



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURSA HRS HATTININ METROBÜS SİSTEMİ OLARAK MODELLENMESİ

Mehmet RİZELİOĞLU

Doç. Dr. Turan ARSLAN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2015

TEZ ONAYI

Mehmet RİZELİOĞLU tarafından hazırlanan “Bursa Hafif Raylı Sistem Hattının Farklı Ulaşım Sistemi Olarak Modellenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ/DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : (Unvanı, Adı ve Soyadı)

Başkan: Unvanı, Adı ve Soyadı İmza
.....Ü.
.....Fakültesi,
.....Anabilim Dalı

Üye : Unvanı, Adı ve Soyadı İmza
..Ü.Fakültesi,
.....Anabilim Dalı

Üye : Unvanı, Adı ve Soyadı İmza
..Ü.Fakültesi,
.....Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü
.././....(Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- 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 yararlanması 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 üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

03/02/2015

Mehmet RİZELİOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BURSA HRS HATTININ METROBÜS SİSTEMİ OLARAK MODELLENMESİ

Mehmet RİZELİOĞLU

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Turan ARSLAN

Toplumların ekonomik, sosyal ve kültürel gelişimlerine öncülük eden en önemli etkenlerin başında ulaşım gelmektedir. Dolayısıyla, ulaşım ile ilgili yapılacak her türlü planlamalar ve projeler için alınacak doğru ve uygun kararlar, toplumların öncelikle iyi bir ulaşım altyapısına sahip olmalarını sağlayarak ekonomik olarak gelişebilmelerine olanak verirken toplumun refah seviyesinin de yükselmesi açısından önemlidir.

Yakın tarih boyunca ulaşım sistemlerinden hangisinin maliyet ve kapasite açısından daha uygun ve verimli olacağı tartışılmıştır. Ulaşım sistemlerinin her birinin diğer ulaşım türlerine karşı avantaj ve dezavantajları olduğundan mevcut durum ve gelecekteki beklentileri karşılaması açısından çeşitli planlamalar ve analizler yapılmakta ve en iyi (veya en uygun) ulaşım sistemi seçilmeye çalışılmaktadır. Özellikle, doğru ve uygun toplu taşıma sistemine yapılacak yatırımlar, toplumların hem sürdürülebilir gelişimine hem de kısıtlı kaynakların verimli kullanılmasına sebep olacağından önem arz etmektedir. Bundan dolayı, bir bölge için toplu ulaşım sistemine karar verilirken, uygun modelleme yapılarak gerçeğe yakınsak sonuçların alınması da önemli bir noktadır.

Bu amaçla yapılan bu çalışmada önemli trafik simülasyon programlarından biri olan PTV VISSIM ile Bursa'daki mevcut Hafif Raylı Sistemin (HRS) durumu analiz edilmiştir. Daha sonra, yerine ikame edilebilecek diğer toplu ulaşım (Metrobüs) ile kapasite ve konfor gibi bazı performans ölçütleri dikkate alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Bu açıdan, bu çalışma Bursa için olduğu kadar, diğer şehirlerin ulaşım planlamalarında farklı ulaşım sistemleri (Metro, HRS ve Metrobüs gibi) ile şehirlerin ulaşım ihtiyaçları dikkate alınırken; hizmet seviyeleri ve kapasitelerinin de dikkate alındığı karşılaştırmaların yapılabilmesine fırsat vermektedir.

Anahtar kelimeler: PTV VISSIM, Hafif Raylı Sistem, Metrobüs

2016, ix+100 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

MODELLİNG BURSA LRT SYSTEM AS BUS RAPİD TRANSİT

Mehmet RİZELİOĞLU

Uludağ University

Graduate School of Natural Science and Applied Science

Department of Civil Engineering

Supervisor: Associate Professor Turan ARSLAN

Transportation is one of the most important factors that play a vital role for the economic, social and cultural development of a society. Thus, right and appropriate decisions made on transportation related planning and projects are essential primarily for ensuring that the society possess adequate transportation infrastructure and for inducing economic development that brings prosperity to the whole of the society.

It has always been discussed that which transportation system is more efficient and convenient with regard to the cost and capacity. Since each transportation system has its own advantages and disadvantages, the best (or most convenient) one is usually decided through analyzing and modeling existing conditions to see if one satisfies the current and future expectations. Particularly, implementing right and appropriate public transportation systems are critical for achieving sustainable development as well as attaining efficient use of public scarce resources. Therefore, modeling public transportation system that closely reflects the real system is imperative for making proper decisions on selecting appropriate public transportation systems for a region.

The purpose of this study is, therefore, to simulate existing Bursa's Light Rail Transit System (LRT) using PTV VISSIM, which is the one of the leading traffic simulation programs in the field. Then, after confirming that the simulation is able to well reflect the existing system, a non-existing (fictitious) bus rapid transit system is also simulated by and compared with the existing LRT system regarding some performance criteria such as capacity and comfort. Therefore, this study not only is useful for Bursa but also encourages the other cities that while consider different public transportation systems such as Metro, LRT and BRT for satisfying their transportation needs, that can also compare them in many aspects such as level of service and capacities.

Key Words: PTV VISSIM, Light Rail System, Bus Rapid Transit

2016, ix+100 pages

TEŐEKKÖR

Tez çalıőmamın yűrűtűlmesinde önemli etken olan ve çalıőmamın her aőamasında destek ve bilgileriyle yardımcı olarak akademik çalıőmada bir yol gösterici olan danıőman hocam Sayın Doç. Dr. Turan Arslan'a gösterdiėi her tűrlű ilgi, destek ve anlayıő için Őukranlarımı sunarım.

Hayatımın her aőamasında yanımda olan, her tűrlű zorluklarda bana sabrı ve metaneti tavsiye eden ve maddi, manevi desteklerini esirgemeyen aileme teőekkűr ederim.

Mehmet RİZELİOğLU



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	i
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Toplu Ulaşımın Tarihi.....	3
2.2. Toplu Ulaşım Sistemleri.....	4
2.3 Toplu Ulaşım Modları.....	6
2.3.1. Yol Kullanım Hakkı Sınıfı.....	7
2.3.2. Sistem Teknolojileri.....	12
2.3.3. İşletme Türleri:.....	14
2.4. Karayolu ve Demiryolu Toplu Ulaşım Türleri.....	14
2.4.1. Raylı Sistemler.....	14
2.4.1.1. Hafif Raylı Sistemler (HRS).....	16
2.4.1.2. Metro/Raylı Hızlı Toplu Ulaşım.....	17
2.4.1.3. Tramvaylar/ Cadde Tramvayları.....	18
2.4.1.4. Monoraylar.....	19
2.4.1.5. Maglev (Magnetic Levitation) Sistemi.....	20
2.4.2. Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım.....	22
2.4.2.1. Otobüsler, Minibüsler vb. Toplu Ulaşım Araçları.....	22
2.4.2.2. Trolleybüs.....	23
2.4.2.3. Metrobüs.....	24
2.4.2.4. Lastik Tekerlekli Hızlı Ulaşım.....	25
2.5. Türkiye’de Toplu Ulaşım Sistemleri.....	26
2.5.1. Bursa’da Raylı Sistem Hatları.....	28
2.5.1.1. T3 Tramvay Hattı.....	29
2.5.1.2. T1 (İpekböceği) Hattı.....	30
2.5.1.3. Hafif Raylı Sistem Hattı.....	32
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	33
4. ÇALIŞMANIN AMACI ve KAPSAMI.....	37
4.1. VISSIM Simülasyon Programı.....	37
5. MATERYAL ve YÖNTEM.....	40
5.1. Veriler.....	41
5.1.1. Simülasyon İçin Verilerin Düzenlenmesi.....	44
5.1.2. İnen Yolcu Verilerinin Düzenlenmesi.....	46
5.2. Simülasyon Ağ Modelinin Hazırlanması.....	52
5.2.1 Hattın oluşturulması.....	52
5.2.2. İstasyonların Modellenmesi.....	54

5.2.3. Yolcu Girdileri	56
5.2.4. Toplu Ulaşım Araçlarının Modellenmesi.....	59
5.2.5. Hız ve Sefer Aralıklarının Belirlenmesi.....	62
5.3. Simülasyon Süreci.....	64
5.3.1. Simülasyonun Geçerliliği.....	67
6. BULGULAR ve İRDELEMELER	71
6.1. Araçlardaki Kalabalıklık Derecesi (DOC) ve Hizmet Seviyesi (LOS).....	71
6.1.1. Kalabalıklık Dereceleri	71
6.1.2. Hizmet Seviyeleri Alan Kullanımı (alan/yolcu)	80
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	92



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar Açıklama

X_i	: i. durağa gelirken aracın içindeki yolcu sayısı
a_i	: i. duraktan inen yolcu sayısı
b_i	: i. durakta binen yolcu sayısı
λ	: Birim zamanda gerçekleşen ortalama olay sayısı
x	: Poisson dağılımına sahip rassal bir değişken
e	: Euler sayısı

Simgeler

İETT	: İstanbul Elektrikli tramvay ve tünel işletmeleri
BURSARAY	: Bursa raylı ulaşım
BURULAŞ	: Bursa Ulaşım Topu Taşıma İşletmeciliği
2D	: İki boyutlu görünüm
3D	: Üç boyutlu görünüm
h	: Sefer aralığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Atlı tramvay ile yapılan toplu ulaşım (Anonim 2015c).....	4
Şekil 2.2. Ulaşım sistemleri (Anonim 2009).....	5
Şekil 2.3. Özel araç kullanımı ile toplu ulaşımın kıyası (Anonim 2007).....	6
Şekil 2.4. İstanbul’da bir tramvay hattı (Anonim 2015d).....	8
Şekil 2.5. Farklı toplu ulaşım türleri için performans/yatırım maliyetleri (Vuchic 2015).....	11
Şekil 2.6. İspanya’nın AVE treni (Barron, 2007).....	13
Şekil 2.7. Bursa HRS hattı (Anonim 2015f).....	17
Şekil 2.8. Bir metro hattı (Anonim 2015g).....	18
Şekil 2.9. Tramvay/ Cadde Tramvayı (Kasımoğlu 2015).....	19
Şekil 2.10. Monoray ulaşım sistemi (Anonim 2015h).....	20
Şekil 2.11. Japonya’da tasarlanmış bir Maglev hattı (Anonim 2015ı).....	22
Şekil 2.12. Karma trafikte işleyen otobüsler (Anonim 2014a).....	23
Şekil 2.13. Bir trolleybüs hattı (Trolley 2013).....	24
Şekil 2.14. Bir metrobüs hattı (Kocabaş 2007).....	25
Şekil 2.15. Paris lastik tekerlekli hızlı ulaşım hatlarından birinde trenler (Vuchic 2015).....	26
Şekil 2.16. Türkiye’de ulaşım türüne göre yüzdesel dağılım (KGM 2014).....	27
Şekil 2.17. T1, T3 ve HRS hatları (Anonim 2016).....	29
Şekil 2.18. Bursa’da T3 nostaljik tramvay hattı (Anonim 2015k).....	30
Şekil 2.19. Türkiye’nin ilk yerli tramvayı olan İpekböceği (Anonim 2015k).....	31
Şekil 2.20. İpekböceği tramvay hattının geçtiği güzergah (Anonim 2016b).....	31
Şekil 4.1. VISSIM’de 3B gösterimi.....	38
Şekil 4.2. Simülasyon modelinin hazırlanması (Bains ve ark., 2012).....	39
Şekil 5.1. Bursa’daki Üniversite-Kültürpark ve Emek-Kültürpark HRS hattının güzergahları.....	40
Şekil 5.2. HRS 1 ve HRS 2 hattındaki istasyonlar (Baştürk 2014).....	41
Şekil 5.3. Yıllara göre aylık yolcu değişimi grafiği.....	42
Şekil 5.4. Tipik bir ayın günsel değişimi.....	43
Şekil 5.5. Tipik bir günün saatlik yolcu sayıları.....	43
Şekil 5.6. %85 ve %50 değerleri (Pazartesi, 18:00-19:00 arası, Nilüfer istasyonu).....	45
Şekil 5.7. Aracın duraktaki davranışı ve yolcu iniş menüsü.....	47
Şekil 5.8. İstasyon bazında yolcu iniş oranları (Kültürpark yönü).....	49
Şekil 5.9. İstasyon bazında yolcu iniş oranları (Üniversite yönü-Emek yönü).....	49
Şekil 5.10. Raylı hattın tanımlanması.....	53
Şekil 5.11. Tanımlanan hattın 2B ve 3B görünümü.....	53
Şekil 5.12. VISSIM programında mevcut hat üzerinden çizilen yollar.....	54
Şekil 5.13. HRS istasyonu; bekleme alanı (mavi alan), platform kenarları (pembe alanlar), yolcuların ağa giriş yeri (siyah nokta), rotalar (mavi noktalar) ve 120 m uzunluğundaki duraklar.....	55

