. Kavşağın verimli bir şekilde yönetilmesi sistemin farklı hava şartları ve her türlü aydınlanma koşullarına adapte olabilmesi ve dış ortamda düşük hata oranlarıyla çalışabilmesine bağlıdır(Yücel ve Büyükbaş, 2013). Şekil 7.9’daBelediye Kavşağı’na ait gece/gündüz sayım görüntülerine örnek gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Belediye kavşağına ait gece/gündüz sayım görüntüleri

Sistem girdilerinden olan tramvay talep bilgisi, kapalı devre endüktif algılama sistemi yardımıyla sağlanacaktır. Endüktif algılama sistemi 3 ayrı yapıdan oluşmakta olup, bunlar halka halinde izoleli bakır iletkenen sarılmış bobin (loop), bağlantı kablosu ve dedektördür (Aydemir 2008). Şekil 7.10’da Endüktif kapalı devre sistem yapısı görülmektedir.



Şekil 7.10. Endüktif kapalı devre sistem yapısı (Aydemir 2008)

Endüktif algılayıcı sistemleri ile tramvay talep bilgisinin elde edileceği nokta, Şekil 7.11’de görüldüğü gibi loop zeminin altına yerleştirilir. Loop sistemi bağlantı kablosuyla dedektöre bağlanır.



Şekil 7.11. Loop’un zemin altına yerleştirilmesi (Aydemir 2008)

Kapalı devre endüktif algılama sisteminin kurulumu tamamlandı ve çalıştırıldığında loop kısmında bir manyetik alan oluşur. Oluşan bu manyetik alana tramvaylar girdiğinde girdap akımları bu tramvay üzerinde dolaşır. Girdap akımları oluşan manyetik alana zıt bir alan oluşturarak loop üzerindeki manyetik alanın bozulmasına sebep olur ve loop'un gösterdiği endüktans değeri düşer. Endüktans değeri düştüğü için rezonans frekansı artar. Bu akım yüksek bir değere ulaştığında bir yük artışına sebep olur ve dedektörün içindeki osilatörü durdurabilir. İşte bu anda çıkışta bir durum değişikliği olduğu için tramvay algılanmış olur (Aydemir 2008).

Sistemin diğer bir bileşeni, tüm yönlerdeki kamera ve endüktif algılama sistemlerinden elde edilen verilerin toplandığı merkezi yönetim modülüdür. Bu yönetim modülü verileri, kavşağın tramvay öncelikli ve dinamik olarak yönetilmesini sağlayacak algoritmanın çalışırken girdi olarak kullanmasını sağlar. Ayrıca gerçekleştirilecek sistem, merkezi yönetim modülünün sunduğu gömülü platformda çalışmakta olup, söz konusu algoritmanın çıktıları merkezi yönetim modülü tarafından kavşağa aktarılır. Şekil 7.12'de Merkezi yönetim modülü gösterilmiştir.



Şekil 7.12. Merkezi yönetim modülü

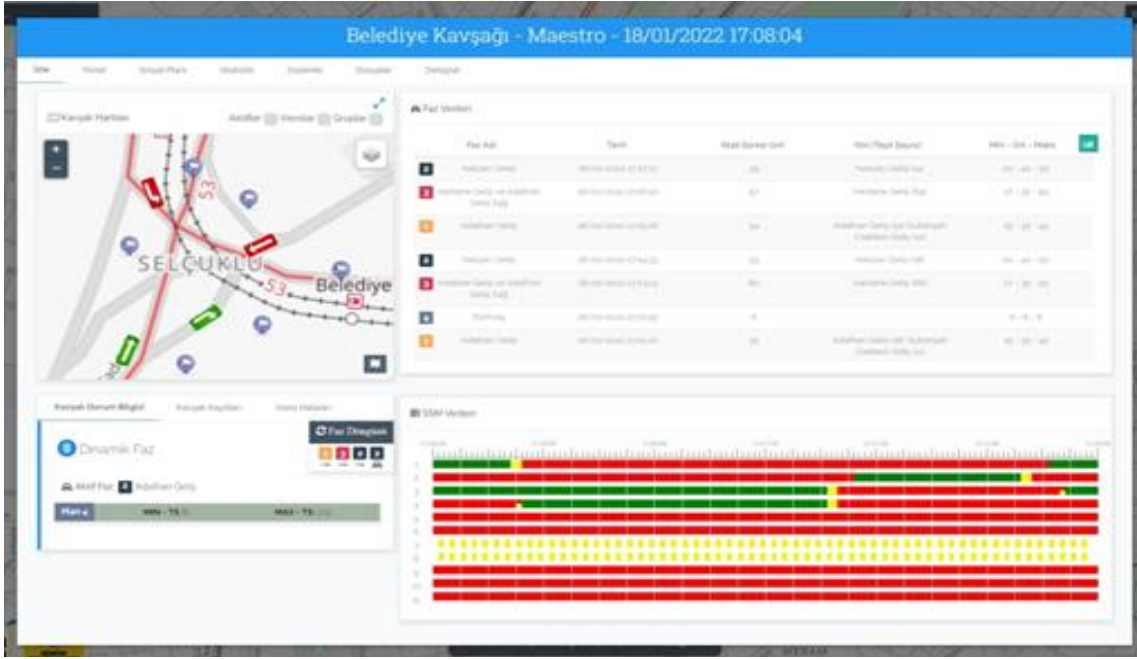
Sistemin çıktıları olan tramvay geçiş önceliği, araç yoğunluğuna göre eklenecek/çıkarılacak yeşil süresi ve bir sonraki aktif faz bilgileri, bir arayüz birimi yardımıyla kavşak kontrol cihazına iletilir(Yücel ve Büyükçay, 2013). Şekil 7.13’de kavşak kontrol cihazı gösterilmiştir.