Şekil 5.14. Metrobüs istasyonu; bekleme alanı (mavi alan), platform kenarları (pembe alanlar), yolcuların ağa giriş yeri (siyah nokta), rotalar (mavi noktalar) ve 30 m uzunluğundaki duraklar.....	55
Şekil 5.15. Simülasyon için yolcu girişleri ve zaman çizelgesi.....	57
Şekil 5.16. İnen yolcu oranlarının VISSIM'e girilmesi.....	58
Şekil 5.17. HRS aracının 3B görüntüsü.....	59
Şekil 5.18. Metrobüs aracının 3B görüntüsü.....	60
Şekil 5.19. HRS aracının teknik özellikleri.....	61
Şekil 5.20. Metrobüs aracının teknik özellikleri.....	61
Şekil 5.21. HRS hattında hız ve sefer aralıklarının belirlenmesi.....	62
Şekil 5.22. Metrobüs hattının sefer aralıkları (2 dakika) ve hızı.....	63
Şekil 5.23. Değerlendirme değişkenleri.....	64
Şekil 5.24. Simülasyon parametrelerinin ayarlanması.....	65
Şekil 5.25. Bir HRS aracının istasyondaki görüntüsü (Nilüfer İstasyonu).....	66
Şekil 5.26. HRS hattı ve aracının 3B görüntüsü (Nilüfer İstasyonu).....	66
Şekil 5.27. Metrobüs hattının 3B görüntüsü (Nilüfer İstasyonu).....	66
Şekil 5.28. HRS ve metrobüs için mevcut durum ile simülasyonun geçerlilik grafiği (%85).....	70
Şekil 5.29. HRS ve metrobüs için mevcut durum ile simülasyonun geçerlilik grafiği (%50).....	70
Şekil 6.1. Araç içindeki kalabalıklığın temsili resmi (TCQSM, 2003).....	73
Şekil 6.2. HRS hattında işletilen aracın istasyonlar bazında kalabalıklık dereceleri.....	76
Şekil 6.3. Metrobüs hattında işletilen araçların istasyonlar bazında kalabalıklık dereceleri.....	76
.....	78
*Emek yönünden gelen araçları temsil etmektedir.....	78
Şekil 6.4. HRS (10dk.) ve metrobüs (h=2 ve 2,5 dk.) için kalabalıklık dereceleri (%50).....	78
.....	78
Şekil 6.5. HRS (10 dk.) ve metrobüs (h=2 ve 2,5 dk.) için kalabalıklık dereceleri (%85).....	78
.....	78
Şekil 6.6. Farklı sefer aralıklarında kalabalıklık dereceleri (%85).....	79
Şekil 6.7. Farklı sefer aralıklarında kalabalıklık dereceleri (%50).....	80
Şekil 6.8. İstasyonlar bazında HRS için ayaktaki m ² /yolcu oranı ve LOS değerleri (h=10 dk.).....	85
Şekil 6.9. İstasyonlar bazında metrobüs için ayaktaki m ² /yolcu oranı ve LOS değerleri (h=2 dk.).....	86
Şekil 6.10. İstasyonlar bazında HRS ve metrobüs için ayaktaki m ² /yolcu oranı ve LOS değerleri (%50).....	87
Şekil 6.11. İstasyonlar bazında HRS ve metrobüs için ayaktaki m ² /yolcu oranı ve LOSdeğerleri (%85).....	87
Şekil 6.12. HRS ve farklı sefer aralıklı metrobüs araçları için m ² /yolcu oranı (%85).....	88
Şekil 6.13. HRS ve farklı sefer aralıklı metrobüs araçları için m ² /yolcu oranı (%50).....	89
Şekil 6.14. HRS hattında ayaktaki yolcu oranı (yolcu/m ²).....	90
Şekil 6.15. Metrobüs hattında (h=2 dk.) ayaktaki yolcu oranı (yolcu/m ²).....	90
Şekil 6.16. HRS ve metrobüs araçlarının 1 m ² alandaki yolcu sayıları (%50).....	91
Şekil 6.17. HRS ve metrobüs araçlarının 1 m ² alandaki yolcu sayıları (%85).....	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Toplu ulaşım türlerinin YKH durumlarına göre kıyaslanması (Vuchic 2015)	11
Çizelge 2.2. Bursa’da tramvay ve hafif raylı sistem hatlarının bazı özellikleri	32
Çizelge 5.1. %85 değerinin hesaplanması (Nilüfer istasyonu)	45
Çizelge 5.2. Her istasyon için güzergâh dağılım oranları ve %50’lik ve %85’lik değerler	46
Çizelge 5.3. Gözlemsel ve Vatmanlar ile yapılan çalışmalar sonucu iniş oranlarının yüzdesel ortalaması	50
Çizelge 5.4. Programa girilecek iniş yüzdeleri	51
Çizelge 5.5. Araç içindeki yolcu sayılarının hesaplanması	68
Çizelge 5.6. İstasyona gelen araçlardaki saatlik yolcu sayıları	69
Çizelge 6.1. Araçtaki kalabalıklık derecesi (Lam ve ark. 1999)	72
Çizelge 6.2. Araçların içindeki yolcu sayıları	74
Çizelge 6.3. Araç içindeki yolcu sayılarının aralıklarına göre kalabalıklık dereceleri	75
Çizelge 6.4. Araçtaki yolcu durumuna göre hizmet seviyeleri (TCQSM 2003)	80
Çizelge 6.5. İstasyonlar bazında ayakta kalan yolcular	82
Çizelge 6.6. İstasyonlar bazında araçların içindeki hizmet seviyeleri	83
Çizelge 6.7. HRS ve metrobüs için m ² /yolcu oranı (sadece ayaktaki yolcular için)	84

1. GİRİŞ

İnsanların bireysel seyahatleri ve/veya eşyaların taşınımı ihtiyacından ulaşım kavramı doğmuştur. Ulaşım insanların veya eşyaların bir yerden başka bir yere gitmesi olarak tanımlanır. Ulaşım sistemleri kara, deniz, hava ve demiryolu olmak üzere 4'e ayrılır. Toplu taşıma, kişisel araç kullanılmadan yapılan yolculuklar için kullanılan tüm ulaşım sistemlerine verilen genel addır. Bu taşıma sisteminde birden fazla yolcu taşınmakla, enerji tasarrufu ve ekonomik rahatlık sağlanır. Sadece bireysel seyahat, kentin trafik yoğunluğunu arttırmanın yanı sıra, şehrin kültürel, ticari ve nüfus olarak gelişmesine olumsuz etkiler yapacağından toplu ulaşım bir ihtiyaç olarak doğmuştur. Toplu taşıma, şehir içi ve şehirlerarası olabilir. Bu kavram genel olarak tren ve otobüs için kullanılmakla kalmaz, havayolları, feribotlar ve dolmuşları da kapsar ve halkın bir yerden başka bir yere toplu olarak ulaşımını sağlamayı amaçlar.

Ülkemiz Avrupa'daki toplu taşımanın gerisinde kalmışsa da son yıllarda gerçekleştirdiği yatırımlar ile ulaşımındaki payını Avrupa standartlarına yaklaştırmayı hedeflemektedir. Türkiye'de toplu ulaşım kavramı özellikle İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa gibi büyük kentlerde; metro, metrobüs ve hafif raylı toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesiyle son dönemlerde önemini giderek artırmıştır. Toplu ulaşımında her ne kadar ekonomiklik, hız ve emniyet önemli olsa da toplu ulaşımın şehir içinde bıraktığı imajda önemlidir. İnsanların seyahat taleplerini karşılayabilecek kapasite özellikleri ve seyahat sırasında yolcuların araç içindeki konforlu yolculuk yapmaları ve sağladıkları hizmet düzeyleri de insanların toplu ulaşımı seçmelerinde göz önünde bulundurulması gereken önemli etmenlerdir.

Günümüzde toplu ulaşımı özel kılan en önemli etmen yolcular üzerinde bıraktığı etkilerdir. Yolcuları özel araç kullanımından toplu taşımaya sevk edecek önemli hususlardan biri de araçların kapasitelerine bağlı olarak, içindeki yolculara düşen kullanım alanları ve hizmet düzeyleridir. Toplu ulaşım her ne kadar hızlı ve ucuz seyahatlere imkân sağlasa da rahat bir seyahati ve konforlu bir ulaşımı özel araçlardakine yetişememektedir. Bu nedenle şehirlerin ulaşım planlamaları yapılırken toplu ulaşım için ulaşım sistemlerinden hangisinin daha uygun olacağını karar verilmesi, kentin nüfus,

ticari, doğal ve topoğrafik yapısına uygun olanın seçilmesi, seyahat taleplerinin karşılanması ve hizmet düzeylerinin belirlenmesinde kent ve ulaşım planlamacılarına bir yol haritası oluşturulması çalışmanın amacını oluşturmaktadır.



2. GENEL BİLGİLER

Toplu taşıma belirli bir güzergâh üzerinde ve belirli bir zaman çizelgesine göre insanların toplu olarak seyahat ettiği bir ulaşım türüdür. Toplu taşıma zaman içinde, yaya-bireysel ulaşımdan kitleler halinde bir yerden başka bir yere seyahat için hayvanların kullanılmasına ve çeşitli araçların icadı ile günümüze kadar birçok gelişme göstermiştir. Bu bölümde toplu ulaşımın tarihi, ulaşım modları ve toplu ulaşım sistemlerinden bahsedilecektir.

2.1. Toplu Ulaşımın Tarihi

Tarihte bilinen ilk toplu taşıma sisteminin su yolu ile yapıldığı bilinir. Devlet hizmeti için tasarlanmış olan taşımacılık feribotlara kadar dayanır. Bazı tarihi kaynaklar sabit bir rotada gidip gelen posta araçlarını toplu taşıma içine dâhil ettikleri gibi, 17.yy'da Avrupa'nın su kanallarında ücretli yolcu taşıyan botları da dâhil etmişlerdir. Su ulaşımının altyapısı olan kanallar antik çağa kadar dayanır. Özellikle Mısırlılar yük taşımacılığında Aswan nehrini geçmek için su kanallarını kullanmışlardır. Çinliler ise milattan önce 5.yy'a dayanan su ulaşımı için kanallar yapmışlardır fakat bu kanalları toplu taşıma için kullanıp kullanmadıkları bilinmemektedir (Anonim 2015a).

Tarihsel olarak ulaşım ve toplu ulaşım türleri çeşitlilik göstermiştir. Şehir içinde toplu taşıma sistemi olarak kullanılan atlı arabalar ilk olarak 1662 yılında Paris'te ortaya çıkmıştır. Daha sonrasında 1829'da Londra'da da hizmet vermeye başlamıştır. 1806 yılında kurulan ilk atlı demiryolu, Birleşik Krallık'ta Güney Galler'de Mumbles ve Swansea arasında çalışmıştır. Şekil 2,1'de bir atlı tramvay görülmektedir. 1825 yılında George Stephenson dünyanın ilk buharlı lokomotifini kuzey İngiltere'de Stockton ve Darlington demiryolu için icat etti ve böylece buharlı lokomotiflerin icadı ile toplu taşımacılık faaliyeti hız kazanmaya başladı. 1831'de Amerika Birleşik Devletleri'nde, 1832'de Fransa'da 1835'te Belçika ve Almanya'da 1837'de Rusya'da ve 1848'de İspanya'da demiryolu kullanılmaya başlanmıştır. İlk metro sistemi 1863'te Londra'da, ikinci olarak ta İstanbul Beyoğlu'nda 1875 yılında hizmete açılmıştır. 1882 yılında ilk

Trolleybüs işletimi Berlin’de yapıldı. İlk elektrikli tren ise 1888’de Avustralya’da kullanıldı.

Osmanlı Devleti’nde ilk atlı tramvay 1869 yılında Azapkapı-Beşiktaş hattında bir kumpanyaca işletilmeye başlandı (Anonim 2016). 1914 yılında Karaköy- Ortaköy hattında seferlerine ilk tramvay seferi yapıldı. Cumhuriyet sonrasında 1926 yılında ilk otobüs seferleri ve 1961 yılında ilk trolleybüs seferi Topkapı-Eminönü arasında inşa edildi (Anonim 2015b).



Şekil 2.1. Atlı tramvay ile yapılan toplu ulaşım (Anonim 2015c)

21. yüzyıla geldiğimizde ise toplu ulaşımın en yaygın türleri olarak otobüs, minibüs, tramvay, hafif raylı sistemler ve metro olduğu görülmektedir. Bunlarla ilgili açıklamalar alt bölümde yapılmıştır.

2.2. Toplu Ulaşım Sistemleri

Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak ve insanın artan ulaşım ihtiyacından dolayı birçok ulaşım sistemleri ve ulaşım araçları üretilmiş ve üretilmeye devam etmektedir.

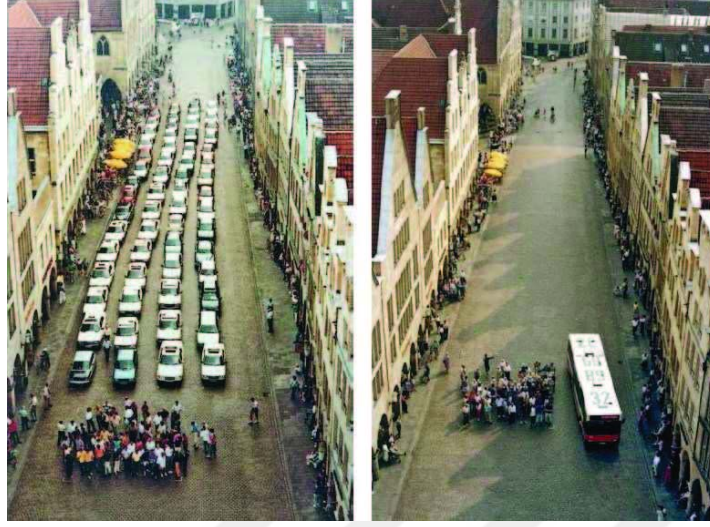
Toplu ulaşım sistemleri Şekil 2.2’de görüldüğü gibi; kara, hava, deniz ve raylı ulaşım olmak üzere dört sınıfa ayrılmaktadır. Her bir ulaşım sisteminin kullanım amacı ve kullanıldığı yere göre birbirlerine karşı avantajları ve dezavantajları olduğu için, toplu ulaşım sistemleri açısından bir toplu ulaşım sisteminin diğerine göre kesin bir şekilde üstün olduğu yargısına gidilemez.



Şekil 2.2. Ulaşım sistemleri (Anonim 2009)

Her geçen gün özel araç sahipliğinin artması ve bununla beraber mevcut yolların kapasitelerinin yetersiz kalması özellikle büyükşehirler için artan araç trafiğine karşı kaçınılmaz trafik sorunları oluşturmaktadır. Araç trafiğinin artması yollarda, çevresel ve ekonomik olumsuzluklara neden olmaktadır. Tüm bu olumsuzluklar kentlerin ulaşım noktasında toplu ulaşımaya duyulan gereksinimini yansıtmaktadır.

Toplu ulaşım sistemlerinin en önemli amaçlarından biri, her geçen gün artan özel araç kullanımını azaltmaktır. Bu doğrultuda insanları toplu taşımaya sevk etmek önemlidir. Şekil 2.3’te toplu taşımaya özel araç kullanımına göre kapasite açısından ne kadar önemli olduğu temsili olarak görülmektedir. Hız, konfor, güvenlik, güvenilirlik ve ekonomiklik gibi birçok ölçüt insanların toplu taşımaya seçmelerinde önem arz etmekte ise de özel araçlarda ki rahatlık ve konfora yetişememektedir. Ancak özellikle büyük şehirlerin en büyük problemlerinden trafik sıkışıklıkları insanları toplu taşımaya yönlendirmektedir.



Şekil 2.3. Özel araç kullanımı ile toplu ulaşımın kıyası (Anonim 2007)

Talebe uygun toplu taşıma sisteminin seçilmesi için yapılacak karşılaştırmalarda; ekonomik, teknolojik ve çevresel faktörler dikkate alınmaktadır. Teknolojik bakımdan, yüksek kapasite, yüksek hız ve iyi konfor en belirgin özellik olarak söylenebilir. Ekonomik açıdan, enerji, zaman ve düşük maliyetler (altyapı ve işletme) ve çevresel olarak da hava kirliliği ve gürültü kirliliği söylenebilir (Saatçioğlu ve Yaşarlar 2012). Bu çalışmadaki konu kent içi lastik tekerlekli ulaşım (metrobüs) ve raylı ulaşım (hafif raylı sistemler) olduğu için deniz ve hava ulaşımından bahsedilmemiştir. Toplu ulaşım sistemlerinin daha iyi anlaşılabilmesi açısından öncelikle toplu ulaşım modlarından bahsetmekte fayda vardır.

2.3 Toplu Ulaşım Modları

Ulaşım türlerinin ve kullanılan modların kullanım açısından birbirleri göre üstün ve zayıf özellikleri olduğundan, kent ulaşımı için kaynakların etkin kullanılması ihtiyacından kaynaklanan iyi bir ulaşım planlaması önemlidir. Aynı zamanda kentin nüfusu, kültürel zenginliği, ticari ve sanayi faaliyetleri gibi iş olanakları dikkate alındığında en uygun ulaşım modlarının ve türlerinin entegre olacak şekilde kullanımının sağlanması iyi bir ulaşım planlamasının en önemli unsurlardan biridir.

Bir toplu ulaşım modu genelde üç temel özelliği ile tanımlanır (Vuchic 2015):

- Yol kullanım hakkı (YKH) sınıfı
- Sistem teknolojisi
- İşletme türü

Bu özelliklere ait açıklamalar alt bölümlerde yapılmıştır.

2.3.1. Yol Kullanım Hakkı Sınıfı

Yol kullanım hakkı toplu ulaşım araçlarının üzerinde izlediği seyahat şeridini temsil etmektedir. Diğer trafiklerden ayrılma durumuna göre YKH'ları çeşitlilik arz etmektedirler.

C sınıfı yol kullanım hakkı:

Bu yol kullanım hakkı otomobillerin, taksilerin, otobüslerin ve cadde tramvaylarının beraber işletildiği karma trafiği ifade eder (Şekil 2.4). Toplu ulaşım araçları için otobüsler ve tramvaylar çeşitli şeritler ve işaretler ile yol trafiğinden ayrılabilir. Düşük yatırım maliyetleri ile inşa edilmelerinin avantajına rağmen özel araçlar ile toplu taşıma araçları yol trafiğinde beraber hareket ettikleri için toplu taşıtlar bu kategoride otomobil kullanımına rakip olamamaktadırlar. Ancak tramvaylar C sınıfı içerisinde maliyetinin yüksek olmasına karşın raylar üzerinde kılavuzlu hareket etmesinden dolayı güvenli ve konforlu bir ulaşım türüdür.



Şekil 2.4. İstanbul'da bir tramvay hattı (Anonim 2015d)

B sınıfı yol kullanım hakkı:

Bu yol kullanım hakkı metrobüs ve hafif raylı sistem gibi orta hızlı toplu ulaşımın kullandığı YKH sınıfını ifade eder. Kendilerine ait yol kullanım haklarına sahip oldukları için inşa edilmeleri cadde ulaşımına göre daha yüksek maliyetlere neden olur. Ancak orta hızlı ulaşımın performansının cadde ulaşımından oldukça yüksek olması dikkate alındığında yolcuların toplu ulaşımı tercih etmesinde bir öncelik teşkil etmektedir. Özellikle hafif raylı sistem, kendine özgü daimi bir yol kullanım hakkına sahip olduğu için cadde ulaşımından daha güçlü bir imaja sahiptir.

Vuchic (2015) B sınıfı yol kullanım hakkına sahip toplu ulaşım modlarının C sınıfı hakkına sahip toplu ulaşım modlarına göre avantaj (+) ve dezavantajlarını (-) şöyle açıklamıştır:

+ Hız, güvenilirlik, kapasite, emniyet, vb. açıdan görülür derecede daha yüksek performans sağlarlar.

+ Daha düşük işletme maliyetinde hizmet ederler.

- + İkilili veya dört araçlı trenleri kullanabilme kabiliyeti sunarlar (sadece raylı sistemler)
- + Daha güçlü kimlik ve imaj, daha yüksek performans ile birlikte daha çok yolcu çekme durumu sağlarlar.
- Yol kullanım hakkı için alana gereksinim duyarlar.
- Daha fazla yatırım gerektirirler.
- Özel sinyalizasyon sistemlerine ihtiyaç duyarlar.

A sınıfı yol kullanım hakkı:

Bu sınıf hızlı toplu ulaşımın kullanıldığı YKH'nı temsil eder. Modlar arasında en iyisidir. Bu yol kullanım hakkında toplu ulaşım modları tamamen cadde trafiğinden ayrılmış ve yalnızca toplu ulaşım araçları tarafından kullanılmaktadır. Havai hatlar, metrolar, tüneller bu yol kullanım sınıfına dâhil olmaktadır. Daha çok kavuzlu sistemlere sahip olup kısa sefer aralıklarına imkân verebilmesi ile oldukça yüksek performansa ve yüksek kapasiteye sahiptir.

C sınıfı YKH'ya sahip cadde toplu ulaşımını fazla altyapı içermediklerinden dolayı planlama süreçleri de kısadır. Ancak B ve özellikle A sınıfı YKH'ya sahip toplu ulaşım sınıfları ciddi altyapı gereksinimlerine ihtiyaç duydukları için planlama süreçleri relatif olarak daha uzun ve daha kapsamlıdır. Aynı zamanda çok daha yüksek maliyetlerle inşa edilebilmektedirler. Planlamanın kapsamlı, uzun ve maliyetinin de yüksek olmasına karşın, kalıcı ve şehrin gelişimi üzerinde oldukça olumlu sonuçlar verdiği göz ardı edilmemelidir.

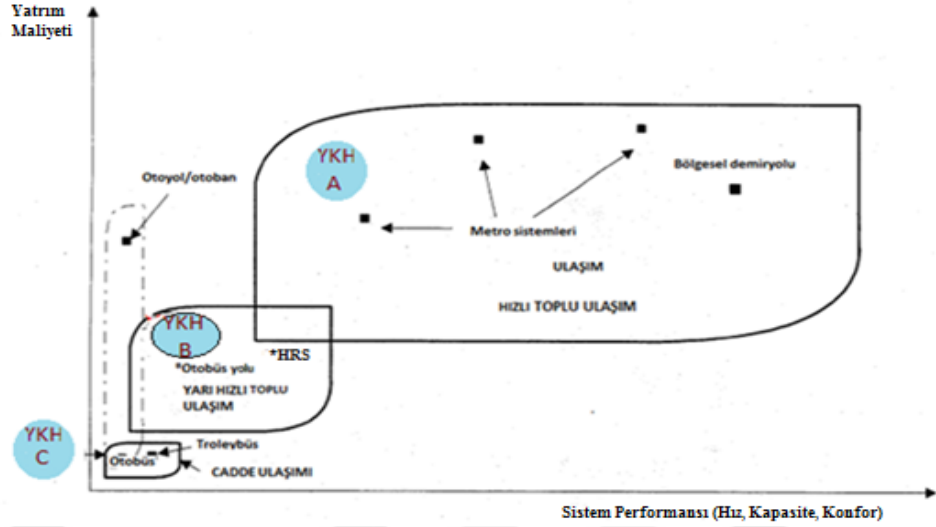
Vuchic (2015) A sınıfı yol kullanım hakkına sahip toplu ulaşım modlarının B sınıfı hakkına sahip toplu ulaşım modlarına göre avantaj (+) ve dezavantajlarını (-) şöyle açıklamıştır:

- + Herhangi bir engelle maruz değildirler. Tüm modlar içinde en yüksek performansa sahiptir.
- + Diğer trafikler ile hiçbir etkileşiminin olmaması, tüm toplu ulaşım modları arasında en yüksek emniyete sahip olmasını sağlamıştır.

+ Ayrıcalıklı yol kullanım hakkı, platform seviyesinde birden çok kapısı bulunan trenlerin işletilmesine olanak sağladığı için hızlı yolcu değişimine ve kısa sefer sürelerinin oluşmasını sağlamıştır.

- Diğer bütün modlarla kıyaslandığında en yüksek yatırım gerektiren sistemlerdir.
- Hat güzergâhları yüksek hızlarından dolayı geometrik olarak daha düz ve eğim değişimi daha az olduğu için, şehir merkezlerinde tünellere ve havai yapılara yoğunlukla ihtiyaç duyarlar.

Yol kullanım sınıflarından asıl maksat ‘performans/maliyet’ diğer deyişle elde edilen sistemin ‘getirisi/maliyeti’ şeklinde özetlenebilir. Şekil 2.5’te yol kullanım hakkı sınıflarına göre üç farklı toplu ulaşım türünün performans/maliyet farkları gösterilmektedir. Görüldüğü üzere A sınıfı yol kullanım hakkı tüm toplu ulaşım modları arasında en yüksek performans/yatırım maliyetine sahiptir. Bu yol kullanım hakkında kullanılan otomasyon sistemleri diğer toplu ulaşım türlerine nazaran daha verimli olduğu için kısa sefer aralıkları ile işletme performansı oldukça yüksek olabilmektedir. Ayrıca şehrin kentsel ve ticari gelişmesi yönünden yüksek bir imaja sahip olması ve otomobiller ile etkin bir şekilde rekabet edebilmesiyle toplu ulaşım modları arasında en iyisi olarak görülmektedir. Özetle, cadde ulaşımı (C sınıfı YKH) düşük yatırımlı ve düşük performanslı türleri temsil etmekte; hızlı toplu ulaşım (A sınıfı YKH) en yüksek performans/en yüksek yatırım gerektiren ulaşım türü olup, B sınıfı yol kullanım hakkına sahip olan orta hızlı toplu ulaşım türleri ise bu iki sınıf arasında yer almaktadır (Vuchic 2015).



Şekil 2.5. Farklı toplu ulaşım türleri için performans/yatırım maliyetleri (Vuchic 2015)

Çizelge 2.1. Toplu ulaşım türlerinin YKH durumlarına göre kıyaslanması (Vuchic 2015)

Özellikler	YKH		
	C	B	A
Sistem performansı	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Hizmet düzeyi	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Yatırım maliyeti	Düşük	Yüksek	Çok yüksek
İmaj	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Yolcu Çekimi	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Şehir üzerindeki tesir	Zayıf	Güçlü	Çok güçlü
Tam otomasyon durumu	Yok	Yok	Var

Çizelge 2.1’de toplu ulaşım türlerinin özelliklerinin YKH durumları özetlenmektedir. Buna göre, yatırım maliyetinin çok yüksek olmasına karşın A sınıfı yol kullanım hakkının; performans, imaj, hizmet düzeyi açısından bakıldığında diğer modlara göre oldukça yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. C sınıfı yol kullanım hakkına sahip olan modlar ise genel olarak diğer modlara göre daha kötü bir durum sergilemekte ama yatırım maliyeti diğerlerine nazaran oldukça düşük kalmaktadır.

2.3.2. Sistem Teknolojileri

Yol kullanım hakkı özellikleri, ihtiyaca göre doğru toplu ulaşım modlarının seçiminde etkili olduğu gibi, kullanılan sistem teknolojisi ve araçların teknik özellikleri de mod seçiminde etkili olmaktadır. Bahsi edilen bu teknoloji ve araçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Araç kılavuzlama; toplu ulaşım sistemlerini birbirinden ayıran bir yol-arac kombinasyonu temsil eder. Şoför tarafından idare edilen ve yönlendirilen araçlar ile raylı sistemler gibi kılavuzlu yol üzerinde işletilen araçlar olarak ikiye ayrılabilir. Özel araç, otobüs ve minibüs gibi araçlar karma trafikte bir kılavuz sistemi olmadan şoför iradeli bir ulaşımı temsil eder. Otobüs türü toplu taşıma hizmetleri hızlı bir şekilde uygulamaya konulabilir ve uzun vadeli planlama ihtiyacını azaltır fakat performans, imaj ve tesislerin eksikliği bakımından kılavuzlu sisteme göre dezavantajlıdır. Kılavuzlu araçların ise, direksiyonla kumanda edilen araçlara göre yatırım maliyeti önemli ölçüde fazladır. Fakat işletme bakımından kıyaslandığında çok daha güvenli ve konforlu olduğu söylenebilir. Düşük hacimli toplu taşıma hatları dikkate alındığında otobüs ve minibüsler, kılavuzlu sistemlere göre üstündürler. Ancak yüksek hacimli toplu ulaşım hatlarında kılavuzlu sistemler; etkin yolcu çekimi, ekonomik verimlilik ve şehrin imajına yaptığı olumlu etkilerden dolayı daha üstün bir çözüm olmaktadır (bkz. Bölüm 2.4.1).

Kılavuzlu araç altyapıları; lastik tekerlekle hareket eden tüm karayolu araçlarının aksine kılavuzlu sistemlerin birkaç türü bulunmaktadır. Bunlar; Çelik raylar üzerinde çelik tekerlek (Şekil 2.6), kılavuzlanmış lastik tekerlekli sistem ve manyetik kaldırma (maglev) sistemleri kılavuzlu ulaşım sistemleridir (Vuchic 2015).