Şekil 7.13. Kavşak Kontrol Cihazı

Kavşağın tramvay öncelikli ve dinamik olarak yönetilmesinin yanında, sistemin sürekli olarak ürettiği trafik verileri, trafik yönetim yazılımı olan Merkezi TrafikYönetim Sistemi (METİS)’e aktarılmaktadır. Bu sistem iletişim ve veri işleme teknolojilerinin kullanımı ile;

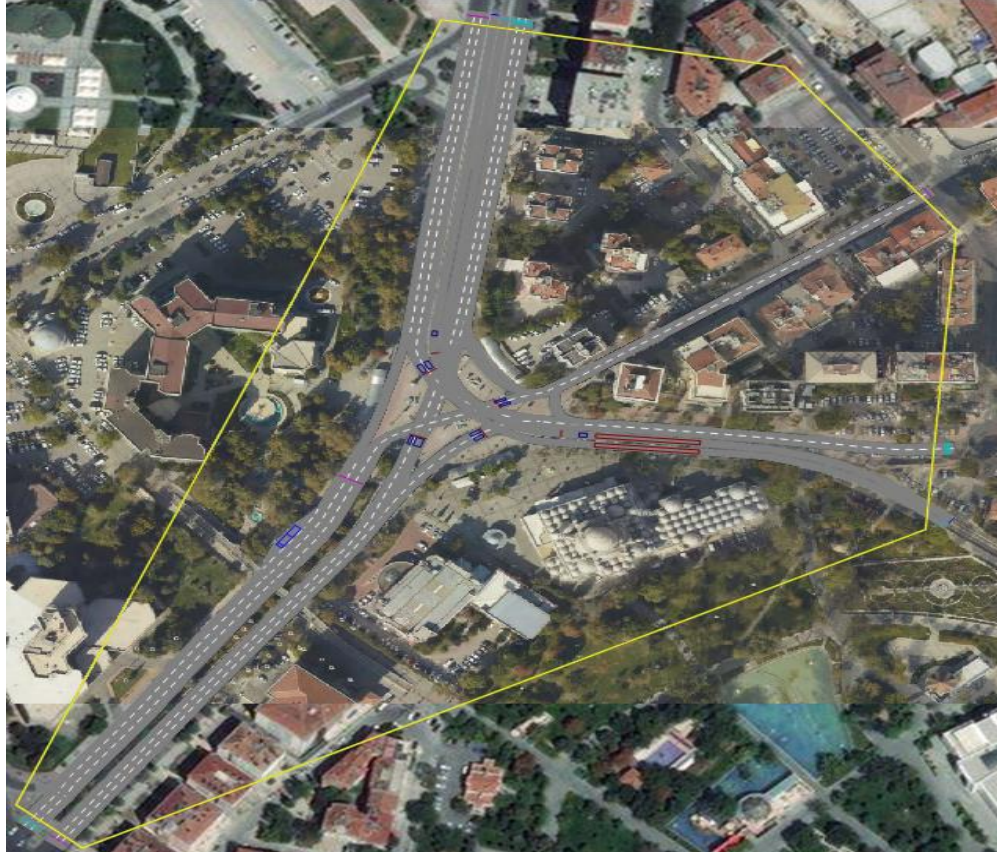
- ✓ Tüm kavşakları ve anlık sinyal planlarını harita üzerinde görüntüleme,
- ✓ Sinyal planları hazırlama, düzenleme ve anında müdahale edebilme,
- ✓ Kavşak kontrol cihazlarına erişim ve programlama imkânı sunmaktadır. Şekil 7.14’te Belediye Kavşağına ait METİS verileri gösterilmektedir.



Şekil 7.14. Belediye Kavşağına ait METİS verileri

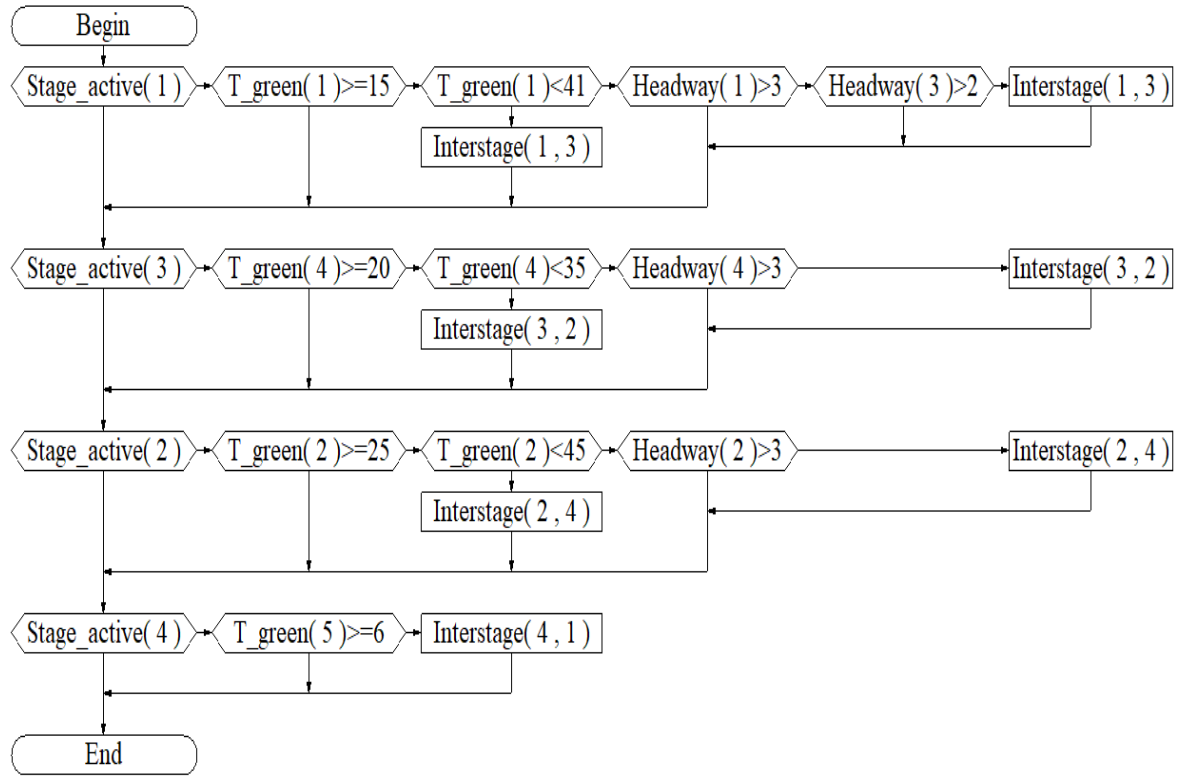
7.7. Saha Verilerinin Benzetim Yazılımına Aktarılması