Tahrik; otobüslerde ve bazı demiryolu hatlarında kullanılan içten yanmalı motorlar ve elektrikli motorlar sistem teknolojisini temsil ederler.



Şekil 2.6. İspanya'nın AVE treni (Barron, 2007)

Vuchic (2015) raylı (kılavuzlu) sistemin lastik tekerlekli ulaşımaya göre üstün taraflarını şöyle açıklamıştır;

- Çeliğin çeliğe teması aşırı düşük yuvarlanma direnci oluşturduğundan (beton üzerinde lastik ile karşılaştırıldığında yaklaşık 10 kat daha düşük), raylı modlar mevcut tüm toplu ulaşım modları dikkate alındığında herhangi bir dinamik performans için ton başına en düşük enerji tüketimine sahiptir. Bu avantaj hızın artması ile artar; böylelikle ray, tekerlek üzerinde yüksek hızlı kara ulaşımı için tek teknoloji olur (bölgesel/yerel demiryolu ve yüksek hızlı şehirlerarası hatlar).
- Raylı sistem, hemzemin geçitlerle beraber caddede işleme de izin veren tek kılavuzlu teknolojidir.
- Kötü hava koşulları (yağmur, buzlanma ve kar) ile başa çıkmada lastik tekerlekli teknolojilerden daha başarılıdır. Bu özellik, raylı modları aşırı soğuk iklimler için en güvenilir çözüm kılar.

- Ray hatlarının yatırım maliyeti kılavuzlu otobüslerinkinden daha yüksektir ancak lastik tekerlekli hızlı ulaşım, otomatik kılavuzlu ulaşım ve Maglev gibi diğer kılavuzlu teknolojilerin maliyetinden daha düşüktür.

2.3.3. İşletme Türleri:

Toplu ulaşım sistemlerinin işletim türleri üç şekilde izah edilebilir. Bunlar;

1. Güzergâhlara ve seferlere göre; kısa mesafeli toplu ulaşım, kent içi toplu ulaşım ve bölgesel toplu ulaşım.

2. İşletme zamanına göre; belirli bir zaman çizelgesine bağlı olarak düzenli sefer aralıklarıyla tam gün işletme, günün yoğun saatlerinde normal işletmeye ek olarak seferler eklenmesi ile zirve saat işletmesi ve herhangi bir sefer aralığına ve konumuna bağlı olmayan özel ve düzensiz işletimlerdir.

3. İşletme türüne göre; yerel işletme, hızlandırılmış işletme ve ekspres işletme olarak üçe ayrılabilir. Yerel işletme tüm duraklarda duran taşıma araçlarıdır. Hızlandırılmış işletme ise sadece belirli istasyonlarda duruş yapan, ardı ardına seferler ile işletilen ulaşım türüdür. Ekspres işletme ise bir hattaki toplu ulaşım araçlarının yalnızca birbirlerine uzak olan mesafelerde durduğu işletme türünü ifade eder (Vuchic 2015).

2.4. Karayolu ve Demiryolu Toplu Ulaşım Türleri

Karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu olmak üzere ulaşım türleri 4 sınıfa ayrılmaktadır. Bu çalışmada sadece karayolu ve demiryolundan bahsedilecektir.

2.4.1. Raylı Sistemler

Arkeologlar Mısır'daki bir piramidin yakınında M.Ö. 2600 yıllarında yapıldığı sanılan bronz ray kalıntılarını gün ışığına çıkarmışlardır. Piramidin yapımında kullanılan taşların ocaklardan taşınmasında bu raylardan yararlandığı sanılmaktadır. Mısır'da kullanılan

ray örneğinden, lokomotif yapımının gerçekleşmesine dek binlerce yıl geçmiştir. Bu süreçte raylar, özellikle maden ocaklarında, hayvanların ya da insanların ağır maddelerle yüklü araçları daha kolay çekmelerini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Bu raylar genellikle tahtadan kimi zaman da rayın dayanıklılığını arttırmak amacıyla metallerle kaplanarak yapılmaktaydı. İlk demir ray ise 1738 yılında İngiltere'de, Cumberland'daki bir maden ocağında kullanılmıştır (Anonim 2015e).

Raylı sistemler günümüz toplu taşımacılığında şehrin imajını diğer toplu taşıma araçlarına nazaran daha çok yükseltmekle beraber, sunduğu hizmet açısından da ulaşımda başı çektiği söylenebilir. Raylı sistemlerde işletme maliyetleri diğer ulaşım türlerine nazaran daha azdır. Ayrıca kapasitesinin yüksek oluşu yarı otomasyon ve tam otomasyonlu sistemleri ile düzenli ve kısa sefer aralıklarına sahip oluşu ayrıca kılavuzlu raylar üzerinde hareket etmesi ve eğimli arazilerde sarsıntının az olması sayesinde yüksek konfor sağladığı için yolcular tarafından cazip bir ulaşım sistemi haline gelmiştir. Fakat yatırım maliyetleri diğer ulaşım sistemlerine nazaran daha fazla olması daha uygun planlama için dikkate alınması gereken bir unsurdur.

Raylı ulaşım modları ailesi dört temel mod içerir. Bu temel modlar; tramvaylar, hafif raylı ulaşım, raylı hızlı ulaşım/metro ve bölgesel/yerel demiryolu olarak sınıflandırılır. Bu modlar; karma trafikte işleyen tek araçlı tramvaylardan, yüksek hızda, otomasyon ile kontrol edilen 10 vagonlu metro ya da bölgesel/yerel demiryolu sistemlerine kadar değişiklikler göstermektedir.

Tramvayın gelişim süreci daha öncede bahsedildiği gibi ilk olarak atlı arabaların kullanılması ile ve daha sonra lokomotifli araçlara geçilmesi ile bugünkü haline gelmiştir. 1800'lü yıllarda kullanılmaya başlayan ilk atlı tramvaylar, endüstrinin gelişmesiyle lokomotifli olarak günümüze kadar gelmiştir. Osmanlı'da ilk tramvay 1869 yılında Azapkapı-Beşiktaş hattında toplu taşıma hizmetini görmüştür. Günümüzde ise tramvay sistemleri başta İstanbul olmak üzere, Ankara, İzmir, Bursa, Antalya, Adana, Konya, Kayseri, Antep gibi büyükşehirlerde mevcuttur ve Samsun ve Trabzon gibi şehirlerde de çalışmalara başlanılmıştır. Özellikle ilk yerli tramvay olan Bursa İpekböceği diğer

şehirlerde de tramvaya olan ilgiyi artırmış ve yerli üretime teşvik edici bir unsur olarak görülmüştür.

2.4.1.1. Hafif Raylı Sistemler (HRS)

1960'lar boyunca tramvayların modernize edilmesiyle geliştirilen hafif raylı sistemler normal otobüs ve tramvaylar ile hızlı ulaşım modu olan metrolar arasında önemli bir rol üstlenmektedir. Kendi yol kullanım hakkına sahip olması ve yüksek bir yolculuk konforu, emniyet, güvenilirlik gibi performans verileri açısından bu sistemler cadde tramvaylarına nazaran oldukça yüksek bir performansa sahiptirler. Uzunlukları 18 ila 42 m arasında değişen körüklü araçlardan bir tanesi 250'ye kadar yolcu alabilmektedir. Hat kapasiteleri 5000-24000 yolcu/saat, maksimum 70-100 km/ saat ve 18-40 km işletme hızlarına sahiptirler. HRS en çok B yol kullanım hakkı kapsamında, bazen A sınıfında, istisnai olarak da C sınıfında işletilirler. Maliyetleri yaklaşık olarak 10-30 milyon\$/km aralığında değişmektedir (Vuchic 2015). Şekil 2.7'de Bursa'da işletimde olan bir hafif raylı sistem gösterilmektedir.

Hafif raylı hızlı ulaşım, hafif raylı sistemin en yüksek performanslı halidir. Bu modun normal hafif raylı sistemden farklılaştıran en önemli özellik tam olarak ayrılmış olan A sınıfı YKH'na sahip olmasıdır. A sınıfı gurubuna dâhil oldukları için işletme hızlarında 45-55 km/saate kadar çıkabilmektedir. Bu çalışmaya konu olan Bursa HRS hattı, hafif raylı hızlı ulaşım sınıfına dâhil olup YKH A sınıfına sahiptir.



Şekil 2.7. Bursa HRS hattı (Anonim 2015f)

2.4.1.2. Metro/Raylı Hızlı Toplu Ulaşım

Bu sistemler elektrik enerjisi ile çalışmasından dolayı çevre kirliliğine neden olmaması ayrıca yüksek kapasitelerde çalışması pek çok ülke kentlerinde toplu taşımacılık için tercih edilmesine neden olmaktadır (Saatçioğlu ve Yaşarlar 2012).

İlk yeraltı treni olarak bakacak olursak ilk metro sistemleri 1863 yılında Londra’da çalışmaya başlamıştır. Ülkemizde ise İstanbul’da “Tünel” adıyla bilinen metro 17 Ocak 1875 tarihinde işleme açılmıştır. Bu metro 626 metre mesafeli Karaköy ve Beyoğlu arasında çalışmıştır (Anonim 2012).

Bu ulaşım sistemi, en düşük işletme maliyetine sahip en yüksek performanslı toplu ulaşım modunu temsil eder. Metro sistemlerinin uygulanması çok yüksek yatırım maliyeti (yaklaşık olarak 60-90 milyon\$/km aralığında) ve iyi bir fizibilite çalışması gerektirir (Vuchic 2015). Buna karşın şehrin üzerinde oldukça yüksek bir imaj bırakmasının yanında özel araçlar ile rekabet edebilecek performans ve konfora sahiptir. Genellikle yer altından ve bazen yer üstünden gidebilen bu araçlar tamamen kendi yol kullanım haklarına sahip olmaları ile diğer toplu ulaşım araçlarına nazaran oldukça yüksek işletim hızlarına sahiptirler.

Sadece A sınıfı yol kullanım hakkına sahip olan bu ulaşım aracı tam otomasyonlu ve yarı otomasyonlu olabilmesi ile sefer aralıklarını minimize edebilecek kabiliyettir. Hatta tam otomasyonlu bir metro sisteminde minimum sefer aralığı 90 sn'ye kadar düşebilmekte ve böylece çok yüksek bir performans sağlanabilmektedir. Yolcu platformlarının uzunluğu 240 m olması ile tren uzunluğunun buna bağlı olarak artması sonucu bir seferde yaklaşık olarak 2000 ve üzeri yolcu taşıyabilecek kapasiteye sahiptir. Kara toplu ulaşım üzerinde en yüksek imaja, performansa ve kapasiteye sahiptir. Hat kapasiteleri 70000 yolcu/saate kadar çıkmasıyla kara ulaşımının en verimli sistemidir. San Francisco BART 10 adete kadar 21 m uzunluğundaki araçlarla, işletim hızları 60 km/saat'e kadar çıkabilen bir işletme sağlamaktadır. Kapasite bazında New York ve Hong Kong gibi metropollerde 70000 yolcu/sa'i aşan değerler göstermektedir (Vuchic 2015). Şekil 2.8'de bir metro sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Bir metro hattı (Anonim 2015g)

2.4.1.3. Tramvaylar/Cadde Tramvayları

Cadde tramvay sistemleri genellikle caddelerde karma trafik içinde işletilirler, ancak bazı durumlarda trafikte öncelik ve ayrı yol kullanım hakkı ile cadde trafiğinden sınırlı olarak

ayrılabilirler. Şekil 2.9’da bir cadde tramvayı gösterilmiştir. 14-21 m tren uzunluğu, 100-180 yolcu kapasitesine sahip tramvayların işletme hızları 15 ila 30 km/sa arasında değişmektedir (Vuchic 2015). Bir, iki veya üç tren dizisinden oluşan bu sistemler, trafik müdahalesinin az olduğu yerlerde performansları iyi olabilirken, dar sokaklarda ve trafik sıkışıklığı olan yerlerde tercih edilen bir uygulama olmamaktadır. Karayolu ulaşım modlarından daha iyi bir yolculuk konforu sunarken, seyahat talebinin az olduğu yerlerde yüksek maliyetler içerirler.

Karma trafiğe dâhil olduğu için gecikmelerin oluşmasına neden olmakta ve zaman çizelgesine uymada problemler yaşanmaktadır. Bu durum daha sonraları yerlerini otobüslerin alması ile neticelenecektir.



Şekil 2.9. Tramvay/ Cadde Tramvayı (Kasımoğlu 2015)

2.4.1.4. Monoraylar

Tek bir ray üzerinde askılı veya yükseltilmiş yollarda hareket eden bir ulaşım türüdür. İlk monoray 1901 yılında Almanya’nın Wuppertal şehrinde hizmete girmiştir. Monorayların diğer raylı sistemlere nazaran dezavantajı; Monoray rayları birbirini

kesemez, bu yüzden bunların sahaları ve manevra alanları büyük yer tutar. Monoraylar çevre dostu olmakla birlikte yol alanlarını kesmezler ve metro sistemlerine göre daha az maliyetle inşa edilirler (Cankaya 2011). Raylı hızlı ulaşım sistemlerinin maliyetine yakın ve hafif raylı sistemin gerektirdiği yatırım maliyetlerinden çok daha fazlasını gerektirir. Örneğin, Japonya'daki Kitakyushu monorayı ve LasVegas monorayı 85-120 milyon dolar/km aralığında yatırım gerektirmiştir. Kullanımını gerektiren durumlar; görsel cazibedarlığı, yenilikçi imajı, emniyeti, güvenilirliği, konforu ve kent içi arterler boyunca havai kılavuz yollarının minimum görsel ihlal gereksinimi denebilir (Vuchic 2015). Şekil 2.10'da monoray ulaşım sistemi görülmektedir.