Trafik ışıklarında tramvaya tanınan geçiş önceliği uygulamasının öncesi ve sonrasındaki etkilerini görebilmek için 119 numaralı kavşak, VISSIM paket yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Mevcut durum ve tramvay öncelikli duruma ait sahada gözlemlenen; trafik hacimleri, taşıt türleri, faz düzeni, yol üstü park alanları, devre düzeni ve kavşağa ait şerit genişlikleri, dedektör ve trafik ışıklarının konumu gibi geometrik veriler de VISSIM'e aktarılmıştır. VISSIM'de taşıtların hızları tüm kavşak kolları için, yasal hız sınırı olan 50 km/sa, tramvaylar için 25 km/sa olduğu kabul edilmiştir. Toplanan bütün bu verilerin VISSIM'e aktarılması sonucunda elde edilen VISSIM yazılımına ait ana ekran görüntüsü Şekil 7.15'te gösterilmiştir.

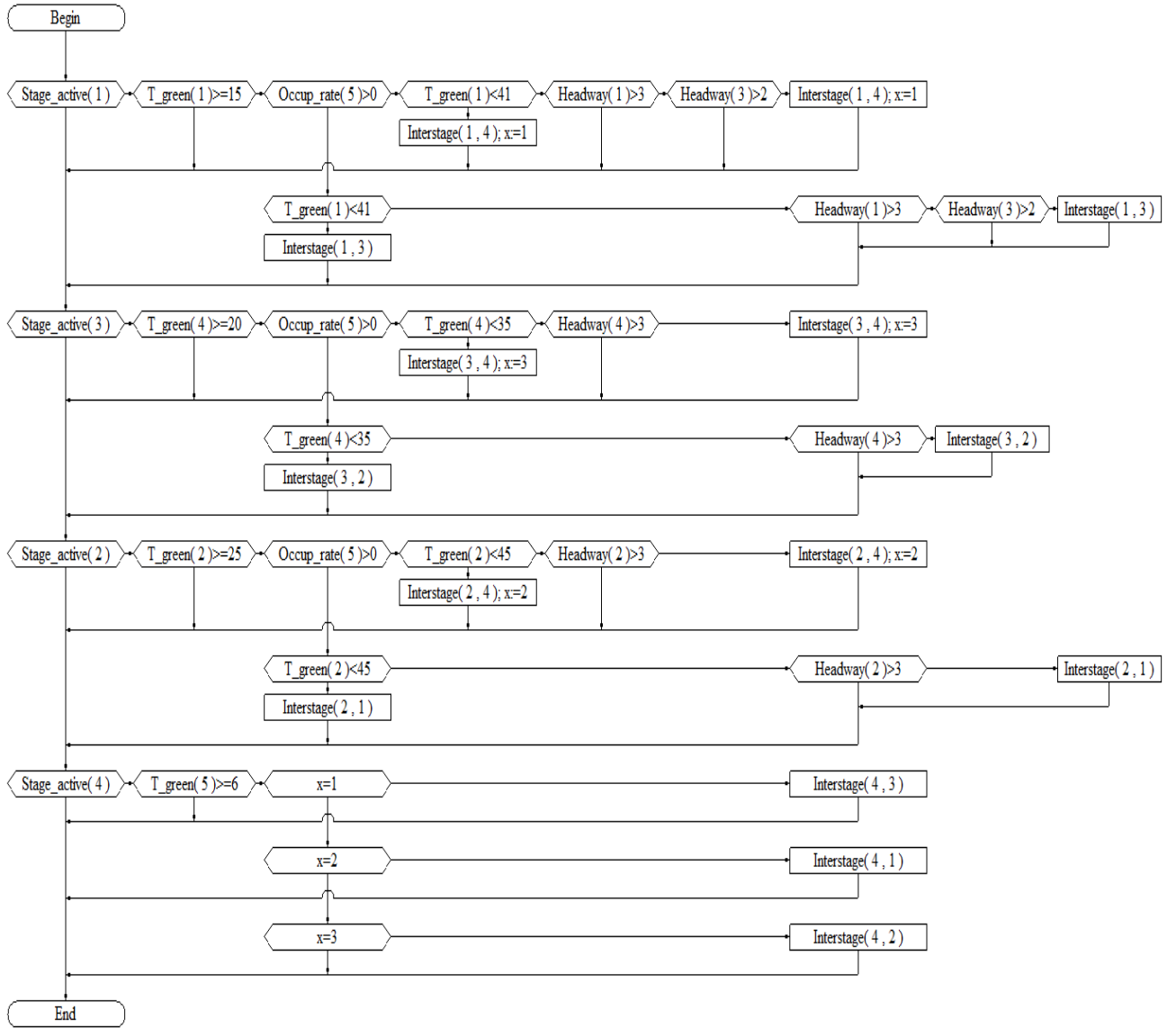


Şekil 7.15. VISSIM yazılımına ait ana ekran görüntüsü

İncelenen sinyalizasyon kavşağın dinamik ve tramvay öncelikli çalışmasından dolayı tüm yaklaşım kollarına dedektörler yerleştirilmiştir. Veri ve bilgi akışının tüm bağlantı kollarından sağlandığı ve kavşağın söz konusu veriler ışığında yönetildiği trafik uyarmalı denetimde, yeşil süreler ve dolayısıyla devre süreleri dedektörler tarafından algılanan trafik taleplerine göre belirlenmektedir. Bu çalışma kapsamında tramvay önceliğinde kullanılan öncelik stratejilerden faz ekleme yöntemi kullanılmıştır. Tramvaydan gelen talep doğrultusunda tramvaya tanınacak geçiş önceliğinin; hemen, faz sonunda veya döngü sonunda, çoklu işletme ile birlikte birisi tercih edilebilir. Saha da tramvaydan gelen talep doğrultusunda mevcut faz araç yoğunluğuna bağlı dinamik çalışmasını tamamladıktan sonra tramvaya geçiş önceliği verecektir. Şekil 7.16 ve Şekil 7.17’de mevcut ve tramvay öncelikli duruma ait kavşak modeli için algoritma akış diyagramları gösterilmektedir.



Şekil 7.16. Mevcut duruma ait algoritma akış diyagramı



Şekil 7.17. Tramvay öncelikli duruma ait algoritma akış diyagramı

7.8. Mevcut ve Tramvay Öncelikli Duruma ait Modellerin Değerlendirilmesi

Belediye Kavşağında tramvaya tanınan geçiş önceliği uygulamasının öncesi ve sonrasındaki saha verileri VISSIM paket yazılımında modellenmiş, bu iki durum VISSIM’de koşturularak analiz sonuçlarına ulaşılır. Bu analiz sonuçlarında; kuyruk uzunluğu, maksimum kuyruk uzunluğu, taşıt gecikmeleri, yaya gecikmeleri, durma gecikmeleri, durma mesafeleri, emisyon değerleri ve yakıt tüketimi verileri elde edilir. Şekil 7.18 ve Şekil 7.19’da mevcut ve tramvay öncelikli duruma ait simülasyon sonuçları gösterilmektedir.

SABAH ZİRVESİ								
	Ortalama Kuyruk (m)	Maksimum Kuyruk (m)	Taşıt Sayısı	Taşıt Gecikme Süresi (s)	Emisyon (CO)	Emisyon (Nox)	Emisyon (VOC)	Yakıt Tüketimi
Adalhan geliş -> Beşyol İst. Gidiş	16,83	133,34	682	26,22	1023,56	199,15	237,22	14,64
Adalhan Geliş -> Nalçacı Gidiş	35,98	139,58	937	40,39	1694,38	329,67	392,69	24,24