Şekil 2.10. Monoray ulaşım sistemi (Anonim 2015h)

2.4.1.5. Maglev (Magnetic Levitation) Sistemi

Raylı ulaşım sistemleri arasında en yüksek performans özelliklerine sahip olan sistemlerdir. Saatte 500 km gibi çok yüksek hızlara ulaşmakla birlikte, mesafelerin kısalması bu ulaşım sistemini çok cazip hale getirmiştir. Şehrin imajına çok büyük katkı sağladığı gibi insanları özel araçtan toplu ulaşımına çekmek için yüksek bir cazibeye

sahiptir. Tamamen kendi yol kullanım hakkına sahip (YKH A) olan bu trenler için özel otomasyon ve bilgisayar sistemleri gerekmektedir.

Maglev sisteminde yol boyu sıralanmış olan bobinlere, aracın mıknatıslarının kilitlenerek bir manyetik dalga oluşturmak üzere alternatif akım verilmektedir. Böylece aracın mıknatısları ile bobinler, aracın doğrusal hareketini sağlayan, tek bir senkron motor oluşturmaktadırlar. Aracın hızı, bobinlere verilen akım frekansının değiştirilmesiyle ayarlanabilmektedir (Arslan 2010).

Aynı kutuplu mıknatısların birbirlerine itmesi mantığına dayalı olan bu ulaşım sistemi, elektromıknatıslı raylara dışarıdan akım verilmekle raylar üzerinde bir manyetik alan oluşturulur. Böylece raylar ile araç arasında oluşan manyetik alan sayesinde trenin raylarla teması kesilerek havaya kalkar ve sürtünme minimuma inerek sadece hava sürtünmesi kalır, bu durumda da araçlar hava sürtünmesini en aza indirecek şekilde tasarlanır. Ayrıca bu manyetik akım sayesinde trenin hareketi de kontrol edilir, hızlanması, yavaşlaması, durması vb. fiziksel özellikleri ayarlanır. Henüz çok yeni bir sistem olmasından kullanım alanı çok yaygın değildir. Başta Japonya ve Almanya gibi ülkelerde bu sistemler üzerinde çalışma yapılmaktadır (<https://tr.wikipedia.org/> 2015).

Yüksek bir teknoloji, çok güçlü elektromıknatıslar ve çok duyarlı kontrol sistemleri gerektirdiğinden altyapı maliyetleri oldukça yüksektir. Raylı sistemler arasında en pahalısıdır. Bunun yanında şehirlerarası ulaşım için işletme maliyeti diğer ulaşım sistemleri arasında daha ucuzdur. Şekil 2.11’de bir maglev treni görülmektedir.



Şekil 2.11. Japonya’da tasarlanmış bir Maglev hattı (Anonim 2015ı)

f

2.4.2. Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım

Lastik tekerlekli toplu ulaşımlar, diğer ulaşım sistemlerine göre yolcu trafiğine göre en yüksek payı alırlar. Aşağıda bu toplu ulaşım türlerinden kısaca bahsedilmiştir.

2.4.2.1. Otobüsler, Minibüsler vb. Toplu Ulaşım Araçları

Otobüsler ve minibüsler vb. araçların karma trafikte hizmet verirler ve karmaşık bir altyapı çalışması gerektirmezler. İşletme bakımından hemen faaliyete geçirilebilir ve kolayca güzergâh ve planlamasında değişik yapılabilir. Ayrıca toplu ulaşım araçları arasında en düşük yatırım maliyeti gerektirirler. Fakat YKH C olması ve karma trafikte gitmesinden dolayı performans, konfor, emniyet ve güvenilirlik açısından en düşük ulaşım sistemini ifade ederler. Şekil 2.12’de karma trafikte çalıştırılan otobüs toplu ulaşımı gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Karma trafikte işleyen otobüsler (Anonim 2014a)

2.4.2.2. Trolleybüs

Genellikle şehir içi ulaşımında kullanılan, havai kablolar sayesinde elektrik enerjisiyle çalışan, lastik tekerlekli çevreci bir ulaşım türüdür. İlk trolleybüs 1882’de Berlin’de, Türkiye’de ise 1943 yılında Ankara’da hizmete açıldı (Vuchic 2015). Genellikle karma trafikte (YKH C) işletilen bu ulaşım sistemi raylı sistemlere nazaran daha ucuz altyapı ve işletim maliyetlerine sahip olmalarına karşın daha düşük bir performans sergilemektedirler. Fakat otobüslere göre daha maliyetli bir altyapı çalışması gerektirir ama daha iyi bir performans gösterirler. Günümüzde yerini daha çok raylı sistemler almaktadır. Bunun nedeni hem kılavuzlu olmalarından kaynaklanan bir konfor hem de daha yüksek yolcu sayısına hizmet verebilmesi açısından yüksek kapasitelere sahip olmalarıdır. Şekil 2.13’te bir trolleybüs hattı görülmektedir.



Şekil 2.13. Bir trolleybüs hattı (Trolley 2013)

2.4.2.3. Metrobüs

Toplu taşımaya olan gereksinimin arttığı her geçen gün özel araç kullanımını minimize etmek için otobüs hizmetlerinde de pek çok değişiklikler ve yenilikler yapılmaktadır. İşte bunlardan biri olan metrobüs sistemleri, toplu ulaşımda daha yüksek hız, güvenilirlik, emniyet ve imaj gibi performanslar ile daha üstün seviyelere çıkmıştır.

A ve B yol kullanım haklarına sahip, düzenli sefer aralıkları, sık ve güvenli hizmeti ile kısa yolculuk süresi veren, özel tasarımı olan ve hızlı iniş, binişe imkân sağlayan, ana kavşaklarda geçiş önceliğine sahip bir ulaşım sistemidir. Metrobüs genelde raylı sistemlerle otobüs merkezli toplu taşıma sistemleri arasında bir uygulama olarak ortaya çıkmış, böylece raylı sistemlerin performans ve rahatlığını daha ucuza inşa etme isteği belirgin olmuştur (Saatçioğlu ve Yaşarlar 2012).

HRS'den daha düşük yatırım maliyeti, daha basit bir planlama, kolay değişiklik ve hızlı işleme alınabilme özelliklerinin yanı sıra, uzun vadede daha yüksek işletim maliyeti,

çevre kirliliği, daha yüksek kaza oranları, daha düşük kapasite, emniyet ve konfor ile daha düşük bir performans göstermektedir. İşletme hızları 15-25 km/saat, kapasiteleri 20000 yolcu/saate kadar ulaşmakta (fakat istisnai olarak İstanbul gibi büyük metropollerde zirve saatlerde 40000 yolcuya kadar ulaşmaktadır) ve 10-20 milyon\$/km yatırım maliyetleri ile inşa edilmektedirler (Vuchic 2015). Şekil 2.14'te bir metrobüs hattı görülmektedir



Şekil 2.14. Bir metrobüs hattı (Kocabaş 2007)

2.4.2.4. Lastik Tekerlekli Hızlı Ulaşım

A ve B yol kullanım hakkı sınıflarına sahip kılavuzlu bu ulaşım modeli Şekil 2.15'te görüldüğü gibi, çelik tekerlekler yerine lastik tekerlekler ile çelik raylara mesnetlenmişlerdir. İlk lastik tekerlekli hızlı ulaşım 1951 ve 1956 Paris metrosu için geliştirilmiştir. İşletme hızlarının artırılması, gürültünün azaltılması, daha hafif ve düşük maliyetli araçlar üretebilmek için bu fikir ortaya atılmıştır.

Lastik tekerlekli hızlı ulaşım çelik tekerlekli raylı sistemlere nazaran bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptirler. Yüksek eğimlerde daha iyi performans ve daha iyi ivmelenme kabiliyetleri olmalarına karşın bu durumlar dikkate alınmaz. Çünkü yüksek ivmelenme ve yüksek boyuna eğim zaten yolcuların konforunu azaltacağından lastik tekerlekli hızlı ulaşım araçları için bir avantaj teşkil etse de işletmede uygulanamaz. Klavuzlu yol ile lastik tekerlekler arasındaki adhezyon daha kuvvetli ve gürültü yönünden daha sessizdir. Buna karşın yangın tehlikesi daha yüksek, bakım ve onarım maliyetleri %20 daha fazla olduğu tahmin edilmektedir, üstelik sınırlı taşıma kapasitesi, maksimum hız 70-80 km/saat ile sınırlıdır (Vuchic 2015).



Şekil 2.15. Paris lastik tekerlekli hızlı ulaşım hatlarından birinde trenler (Vuchic 2015)

2.5. Türkiye’de Toplu Ulaşım Sistemleri

Ülkemizde toplu ulaşım yaklaşık 200 yıllık bir geçmişe sahiptir. 18. yy’da toplu ulaşım atlı arabalar ve kayıklarla sağlanır. 1869 yılına geldiğimizde ise ilk atlı tramvay seferi Azapkapı-Beşiktaş hattında hizmete açıldı ve Azapkapı-Aksaray, Aksaray-Yedikule, Aksaray-Topkapı hatlarıyla genişletildi. Sonrasında İzmir, Konya, Selanik, Şam ve Bağdat illerine de tramvay sistemi kurulmuştur. İstanbul’un atlı tramvayları, 1914’te yerlerini elektrikli tramvaya bırakmıştır. İstanbul Tramvay Şirketi tarafından 1926 yılında

satın alınan 4 adet Renault Scemia marka otobüsten biri Beyazıt-Taksim hattında ilk tecrübe seferini yaptı (Anonim 2015j). Özel halk otobüsleri ise 1985 yılında devreye girmiştir.1988’de İstanbul Metrosu (Taksim - 4.Levent) projesi tamamlandı. 1994’te Hafif Raylı Sistem (HRS) hattının Zeytinburnu-Bakırköy istasyonları hizmete açıldı. 2007 yılında Türkiye’de bir ilk olarak İstanbul'un ana arterlerindeki trafik yoğunluğunu azaltmak, hızlı ve konforlu ulaşım sağlamak amacıyla işletmeye alınan metrobüs sisteminin ilk ayağı olan Avcılar-Topkapı hattı (18.3 km) hizmete açıldı.

Şekil 2.16’da Karayolları Genel Müdürlüğü (2014)’ne göre Türkiye’de şehirlerarası ulaşımında karayolu birinci sırada yer alırken bunu ikinci sırayla havayolu takip etmekte, üçüncü ve dördüncü sırayı ise sırasıyla raylı ulaşım ve denizyolu ulaşımı izlemektedir.

Türkiye’de 1950’li yıllardan sonra ulaşım politikalarında karayoluna yapılan teşvikler ile bu karayoluna yapılan ulaşım türleri arasında en yüksek payı aldığı söylenebilir. Bu durum diğer ulaşım türlerinin karayolu ulaşımına nazaran çok geri kaldığının bir göstergesidir. Karayoluna alternatif ulaşım türlerinin yetersiz olması insanların mecburen ulaşım için karayolunu tercih etmelerine sebep olmaktadır. Bu durum özel araç sahipliğini fazlasıyla arttırmakla beraber ekonomik ve çevresel olumsuzluklara da neden olmaktadır. Son yıllarda ülkemizde ulaşım sektöründe özellikle raylı sistemler üzerine önemli adımlar atılmaktadır. Bu durum diğer ulaşım türlerinin ulaşım paylarındaki oranlarını arttıracaktır (Anonim 2014b).

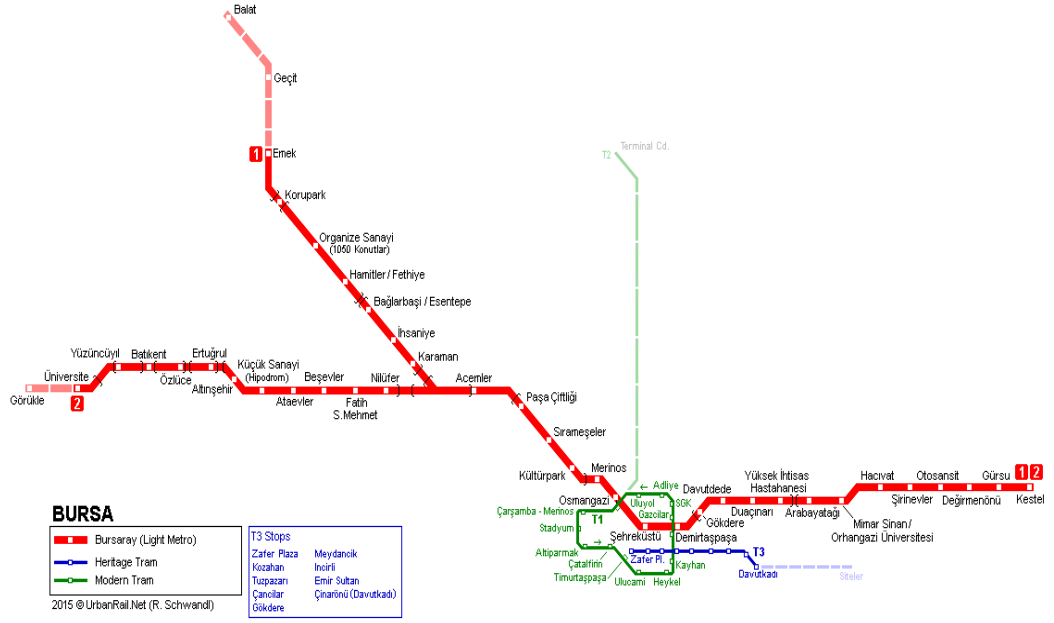


Şekil 2.16. Türkiye’de ulaşım türüne göre yüzdesel dağılım (KGM 2014)

2.5.1. Bursa'da Raylı Sistem Hatları

Bursa Büyükşehir Belediyesi mevcut ve halka açılan kayıtlarına göre ilk olarak 1904 yılında Bursa'da atlı tramvay yerine elektrikli tramvay kurup işletmek için özel teşebbüs başvurusu yapılmış olsa da, bir sonuç çıkmaması üzerine elektrikli tramvay kurma ve işletme hakkı Payitaht tarafından daha sonra belediyeye devredilmiştir. Her ne kadar daha sonra özel teşebbüslerin başvurusu olsa da çeşitli sebeplerden bu durum gerçekleşmemiştir. I. Dünya Harbinden sonra 1924 yılında Bursa Cer, Tenvir ve Kuvve-i Muharrike-i Elektrikiye Türk Anonim Şirketi adında bir şirket kurulmuş ve aynı yıl ilk santral binası, tramvay depoları ve tamir atölyeleri kurulmuştur. Ancak üretilen elektriğin öncelikle sanayiye kullanılması nedeniyle tramvayla ilgili istenilen sonuç bir türlü alınamamıştır. 1924 yılında imzalanan son sözleşme esasına göre 4'ü mecburi, 5'i tercihli olmak üzere 9 hat belirlenmesine rağmen yine sonuç alınamamıştır. Uzun yıllar sonra tramvay hattı için ilk teşebbüs 2011 yılında Zafer Plaza ile Gökdere Meydanı arasında T3 Nostaljik tramvay hattı çalışmalarının başlamasıyla, Bursa tramvay hattına kavuşmuş oldu (Şimit ve ark. 2015).