Nalçacı Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	35,22	145,69	620	48,82	1140,47	221,89	264,31	16,32
Nalçacı Geliş -> Nalçacı Gidiş	35,22	145,69	95	48,68	170,79	33,23	39,58	2,44
Nalçacı Geliş -> Adalhan Gidiş	0,00	5,20	861	3,29	802,18	156,07	185,91	11,48
Tramvay Kampüs Geliş	4,25	40,49	11	52,24	20,18	3,93	4,68	0,29
Tramvay Alaaddin Geliş	14,70	79,88	12	81,31	27,31	5,31	6,33	0,39
Hastane Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	5,69	75,84	64	10,38	61,03	11,87	14,14	0,87
Hastane Geliş -> Nalçacı Gidiş	0,00	0,00	62	39,24	100,91	19,63	23,39	1,44
Hastane Geliş -> Adalhan Gidiş	22,06	87,42	416	53,36	862,57	167,82	199,91	12,34
Genel Ort.	14,97	145,69	3760	32,00	5903,38	1148,58	1368,17	84,45
ÖĞLE ZİRVESİ								
	Ortalama Kuyruk (m)	Maksimum Kuyruk (m)	Taşıt Sayısı	Taşıt Gecikme Süresi (s)	Emisyon (CO)	Emisyon (Nox)	Emisyon (VOC)	Yakıt Tüketimi
Adalhan geliş -> Beşyol İst. Gidiş	11,45	90,58	497	26,29	744,15	144,78	172,46	10,65
Adalhan Geliş -> Nalçacı Gidiş	24,87	112,89	679	41,45	1247,44	242,71	289,11	17,85
Nalçacı Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	23,81	145,45	500	39,60	833,02	162,08	193,06	11,92
Nalçacı Geliş -> Nalçacı Gidiş	23,81	145,45	106	40,76	173,03	33,67	40,10	2,48
Nalçacı Geliş -> Adalhan Gidiş	0,00	0,00	936	2,67	840,96	163,62	194,90	12,03
Tramvay Kampüs Geliş	5,40	40,49	10	69,10	20,85	4,06	4,83	0,30
Tramvay Alaaddin Geliş	7,70	56,04	8	41,32	13,34	2,60	3,09	0,19
Hastane Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	9,13	96,91	103	13,80	106,47	20,71	24,67	1,52
Hastane Geliş -> Nalçacı Gidiş	0,00	0,00	89	30,33	130,45	25,38	30,23	1,87
Hastane Geliş -> Adalhan Gidiş	23,95	109,05	513	46,65	1011,44	196,79	234,41	14,47
Genel Ort.	11,81	145,45	3441	28,16	5121,86	996,53	1187,04	73,27
AKŞAM ZİRVESİ								
	Ortalama Kuyruk (m)	Maksimum Kuyruk (m)	Taşıt Sayısı	Taşıt Gecikme Süresi (s)	Emisyon (CO)	Emisyon (Nox)	Emisyon (VOC)	Yakıt Tüketimi
Adalhan geliş -> Beşyol İst. Gidiş	9,92	108,68	467	21,83	649,82	126,43	150,60	9,30
Adalhan Geliş -> Nalçacı Gidiş	35,15	133,92	708	50,27	1389,64	270,37	322,06	19,88
Nalçacı Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	35,06	205,10	430	57,23	861,85	167,68	199,74	12,33
Nalçacı Geliş -> Nalçacı Gidiş	35,06	205,10	103	50,81	189,01	36,77	43,80	2,70
Nalçacı Geliş -> Adalhan Gidiş	0,08	11,54	1183	7,47	1232,40	239,78	285,62	17,63
Tramvay Kampüs Geliş	5,60	40,49	10	60,74	19,66	3,83	4,56	0,28
Tramvay Alaaddin Geliş	15,90	80,18	11	91,85	26,82	5,22	6,22	0,38
Hastane Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	15,28	126,40	73	29,32	99,07	19,28	22,96	1,42
Hastane Geliş -> Nalçacı Gidiş	0,00	0,00	86	36,32	134,52	26,17	31,18	1,92
Hastane Geliş -> Adalhan Gidiş	40,72	137,98	672	53,85	1390,58	270,56	322,28	19,89
Genel Ort.	17,52	205,10	3743	34,07	5994,89	1166,39	1389,37	85,76

Şekil 7.18. Mevcut duruma ait simülasyon sonuçları

SABAH ZİRVESİ								
	Ortalama Kuyruk (m)	Maksimum Kuyruk (m)	Taşıt Sayısı	Taşıt Gecikme Süresi (s)	Emisyon (CO)	Emisyon (Nox)	Emisyon (VOC)	Yakıt Tüketimi
Adalhan geliş -> Beşyol İst. Gidiş	16,11	174,47	679	21,50	960,01	186,78	222,49	13,73
Adalhan Geliş -> Nalçacı Gidiş	34,95	156,61	926	40,21	1661,80	323,33	385,14	23,77
Nalçacı Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	31,81	168,73	626	43,59	1084,65	211,03	251,38	15,52
Nalçacı Geliş -> Nalçacı Gidiş	31,81	168,73	95	39,41	153,58	29,88	35,59	2,20
Nalçacı Geliş -> Adalhan Gidiş	0,00	0,00	862	5,00	830,49	161,58	192,47	11,88
Tramvay Kampüs Geliş	3,24	40,49	11	43,47	19,05	3,71	4,41	0,27
Tramvay Alaaddin Geliş	10,21	56,04	12	43,72	20,77	4,04	4,81	0,30
Hastane Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	5,01	96,35	64	16,95	73,30	14,26	16,99	1,05
Hastane Geliş -> Nalçacı Gidiş	0,00	0,00	63	28,70	84,91	16,52	19,68	1,21
Hastane Geliş -> Adalhan Gidiş	19,67	108,79	414	48,73	828,25	161,15	191,95	11,85
Genel Ort.	13,45	174,47	3752	29,65	5717,63	1112,44	1325,12	81,80
ÖĞLE ZİRVESİ								
	Ortalama Kuyruk (m)	Maksimum Kuyruk (m)	Taşıt Sayısı	Taşıt Gecikme Süresi (s)	Emisyon (CO)	Emisyon (Nox)	Emisyon (VOC)	Yakıt Tüketimi
Adalhan geliş -> Beşyol İst. Gidiş	7,16	51,59	497	16,90	666,26	129,63	154,41	9,53
Adalhan Geliş -> Nalçacı Gidiş	21,55	111,76	679	36,18	1187,18	230,98	275,14	16,98
Nalçacı Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	18,52	128,39	494	31,96	751,55	146,22	174,18	10,75
Nalçacı Geliş -> Nalçacı Gidiş	18,52	128,39	106	33,68	163,29	31,77	37,84	2,34
Nalçacı Geliş -> Adalhan Gidiş	0,00	0,00	938	1,84	825,91	160,69	191,41	11,82
Tramvay Kampüs Geliş	2,00	40,49	10	34,20	16,00	3,11	3,71	0,23
Tramvay Alaaddin Geliş	6,08	56,04	9	26,91	13,44	2,61	3,11	0,19
Hastane Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	6,76	101,81	103	14,54	104,85	20,40	24,30	1,50
Hastane Geliş -> Nalçacı Gidiş	0,00	0,00	87	29,77	127,93	24,89	29,65	1,83
Hastane Geliş -> Adalhan Gidiş	22,99	113,95	509	43,21	982,66	191,19	227,74	14,06
Genel Ort.	9,45	128,39	3432	23,52	4840,89	941,86	1121,92	69,25
AKŞAM ZİRVESİ								
	Ortalama Kuyruk (m)	Maksimum Kuyruk (m)	Taşıt Sayısı	Taşıt Gecikme Süresi (s)	Emisyon (CO)	Emisyon (Nox)	Emisyon (VOC)	Yakıt Tüketimi
Adalhan geliş -> Beşyol İst. Gidiş	8,74	172,09	466	17,07	619,86	120,60	143,66	8,87
Adalhan Geliş -> Nalçacı Gidiş	33,39	154,23	703	46,71	1344,69	261,63	311,64	19,24
Nalçacı Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	27,43	171,06	437	43,46	752,46	146,40	174,39	10,76
Nalçacı Geliş -> Nalçacı Gidiş	27,43	171,06	105	46,80	183,18	35,64	42,45	2,62
Nalçacı Geliş -> Adalhan Gidiş	0,01	7,64	1185	3,56	1098,41	213,71	254,57	15,71
Tramvay Kampüs Geliş	2,93	40,49	10	39,74	16,67	3,24	3,86	0,24
Tramvay Alaaddin Geliş	8,77	56,04	11	32,07	17,22	3,35	3,99	0,25
Hastane Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	16,50	177,92	73	13,71	71,99	14,01	16,69	1,03
Hastane Geliş -> Nalçacı Gidiş	0,00	0,00	85	33,21	129,09	25,12	29,92	1,85
Hastane Geliş -> Adalhan Gidiş	35,74	189,50	671	48,30	1335,54	259,85	309,52	19,11
Genel Ort.	14,83	189,50	3746	28,27	5570,80	1083,88	1291,09	79,70