Bursa'da raylı Sistem hatları 3 farklı güzergâhta birbirine entegre olarak; T3 nostaljik tramvay hattı, T1 İpekböceği tramvay hattı ve Bursa Hafif Raylı Sistemi ile toplu ulaşıma katkı sağlamaktadır. T3 hattı 2,2 km ile 9 istasyon, T1 hattı 6,5 km ile 13 istasyon ve HRS hattı ise 39 km ile 38 istasyondan oluşmakta ve toplamda 47,7 km uzunluğunda raylı toplu taşıma hizmeti vermektedirler (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. T1, T3 ve HRS hatları (Anonim 2016)

2.5.1.1. T3 Tramvay Hattı

Bursa’da tramvay çalışmalarını ilk olarak 2011 yılında başladı. 2 Ocak 2011’de Zafer Plaza - Gökdere Meydanı BurTram T3 Hattı A Bölümünde inşaat çalışmalarına başlanan hat yaklaşık 5 ay sonra 28 Mayıs 2011’de işleme açıldı. Hattın B bölümü olan Gökdere Meydanı - Çınarönü güzergâhı ise 5 Kasım 2011’de işleme açıldı (Anonim 2015k). 2,2 km uzunluğunda olan bu hatta toplam 9 istasyon vardır. Şekil 2.18’de nostaljik tramvay görülmektedir.



Şekil 2.18. Bursa’da T3 nostaljik tramvay hattı (Anonim 2015k)

2.5.1.2. T1 (İpekböceği) Hattı

Türkiye’nin ilk yerli tramvayı olma özelliğine sahip olan İpekböceği (Şekil 2.19), 26 Temmuz 2012 tarihinde inşaat çalışmalarının başlaması ile Bursa’da ikinci tramvay hattı olma özelliğini taşımaktadır. 12 Ekim 2013 tarihinde işleme açılan hat, 6,5 km uzunluğunda olup 13 istasyondan oluşmaktadır (Anonim 2015k). Şekil 2.20’de görüldüğü gibi ulaşımın en çok ihtiyaç duyulduğu yerler olan Ulucami, Heykel ve Kent Meydanı gibi önemli yerlerden geçen T1 hattı, yerli yapım olmasından dolayı bakım ve onarımın düşük maliyette olması, düşük ücret tarifesi, klima vb. aksesuarları ile şehir ve halk üzerinde olumlu yönde etki yapmıştır.



Şekil 2.19. Türkiye'nin ilk yerli tramvayı olan İpekböceği (Anonim 2015k)



Şekil 2.20. İpekböceği tramvay hattının geçtiği güzergah (Anonim 2016b)

2.5.1.3. Hafif Raylı Sistem Hattı

14 Ekim 1998’de çalışmalarına başlanılan Bursa Hafif Raylı Sistem hattı 2002 yılında Küçük Sanayi - Şhreküstü ve Organize Sanayi - Acemler hatlarını kapsayan 1. Etap A bölümü ile hizmete açıldı. 12 Mayıs 2008 Şhreküstü-Arabayatağı arasında 1. Etap B bölümü işleme açıldı. 24 Aralık 2010, Küçük Sanayi-Üniversite ve Organize Sanayi-Emek hatlarını kapsayan Bursaray 2. Etapta tren işleme başlandı ve son olarak, 19 Mart 2014’te Arabayatağı-Kestel hattı da tamamlanarak 3. Etap işleme açıldı. Bugün itibariyle HRS, 39 km uzunluğunda çift hat olarak ve toplamda 38 istasyonda hizmet vermektedir (Anonim 2015k). Araçlar Arabayatağı istasyonunda durur ve seferi Kestel istasyonuna giden diğer araçlara devrederek aktarma yaparlar. Emek-Arabayatağı hattı HRS 1, Üniversite-Arabayatağı hattı HRS 2 olmak üzere 2 hat hizmet vermektedir. T1, T3 ve HRS hatlarında kullanılan araçların bazı teknik özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir (Anonim 2015k).

Çizelge 2.2. Bursa’da tramvay ve hafif raylı sistem hatlarının bazı özellikleri

Özellikler	T 3	T 1 (İpekböceği)	Bombardier B2010
Tipi:	Gotha	Cadde Tramvayı	HRS
Enerji Tipi:	600 V DC	750 V DC	1500 V DC
Max Hız:	40 km/h	50 km/h	70 km/h
Ray Genişliği	1435 mm	1435 mm	1435 mm
Uzunluk	11 m	28 m	27,70 m
Boş Ağırlık:	14 ton	39,3 ton	39 ton
Genişlik:	2,7 m	2,46m	2,65 m
Yükseklik:	3,13 m	3,6 m	3,80 m
Yolcu Kapasitesi:	45 kişi	282 kişi	287 kişi (8kişi/m ²)

Çizelge 2.2’de görüldüğü üzere değişen araç ve enerji tipleriyle birlikte aracın performans verileri ve kapasite özellikleri de değişmektedir. T3 tramvay aracı 282 kişi alırken, Bombardier aracı ise 287 kişi almaktadır.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kentsel ve kent içi ulaşım sistemlerinin giderek büyümesiyle saha çalışmaları ve analizler daha zor olmaya başlamış ve matematiksel modellemelerin daha etkin kullanılabildiği yeni arayışlar başlamıştır. Bu araştırmaların sonucu olarak simülasyon teknikleri geliştirilmiş ve böylece ayrıntılı modeller oluşturmakla beraber sahada yapılan deneylerin daha emniyetli, hızlı ve ucuz bir şekilde elde edilmesine olanak sağlanmıştır (Akbaş 2003).

Simülasyon teorik veya fiziksel bir sistemin bilgisayar ortamında modellenmesi ve bu model ile sistemin işletilmesine yönelik olarak sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri bilgisayar aracılığı ile değerlendiren bir tekniktir. Simülasyon tekniklerinin her geçen gün ilerlemesine bağlı olarak trafik düzenlemeleri ve çeşitli ulaşım modellemeleri yapılmaktadır. Bu çalışmada VISSIM simülasyon programı kullanılmıştır. VISSIM (Verkehr In Städten-Simulation; traffic in towns-simulation), PTV yazılım ve ulaşım danışmanlık kuruluşu tarafından geliştirilen bu programın kalibrasyonu 1993'te Karlsruhe Teknik Üniversitesi'nce (Almanya) yapılmıştır. VISSIM simülasyon programı daha çok kent içi ulaşım ve kavşak tasarımları için kullanılmış olup, toplu ulaşım için yapılan çalışmalar daha kısıtlı kalmıştır.

Mehar ve ark. (2013) çok şeritli otoyolların kapasitelerini belirlemede ve hız-akış ilişkisini göstermede VISSIM programının uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Fellendorf ve Vortisch (2001) araç takip modelinin geçerliliği üzerine bir çalışmayı, hız-akış durumunu inceleyerek Almanya ve Amerika otoyollarında mevcut veriler ile modeli kalibre ederek irdemişlerdir. Chitturi ve Benekohal (2008) kapasite ve kuyruk uzunluğunu belirlemek için VISSIM kalibrasyonunda bir yöntem tanımladılar. Park ve Won (2006) sürücülerin agresifliğinin bir ölçüsü olarak, yollarda kullanılan güvenlik mesafesi azaltma faktörünü buldular ve sefer süresi ve araç takip mesafesi gibi önemli kalibrasyon parametrelerini tanımlayarak simülasyon sonuçları ile gerçek zaman arasında korelasyon ilişkisini çizdiler. Bains ve ark. (2012) Hindistan ekspres yolları üzerinde VISSIM simülasyon programı ile sınırlı bir bölgede, farklı hacimlerde, farklı araç kategorilerinin yolcu-araç ilişkisini değerlendirdiler. Arasan ve Koshy (2005) kent

yollarında karmaşık trafik koşullarında trafik akışının çeşitli karakteristiklerini çalışmak için heterojen bir trafik akış simülasyon modeli geliştirdiler. Matsuhashi ve ark. (2005) Hochiminh şehrinde ileri görsel teknikler ve simülasyon modelleri kullanarak trafik durumunu analiz ettiler.

Yang ve ark. (2013) Çin'in Yingtan şehri Shengli bulvarında hızlı otobüs taşımacılığı (metrobüs) sistemlerinde mevcut durumu ve yapılan iyileştirmeleri analiz etmek için VISSIM'den faydalanmışlardır. VISSIM simülasyon programı ile; otobüs gecikmeleri, seyahat süresi ve seyahat hızı durumlarını incelemek için yapılan beş senaryo ile sistemin avantaj ve dezavantajlarını incelemişlerdir. İlk senaryoda otobüsler için herhangi bir şerit ayrımı ve sinyal önceliği yapılmaksızın mevcut durumu, ikinci senaryoda özel otobüs şeridi eklemesi, üçüncü durumda geleneksel sinyal sistemi, dördüncü durumda geliştirilmiş sinyal önceliği ve beşinci durumda ise kavşaklarda otobüs gecikmelerini azaltan araç hız kontrolü sağlanarak bu beş durumu analiz etmişlerdir. Birinci senaryo ile karşılaştırıldığında ikinci senaryoda otobüs gecikmelerinde yaklaşık 10 saniyelik bir azalma ile otobüs hızlarının ortalama 4,5 km/saat kadar arttığını tespit etmişlerdir. Öncelik stratejileri kullanıldığında ise özellikle 4. ve 5. senaryolarda otobüs gecikmelerinin 30 saniye kadar azaldığı otobüslerin seyahat hızı ortalama 10 km/saat kadar arttığını gözlemlemişlerdir. Bunun sonucu olarak özel otobüs şeridi, öncelik stratejileriyle beraber kullanıldığında yüksek bir performans elde edildiğini ileri sürmüşlerdir.

Chen ve ark. (2014) Çin'in Lin He bölgesinde bulunan üç kavşaktan, biri üzerinde VISSIM simülasyon programı ile mevcut durumun analizini yaptılar. Sabah zirve saatinde otobüslerin istasyonlara varış ve ayrılış süreleri ile yolcuların istasyonlarda otobüse biniş ve inişlerini gözlemleyerek, istatistiki analizlere dayanarak zirve saatlerde her durak için tahmini araç doluluklarını belirlemeye çalıştılar. Optimizasyon öncesi ve sonrası simülasyon sonuçlarını analiz edilerek otobüslerin ortalama kuyruk uzunluğunun çarpıcı bir şekilde azaldığını ve doluluk faktörünün daha iyi bir duruma geldiğini tespit etmişlerdir. Trafik simülasyon programı kullanarak yapılan çalışmanın yalnızca trafik ağ optimizasyonu için değil, aynı zamanda toplu ulaşım ağı için de önemli bir referans ve trafik sıkışıklığı problemini çözücü teknik bir araç olduğu yargısına gitmişlerdir.

Yu ve ark. (2006) Pekin şehrinde metrobüs sistemleri uygulaması için GPS verilerini kullanarak VISSIM'in sürücü davranış parametrelerinin otomatik kalibrasyonu için bir yaklaşım öne sürdüler. VISSIM programında sürücü davranış parametrelerinin en iyisini bulmak için bir genetik algoritma kullanıldı ve özel bir simülasyon programı VISSIM simülasyonu ile otomatik ve ardışık çalıştırmak için geliştirildi. Sunulan yaklaşımın geçerliliği Pekin'in Kuzey-Güney merkez aksı metrobüs koridoru için bir durum çalışması olarak gösterildi.

Simülasyon modelleri kalibre edilmeye ihtiyaç duyan birçok parametre içerebilir. Bu durum hem çok fazla zamana hem de çabaya ihtiyaç duyar. Çünkü yapılan modeli etkileyen en iyi parametreyi bulmak için parametre değerlerinin birçok kombinasyonu olacaktır. Siddharth ve Ramadurai (2013) bir otomatik mekanizma yoluyla VISSIM'i kalibre etmek ve önemli parametrelerini bulmak için ANOVA (Analysis of Variance) ve Elementary Effects metotlarını kullandılar. Hindistan'ın Chennai şehrinde zirve saatlerde ağır akışı olan bir kavşaktan alınan verileri kullanarak VISSIM modelinin otomatik kalibrasyonunu yapmışlar, duyarlılık analizi üzerine sonuçlar ve bir metot önermişlerdir. Model VISSIM'in ara yüzü Visual C++ COM kullanılarak kalibre edilmiş ve kalibrasyon sırasında duyarlılık parametrelerinin optimal kombinasyonunu bulmak için Genetik Algoritma yazılımı geliştirmişlerdir. Çalışmada ANOVA ve Elementary Effect metotlarının duyarlılık parametrelerini bulmada çok etkin olduklarını tespit etmişlerdir.