Şekil 7.19. Tramvay öncelikli duruma ait simülasyon sonuçları

Bu çalışma kapsamında günün zirve saatlerinde taşıt başına gecikme değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Mevcut durumun her kavşak kolu için taşıt başına ortalama bekleme süreleri Çizelge 7.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Mevcut durumun kavşak kollarındaki taşıt başına ortalama bekleme süreleri(sn)

Akım Yönü	Sabah	Gün İçi	Akşam
Adalhan geliş -> Beşyol İst. Gidiş	26,22	26,29	21,83
Adalhan Geliş -> Nalçacı Gidiş	40,39	41,45	50,27
Nalçacı Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	48,82	39,60	57,23
Nalçacı Geliş -> Nalçacı Gidiş	48,68	40,76	50,81
Nalçacı Geliş -> Adalhan Gidiş	3,29	2,67	7,47
Tramvay Kampus Geliş	52,24	69,10	60,74
Tramvay Alaaddin Geliş	81,31	41,32	91,85
Hastane Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	10,38	13,80	29,32
Hastane Geliş -> Nalçacı Gidiş	39,24	30,33	36,32
Hastane Geliş -> Adalhan Gidiş	53,36	46,65	53,85

Tramvay öncelikli durumun her kavşak kolu için taşıt başına ortalama bekleme süreleri Çizelge 7.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. Tramvay öncelikli durumun kavşak kollarındaki taşıt başına ortalama bekleme süreleri(sn)

Akım Yönü	Sabah	Öğle	Akşam
Adalhan geliş -> Beşyol İst. Gidiş	21,50	16,90	17,07
Adalhan Geliş -> Nalçacı Gidiş	40,21	36,18	46,71
Nalçacı Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	43,59	31,96	43,46
Nalçacı Geliş -> Nalçacı Gidiş	39,41	33,68	46,80
Nalçacı Geliş -> Adalhan Gidiş	5,00	1,84	3,56
Tramvay Kampus Geliş	43,47	34,20	39,74
Tramvay Alaaddin Geliş	43,72	26,91	32,07
Hastane Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	16,95	14,54	13,71
Hastane Geliş -> Nalçacı Gidiş	28,70	29,77	33,21
Hastane Geliş -> Adalhan Gidiş	48,73	43,21	48,30

Mevcut durumun ve tramvay öncelikli durumun her kavşak kolu için taşıt başına hesaplanan ağırlıklandırılmış ortalama bekleme süreleri Çizelge 7.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 7.6. Mevcut ve tramvay öncelikli durumun kavşak kollarındaki taşıt başına ağırlıklandırılmış ortalama bekleme süreleri(sn)

Akım Yönü	Mevcut durum	Tramvay Öncelikli
Adalhan geliş -> Beşyol İst. Gidiş	24,99	18,85
Adalhan Geliş -> Nalçacı Gidiş	43,71	41,00
Nalçacı Geliş -> Beşyol İst. Gidiş	48,18	39,86
Nalçacı Geliş -> Nalçacı Gidiş	46,64	39,96
Nalçacı Geliş -> Adalhan Gidiş	4,76	3,44
Tramvay Kampus Geliş	60,42	39,27
Tramvay Alaaddin Geliş	74,73	34,99
Hastane Geliş -> Nalçacı Gidiş	17,61	14,93
Hastane Geliş -> Adalhan Gidiş	34,84	30,73

Çizelge 7.6 incelediğinde Belediye Kavşağında tramvay geçiş önceliği uygulaması sonrasında tüm kavşak kollarında taşıt başına ağırlıklandırılmış ortalama bekleme sürelerinde iyileşmeler görülmektedir.

Çizelge 7.7 incelediğinde kavşak üzerinde tramvay başına ağırlıklandırılmış ortalama bekleme süresi, mevcut durumda 67,57 saniye olduğu, bu sürenin tramvay önceliği uygulandığında 37,09 saniyelere düşmesiyle %45,10 iyileşme sağlanacaktır. Kavşakta bulunan hafif taşıtların taşıt başına ağırlıklandırılmış ortalama bekleme süresi, mevcut durumda 31,3 saniye olduğu, bu sürenin tramvay önceliği uygulandığında 27,19 saniyelere düşmesiyle %13,13 iyileşme sağlanacaktır.

Çizelge 7.7. Tramvay ve hafif taşıtların taşıt başına ağırlıklandırılmış ortalama bekleme süreleri(sn)

Taşıt Tipi	Mevcut durum	Tramvay Öncelikli	% İyileşme
Hafif taşıt	31,3	27,19	% 13,13
Tramvay	67,57	37,09	% 45,10

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında Konya'da Selçuklu İlçesi, Vatan Caddesi ile Hastane Caddesi kesişimi Belediye Kavşağında tramvaylara geçiş önceliği uygulanmasının etkileri araştırılmıştır. Bu mevcut durum ve tramvay öncelikli duruma ait sahada gözlemlenen; trafik hacimleri, taşıt türleri, faz düzeni, devre düzeni ve kavşağa ait şerit genişlikleri, dedektör ve trafik ışıklarının konumu gibi geometrik veriler toplanıp, VISSIM benzetim yazılımı kullanılarak sinyalize kavşak modellenmiştir. Toplanan veriler ile VISSIM benzetim yazılımı kullanılarak ışıklı kavşak modellenmiştir. Bu çalışma kapsamında tramvay önceliğinde kullanılan öncelik stratejilerden faz ekleme yöntemi kullanılmıştır. Tramvaydan gelen talep doğrultusunda tramvaya tanınacak geçiş önceliğinin; hemen, faz sonunda veya döngü sonunda, çoklu işletme ile birlikte birisi tercih edilebilir. Saha da tramvaydan gelen talep doğrultusunda mevcut faz araç yoğunluğuna bağlı dinamik çalışmasını tamamladıktan sonra tramvaya geçiş önceliği verecektir.