Raka ve Gao (2011) Trafik simülasyon yazılımları olan CORSIM, AIMSUN2, PARAMICS, INTEGRATION ve VISSIM ile kararlı durum araç takip modeline dayalı kalibrasyon parametrelerini çalıştılar. Çalışma alanında gözlemlendiği gibi trafik hareketlerini yansıtmada noktasında, VISSIM çoklu parametreler içerdiği için diğer yazılımlara göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Cai ve ark. (2013) Çin'in Tianjin bölgesindeki bir kavşakta toplu taşıma faaliyetlerini VISSIM programıyla modellemişlerdir. Bu çalışmada 3 tane problem tespit edilmiştir: otobüsler ve araçlar arasında ciddi karışıklık, sola dönüş şeritlerinin yetersiz kapasiteleri, otobüsler ve arabaların da dâhil olduğu kavşaklarda ciddi gecikmelerdir. Araştırmada bu

problemleri çözmek için birinci kategoride otobüs duraklarını kavşaklardan daha uzağa koymak yani lokasyonunu değiştirmek, otobüslere sinyal önceliğinin verilmesi, ikinci kategoride tüm yollara birer şerit eklenmesi ve üçüncü kategoride sıkıntının olduğu bölgeye bir şerit eklenmesi gibi öneriler sunulmuştur. Bu öneriler üç önemli kategori oluşturur. Bu kategorilerin etkileri seyahat süresi, gecikme, kuyruk uzunluğu ve otobüs bekleme zamanı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kategori türlerine göre gecikmeler, kuyruk uzunlukları ve seyahat sürelerinde ciddi azalmalar meydana gelmiştir. İkinci kategori en iyi sonucu vermekle beraber maliyeti en yüksek, üçüncü kategori ise hem iyi sonuç vermekte, hem de ikinci kategoriye göre daha az maliyeti olduğu için tercih edilmesine sebep olmuştur.

Akbaş (2001) kent içi ulaşımında ulaşım performanslarını değerlendirmede simülasyon tabanlı bir test gerçekleştirmiştir. İstanbul kent içi trafik ağlarında önemli bir yeri olan Barbaros arterinde gözlemler ile aktüel sinyal planı ve trafik kompozisyonu kullanılmıştır. 3 saatlik simülasyon ile çeşitli yol segmentleri referans alınarak; taşıt başına ortalama ulaşım süresi, ortalama gecikme, ortalama duruş sayısı 10'ar dakikalık zaman aralıklarıyla 3 saatlik simülasyon süresi boyunca izlenmiştir.

Akbaş (2003) sinyalize kavşaklarda dinamik sinyal optimizasyon modeli kullanarak sağlanan performans gelişmelerini Weidmann taşıt takip modelini kullanan mikroskobik simülasyon yazılımı olan VISSIM programında değerlendirmiştir. Test için İstanbul'da önemli bir yere sahip olan 4 kollu Çağlayan kavşağı seçilmiştir. İlk test, mevcut veriler ile sabit zamanlı sinyal kontrolü dikkate alınarak yapılmış. İkinci test ise, aynı trafik şartları altında sabit zamanlı değil dinamik optimizasyon modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 3 saatlik simülasyon sürecinde; taşıt başına ortalama gecikme, taşıt başına ortalama duruş sayısı ve kavşak kapasitesinin kullanımına ilişkin 10'ar dakikalık zaman aralıklarıyla grafikler halinde değerlendirilmiştir.

4. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Çalışmada kullanılan VISSIM simülasyon programı genellikle kavşaklardaki araçların modellendirilmesi ve performanslarının değerlendirilmesi ve yaya hareketlerinin durumlarını incelemek için kullanılan ve böylece karayolunun etkin kullanımına yönelik çalışmalar sunmak için yapılmış bir yazılımdır. Toplu taşıma ile ilgili çalışmalar olsa da diğer çalışmalara nazaran çok az sayıda kalmaktadır.

Bu çalışmada Bursa'da mevcut bulunan Hafif Raylı Sistem (HRS) toplu ulaşım hattının VISSIM'de modellenmiş ve aynı hat üzerinden geçirilen farazi metrobüs hattının VISSIM simülasyon programı ile analizi yapılmış, yolcu sayılarına bağlı olarak hatta meydana gelen performans verileri incelenerek karşılaştırma yapılmıştır. Program, akademik çalışma için 1 yıllık lisanslı olarak alınmıştır ve buna bağlı olarak bazı kısıtlamalar mevcuttur. Bunlardan en önemlisi çalışma yapılacak ağ boyutunun 15 km²'lik bir çalışma alanı ile kısıtlanmış olmasıdır. Bu nedenle Bursa'daki mevcut HRS hattı bu sınırı geçtiği için, içinde Acemler, Nilüfer ve Üniversite gibi 3 önemli istasyonun bulunduğu Üniversite-Kültürpark ve Emek-Kültürpark hatları arasında toplu ulaşım hattı modellenmeye çalışılmıştır.

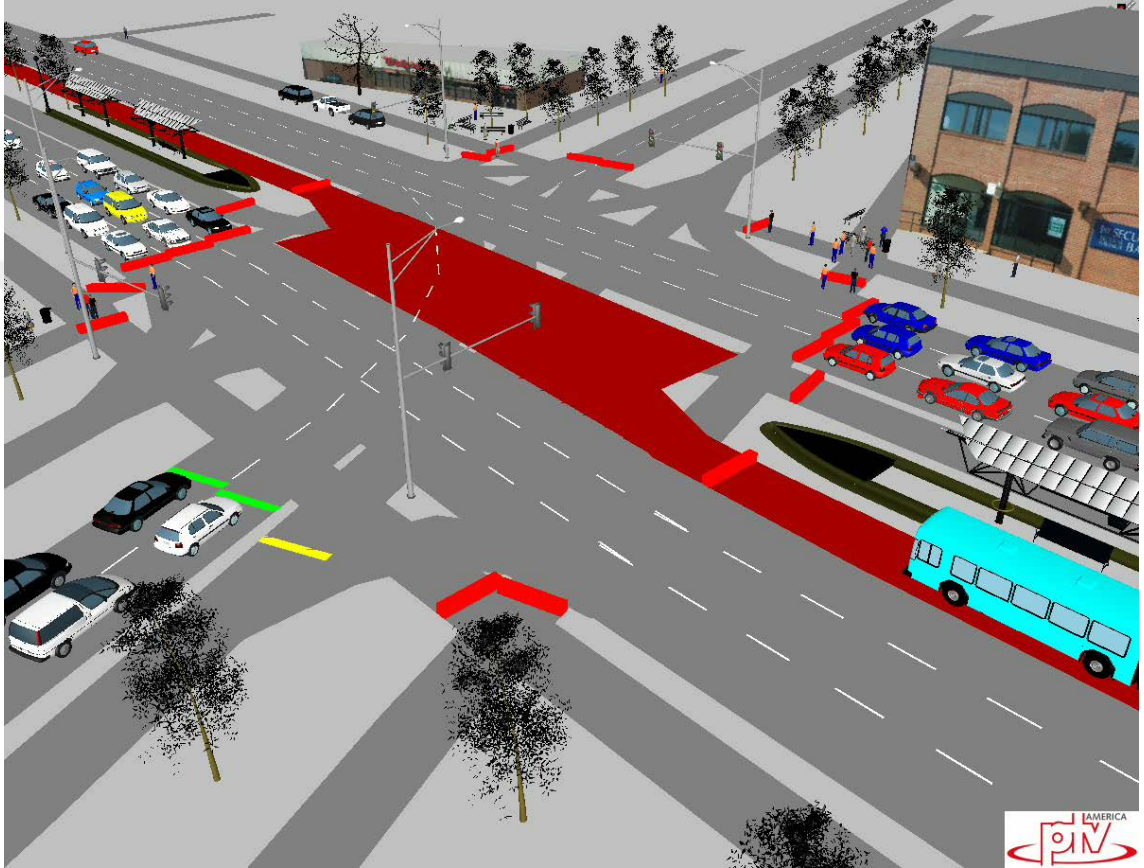
Çalışmada kullanılacak veriler Bursa Ulaşım'a bağlı Bursaray'dan temin edilmiştir. Veriler 2013, 2014 ve 2015 yıllarında HRS hattındaki; aylık, günlük ve saatlik binış verilerini ve 2014 yılının ilk 5 ayının saatlik iniş verilerini içermektedir.

4.1. VISSIM Simülasyon Programı

Simülasyon programları, bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak kent içi ulaşımında trafik kontrolünde, alternatiflerin uygulanmasında ve ulaşım problemlerinin çözülmesinde kullanılan çok önemli araç olmaya başlamıştır (Akbaş 2003).

VISSIM, kent içi ulaşım sistemlerinin trafik ve transit ulaşım (hafif raylı ulaşım) sistemlerinde modellenmesi ve değerlendirilmesi için geliştirilmiş; davranış tabanlı ve ayrık zamanlı bir mikroskobik simülasyon programıdır. PTV (yazılım ve ulaşım

danışmanlık kuruluşu) tarafından geliştirilen bu programın kalibrasyonu Karlsruhe Teknik Üniversitesince (Almanya) yapılmıştır. VISSIM programı simülasyon sırasında trafiğin görünüşüne, değişkenlere ilişkin verilerin canlı olarak izlenilebilmesine ve gerçek hayatta elde edilen verilerin sanal ortamda üretilebilmesine imkân sağlar (Anonim 2000). Şekil 4.2’de VISSIM’de yapılmış bir çalışmanın 3B olarak gösterimi verilmiştir.

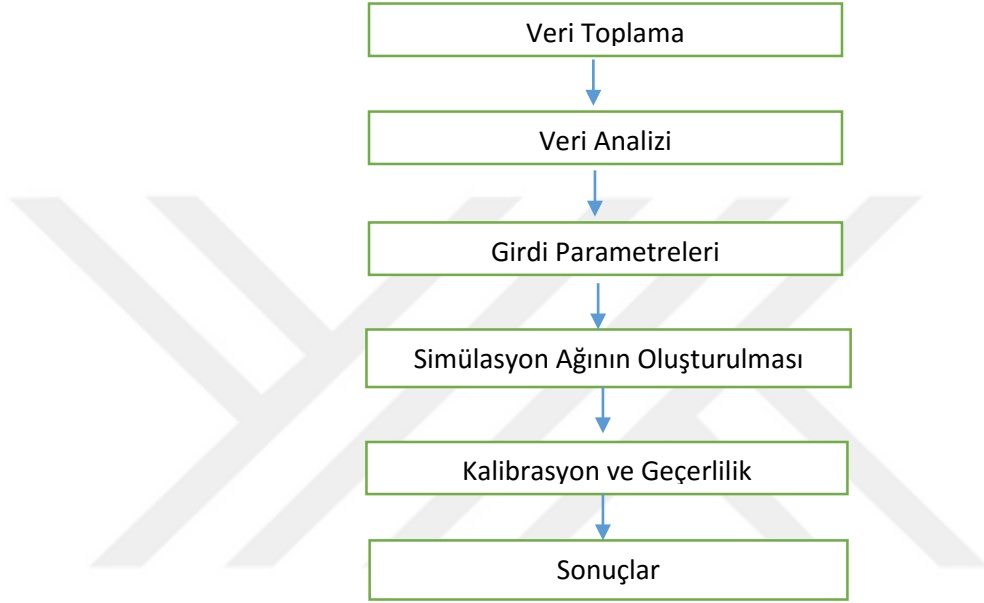


Şekil 4.1. VISSIM’de 3B gösterimi

VISSIM programı ile kavşak tasarımları, kent içi yol trafiği, trafik ışıkları sinyalizasyonları, toplu ulaşım sistemleri, duraklar ve yaya hareketleri gibi durumlar analiz edilebilir. Kısaca VISSIM kent içi trafiğin planlanması, sinyalizasyon, alternatif olabilecek ulaşım sistemleri, değerlendirmeler ve ulaşım problemlerinde çözüm önerileri oluşturabilmek için başvurulabilecek önemli bir araçtır.

Şekil 4.1’de Vissim simülasyon programında bir çalışma ağı modellenirken izlenmesi gereken adımlar gösterilmiştir. Bu akış diyagramına göre modellenmek istenen bir ağın

öncelikle mevcut durumunu gösteren veriler toplanır. Çalışmada kullanılacak verilerin programa göre uyarlanması için veriler analiz edilir ve girdi parametreleri ayarlanır. Daha sonra Vissim simülasyon programında çalışma yapılacak ağın modellenmesi yapılır. Mevcut durum ile simülasyon programında hazırlanan modelin kalibrasyonu ve/veya geçerliliği yapılır, alternatif çözüm önerileri ve yapılabilecek iyileştirmeler tespit edilir ve sonuçlar irdelenir.

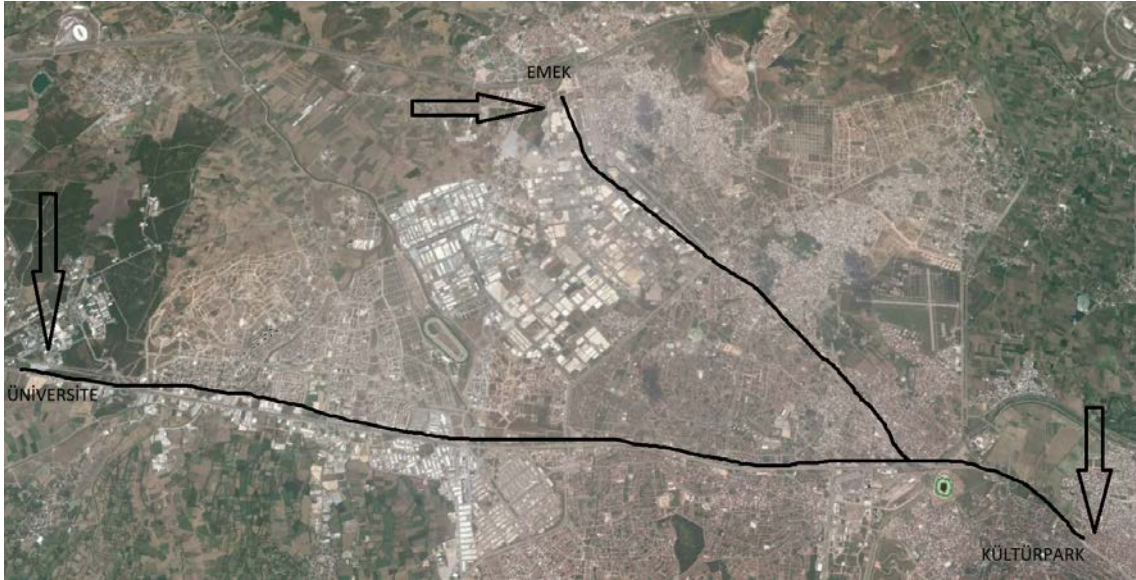


Şekil 4.2. Simülasyon modelinin hazırlanması (Bains ve ark., 2012).