Modellemeden elde edilen veriler sonucunda kavşak üzerinde tramvay başına ağırlıklandırılmış ortalama bekleme süresi, mevcut durumda 67,57 saniye olduğu, bu sürenin tramvay önceliği uygulandığında 37,09 saniyelere düşmesiyle %45,10 iyileşme sağlanacaktır. Kavşakta bulunan hafif taşıtların taşıt başına ağırlıklandırılmış ortalama bekleme süresi, mevcut durumda 31,3 saniye olduğu, bu sürenin tramvay önceliği uygulandığında 27,19 saniyelere düşmesiyle %13,13 iyileşme sağlanacaktır.

Sinyalize kavşakta tramvaya geçiş önceliği sağlanması ile yolculuk sırasındaki kayıp zamanlar azalmakta olup, bunun sonucunda araç tasarrufu sağlanabilecektir. Seyahat sürelerindeki zaman tasarrufuyla birlikte toplu ulaşım talebin artması ve kullanıcılarının memnuniyet düzeyi, zaman kazançları maksimize edilirken işletmeciler yönünden de giderlerin azaltılması sağlanacaktır. Ayrıca tramvaylara tanınan geçiş önceliği sayesinde tramvay gelmediği zaman kavşak kendi içinde dinamik bir şekilde çalışmasını sürdürerek araçların kavşaklarda bekleme süreleri de azalacaktır.

8.2. Öneriler

Toplu ulaşımı hızlandırma çalışmaları kapsamında; kavşakta tramvaya tanınan geçiş önceliği avantajlarının yanında, kavşağa iki koldan yaklaşan tramvayların çok kısa

sürelerde farklı fazlarda kavşağa giriş yapması neticesinde kavşakta oluşan gecikme sürelerinin artması dezavantaj bir durumdur. Bu durumun farklı yönlerden kavşağa gelen tramvaylara kavşağa ne kadar bir hızla gitmesi gerektiği bilgisinin paylaşılması neticesinde farklı yöndeki tramvaylar aynı anda kavşağa giriş yapacaktır. Böylece kavşakta oluşan gecikmeler en aza indirilmiş olacaktır.

Tez kapsamında tramvaylardan gelen talep doğrultusunda geçiş önceliği her faz sonunda verilmiş olup, verilecek geçiş önceliğinin; hemen veya döngü sonunda, çoklu işletme ile birlikte tercih edilmesi durumları modellenip analiz yapılabilir.

Tramvaya geçiş önceliği verilmesi düşünülen yeni yapılacak raylı sistem hatlarında, kavşağın fiziki yapısı tramvaya geçiş önceliği verilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Tramvay, metro vb. raylı sistem taşımacılığının mümkün olan en kısa sürede yaygınlaştırılması gereklidir.

9. KAYNAKLAR

- Abbasgil, E.(1994).*İstanbul'daki Toplu Taşımacılık Kapsamında Raylı Sistemlerin Değerlendirmesi (Esenler- Aksaray Hızlı Tramvay Örneği)*, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Adal, E.E. (1999). *Yeşil Dalga Koordinasyon Sistemlerinin Kent İçi Trafikğine Etkileri*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Adıyaman, O., Gündoğdu, F. (2011). *Raylı Sistemlerde Trafik Geçiş Üstünlüğü Avantajları ve Uygulamadaki Problemler*, Transist 4.Ulusal Toplu Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi, (S.308-315)
- Akbaş, A. (2001). *Kentiçi Ulaşımında Ana Arterlerdeki Ulaşım Performansının Simülasyon Tabanlı Olarak Değerlendirilmesi*, 5. Ulaştırma Kongresi, s.75-86
- Aktaş, Y., Aslan, H. ve Pistil, F. (2017). *Sinyalize Kavşaklarda Meydana Gelen Taşıt Gecikmelerinin VISSIM Simülasyon Modellenmesi*. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2017), 29-30 September, Baku – Azerbaijan, pp 374-386.
- Ayfer, M. Ö., (1977). *Trafik Sinyalizasyonu*, T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara 1977 Dergisi, sayı 81.
- Bayrak, C., Küreli, O.N. ve Yücel, Ş. (2014) *İllerde Dinamik Kavşak Yönetiminin Etkileri:Çorum Örneği*
- Bayram, C.S. (2018). *Toplu Taşımada Raylı Sistemlerin Önemi ve Kentiçi Uygulamalarının sağladığı Kazanımların Akçaray Üzerinden Değerlendirilmesi* Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli
- Bojadziev, G. M. (2007). *Fuzzy Logic for Business, Finance, and Management* (2ndEdition). World Scientific Publishing, 253. Canada.
- Büyükbaş, N., (2016). *Toplu Taşıma Kullanımını arttırıcı Uygulamalar ve Kayseri Örneği*. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Camcı, A. A. (2019). *Kavşak Tasarımında Trafik Simülasyon Tekniklerinin Kullanımı ve Sakarya için Uygulamalar*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Cirit, F. (2014). *Sürdürülebilir Kent içi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması*. T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler veKoordinasyon Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi.

- Çubuk M.K.,Türkmen M., Erdem M., (2003).*Ankara'da Ulaşım Planlaması Çalışmalarının Raylı Sistemler Bazında Değerlendirilmesi*, Gazi Üniversitesi,Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(1), 125-144.
- Daniel, J., Lieberman, E., Srinivasan, R. (2004).*Assess Impacts and Benefits of Traffic Signal Priority for Buses* (Rapor No: DPT: FHWA-NJ-2004-013). New Jersey Department of Transportation, Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation Washington, D.C. National Center for Transportation and Industrial Productivity New Jersey Institute of Technology KLD Associates ve Inc Dowling College University Transportation Research Center City College of New York.
- Deshpande, V. (2003). *Evaluating the impacts of transit signal priority strategies on traffic flow characteristics: Case Study along U.S.1, Fairfax county, Virginia.* (Yüksek lisans tezi). Virginia State University Polytechnic Institute, Virginia.
- Erciyes, M. (2016). *Trafik Işıklarında Toplu Taşımaya Geçiş Önceliği Uygulamaları, Münih Şehri Örneği*. Universität der Bundeswehr München.
- Evren, G., (1978). *Kentsel ulaşımında raylı sistemler*, 1.Toplu Taşım Kongresi, Ankara Belediyesi Ego Genel Müdürlüğü, Ankara, 11-14 Aralık, ss 273-297.
- Gözler, D. (2015). *Hız Yönetiminde Kullanılan Altyapı Değişikliklerinin Kavşak Performansına Etkileri Ve Örnek Bir Uygulama*.Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı, Ankara
- Kanmaz, O., (2015), *Katenersiz Tramvay Sistemleri ve Konya Uygulaması*. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Karal, Ö., (2004).*Java Ortamında Bulanık Mantık Kontrol : Kamyon Yükleme-Boşaltma Uygulaması*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Yüksek lisans tezi.
- Keskin, D., (2013). *Kent içi raylı sistemlerde elektromekanik sistemler yatırım maliyetleri*. Bahçeşehir Üniversitesi FBE, Yüksek Lisans Tezi
- Koç, H., (2010). *Eşdüzey kavşaklardan katlı kavşaklara geçiş örnekleri ve uygunluklarının değerlendirilmesi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Konya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı Trafik Sinyalizasyon Şube Müdürlüğü Trafik Kontrol Merkezi

- Lammer, S. ve Helbing, D., (2010). *Self – Stabilizing Decentralized Signal Control of Realistic, Saturated Network Traffic* . Santa Fe Institute, New Mexico, ABD:
- Mahmood M. S. (2010). *Bulanık Mantık Kullanılarak Trafik kontrolü Tasarımı ve Uygulaması*. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi
- Mahmood T. A. (2019). *Akıllı Şehirler için Adaptif Trafik Sinyalizasyon kontrolü* Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi
- Mervelj, S., Matulin, M., & Jelusic, N. (2010). *Public Transport Priority System: Impact on Quality of Service*. Zagreb Croatia
- Mohammad A. Taha, Laheeb İ. (2012). *Traffic Simulation System Based on Fuzzy Logic*. Conference Organized by Missouri University of Science and Technology, 356 – 360
- Murat, Y. Ş. (2001). *Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli*, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Öztürk, H. (2012). *Trafik Talep Yönetimi ve Gürsu İlçesinde Sürdürülebilir Ulaşım Planlaması*. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi.
- Polat, A. (2017). *Trafik Işığında Otobüs Önceliğinin İrdelenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi
- Quigley, D. (2014). *Transit Signal Priority Implementation Guidance*. Tindale-Oliver & Associates, Project Manager Florida Department of Transportation.
- Qul Shahmardan J. (2019). *Kent İçi toplu Taşıma Sistemlerinde Önceliklendirme için Model Geliştirilmesi*. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi
- Sarısoy, G., Polat, A., Çağlar, Z.Ç. ve Ögüt, K.S. (2015). *Determination Minibuses Stop Delay in İstanbul*, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 7, s.97-105.
- Url-1 <https://atus.konya.bel.tr/otobus-tarihcesi> erişim tarihi 23.01.2022
- Url-2 <https://www.ibb.istanbul/arsiv/38166/istanbula-160-yeni-metrobus-araci> erişim tarihi 23.01.2022
- Url-3 <https://pixabay.com/tr/images/search/trolleybus/> erişim tarihi 23.01.2022
- Url-4 [https://tr.wikipedia.org/wiki/M1_\(%C4%B0stanbul_metrosu\)#/media/Dosya:M1_%C4%B0stanbul_Metrosu\(T\).jpg](https://tr.wikipedia.org/wiki/M1_(%C4%B0stanbul_metrosu)#/media/Dosya:M1_%C4%B0stanbul_Metrosu(T).jpg) erişim tarihi 23.01.2022

Url-5 <https://www.konya.bel.tr/haberbasin.php?haberID=4689&hDurum=FOTO> erişim tarihi 23.01.2022

Url-6 <https://atus.konya.bel.tr/tramvay-tarihcesi> erişim tarihi 21.11.2021

Url-7 <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Eylul-2021-37431> erişim tarihi 21.11.2021

Wang, Y., Hallenbeck, M., Zheng, J., Zhang, G., Ma, X., ve Corey, J. (2008). *Comprehensive Evaluation of Transit Signal Priority System Impacts Using Field Observed Traffic Data* (Rapor No: WA-RD 699.1/ TNW2007-06). Transportation Northwest Regional Center

Yücel, Ş., Büyükçay, H. (2013). *Tam Adaptif Trafik Yönetim Algoritması ile Sinyalize Kavşakların Akıllandırılması*. Ortak Bildiri