5. MATERYAL VE YÖNTEM

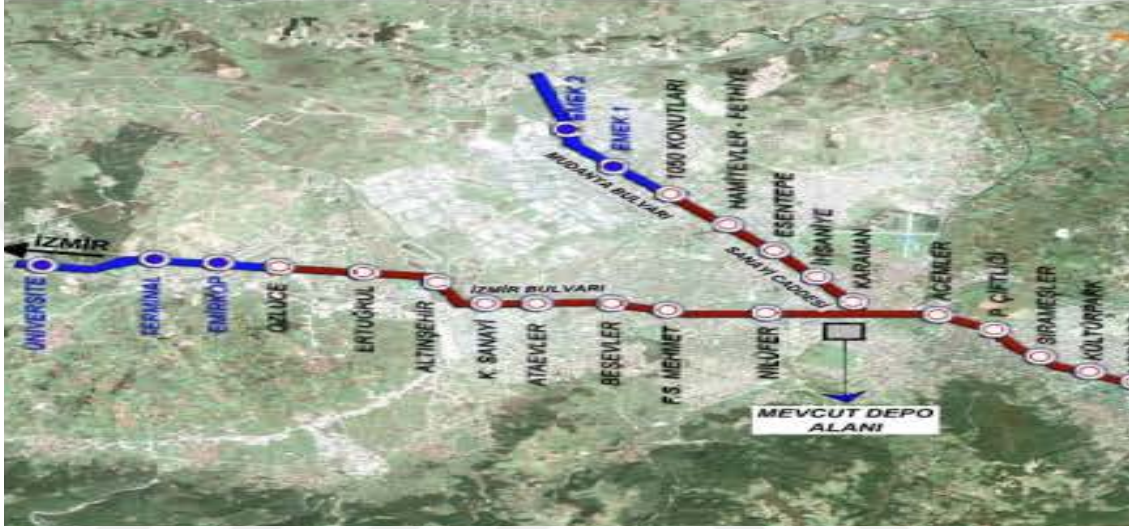
Çalışmada Bursaray'dan 2013 ve 2014 yılları ile 2015'in ilk 6 ayına ait yolcu binış verileri alındı. Bu yıllara ait veriler her günün saatlik olarak istasyonlar bazında yolcu sayılarını içermektedir. Yolcu iniş verileri ise saatlik olarak sadece 2014 yılının ilk 5 ayına kadar tutulduğu için 2013 veya 2015 yılına ait yolcu iniş verileri mevcut değildir. Ayrıca 2014 yılında Bursaray tarafından yapılan bir anket çalışmasına göre yolcuların istasyonlardan hangi yöne gitmek istediklerini gösteren oransal veriler ve yüzdelik dilimlerde temin edildi. Yine çalışmada kullanılmak amacıyla mevcut Bursaray'ın mevcut HRS araçları ve İstanbul Ulaşım'dan Phileas Metrobüsü ile ilgili kapasite verileri de temin edildi.

Programın daha önce bahsedilen bazı kısıtlamalarından dolayı çalışma 15 km²'lik bir alanda gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda Üniversite-Kültürpark ve Emek-Kültürpark hatları çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Yani çalışma alanı 22-23 km uzunlukta ki bu iki hatta seçilmiştir. Bu hatta toplamda 22 istasyon vardır. Şekil 5.1'de çalışmada dikkate alınan Bursa HRS hattının vaziyet planı verilmiştir.



Şekil 5.1. Bursa'daki Üniversite-Kültürpark ve Emek-Kültürpark HRS hattının güzergahları

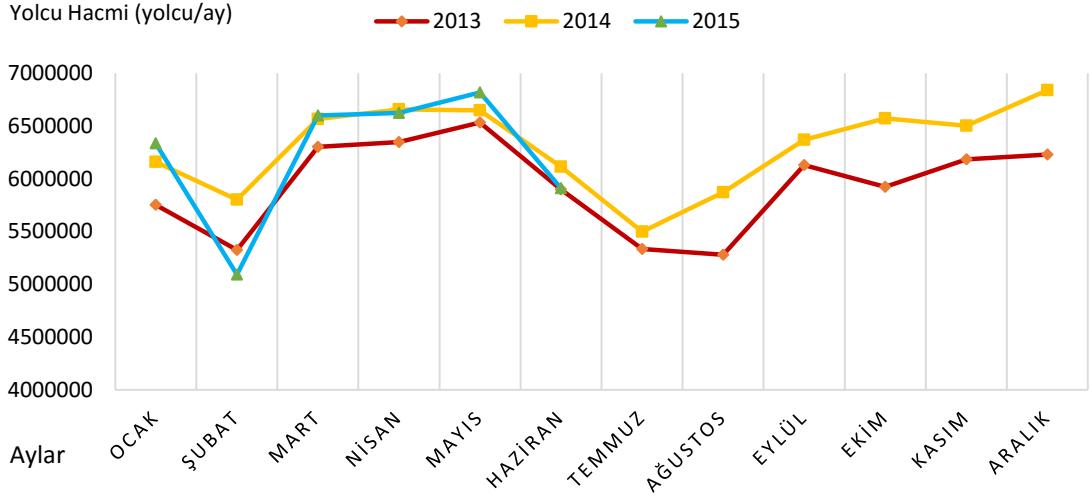
Çalışma; Üniversite yönünden; Üniversite, Batıkent, Yüzüncüyıl, Özlüce, Ertuğrul, Altınşehir, Küçük Sanayi, Ataevler, Beşevler, Fatih Sultan Mehmet ve Nilüfer istasyonlarını içermektedir. Emek yönünden ise Emek, Korupark, Organize Sanayi, Hamitler, Bağlarbaşı, İhsaniye, Karaman, Acemler, Paşaçiftliği, Sırameşeler ve Kültürpark istasyonlarını içeren kısmı dikkate alınmıştır. Şekil 5.2'de belirtilen bu istasyonların yerleri gösterilmektedir.



Şekil 5.2. HRS 1 ve HRS 2 hattındaki istasyonlar (Baştürk 2014)

5.1. Veriler

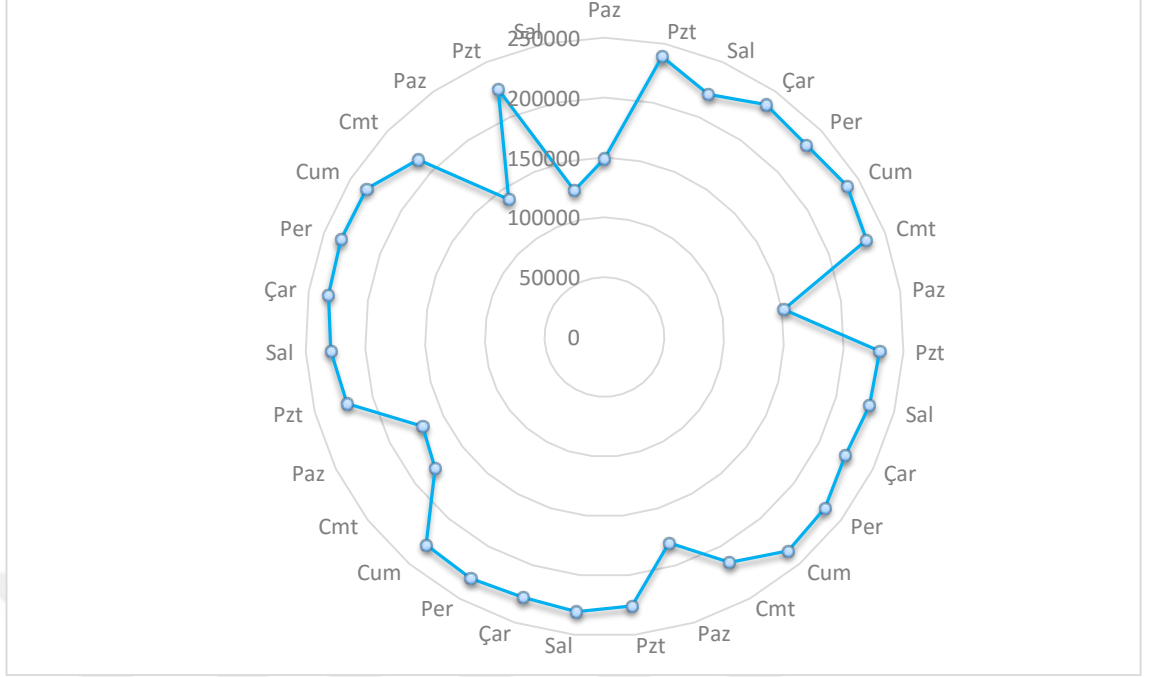
Mevcut durumun kapasite durumunu belirlemek ve hizmet seviyesini görmek için çalışma en yoğun yılın en yoğun ayında ve günlerinde yapılmıştır. Doğal olarak bu durum günün zirve saatlerine karşılık gelmektedir. Yıllara, aylara, günlere ve hatta saatlere göre yolcu sayıları değişkenlik göstereceğinden yıllar içinde en fazla yolcu potansiyeline sahip olan ay tespit edilmiştir. Bu ayın genel olarak Mayıs ayı olduğu görülmektedir. Aynı şekilde hafta içi günler arasında en yoğun günlerin genellikle Pazartesi, Perşembe ve Cuma günleri olduğu tespit edildi. Yine günün en yoğun saatinin de akşam 18:00-19:00 arası olduğu görülmüştür. 2013, 2014 ve 2015 yılının yolcu verilerinin aylık değişimi Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Yıllara göre aylık yolcu değişimi grafiği

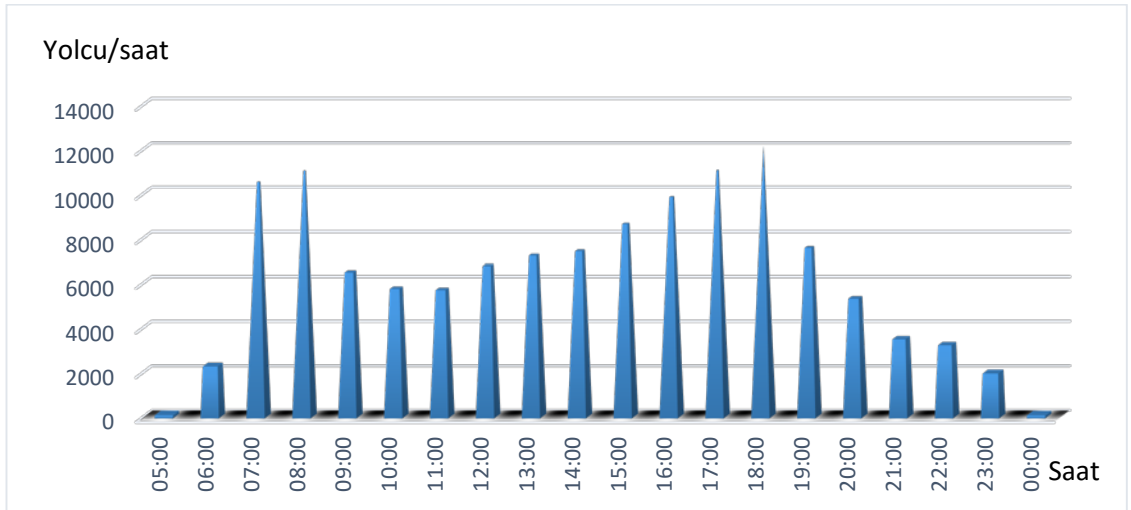
Şekil 5.3 incelendiğinde, Mart, Nisan, Mayıs ayları ve Ekim, Kasım, Aralık ayları yıl içinde en yoğun yolcu hacmine sahip aylar olduğu görülmektedir. Ayların ortalama yolcu sayıları yaklaşık 6.500.000 kişi civarındadır. Mevcut sistemi temsil etmesi açısından bu çalışmada Mayıs ayı referans alınmış ve bu aya ait veriler kullanılarak çalışma yürütülmüştür.

Tipik bir ay için günsel değişim grafiği Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere haftanın günleri bazında değerlendirme yapıldığında, hafta sonları (özel durumlar hariç) hafta içine göre daha az yolcu potansiyeline sahiptir. Hafta içi en yoğun günün hangisi olduğu tam net olmasa da, genel olarak en yoğun günlerin Pazartesi, Perşembe ve Cuma günleri olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4. Tipik bir ayın günsel değişimi

Aynı Şekilde günün en yoğun saatleri de istasyon bazlı olarak değişebilmektedir. Bu durum yine tipik bir ayın, herhangi bir pazartesi günü için gösterilen grafikte (Şekil 5.5) değerlendirme yapılmıştır. Böylece günün en yoğun olan saatleri, 07:00-08:00 arası ile 16:00-18:00 arası olduğu görülmektedir. Şekil 5.5'te de örnek olarak 2015 yılı Mayıs ayına ait hafta içi Perşembe günü saatlik yolcu grafiği verilmiştir.



Şekil 5.5. Tipik bir günün saatlik yolcu sayıları

5.1.1. Simülasyon İçin Verilerin Düzenlenmesi

Ulaşım mühendisliğinde yolcu verilerinin yıllık, aylık, günlük hatta saatlik olarak değişmesi ve istasyon ve bölge bazında seyahat taleplerindeki farklılıklardan dolayı, mevcut durumu temsil edecek en uygun veriyi seçmek önem arz etmektedir.

Görüldüğü üzere mevcut Bursa HRS hattının performansını ve gelecekte artacak yolcu talebinde dikkate alarak uygun bir değerlendirme yapmak için 2015 yılının en yoğun ayı olan Mayıs ayı dikkate alınmıştır. Hafta içi genellikle en yoğun günler Pazartesi, Perşembe ve Cuma olduğundan bu günleri dikkate alacak şekilde zirve saat 18:00-19:00 arası simülasyon için en uygun zaman dilimi olarak belirlenmiştir.

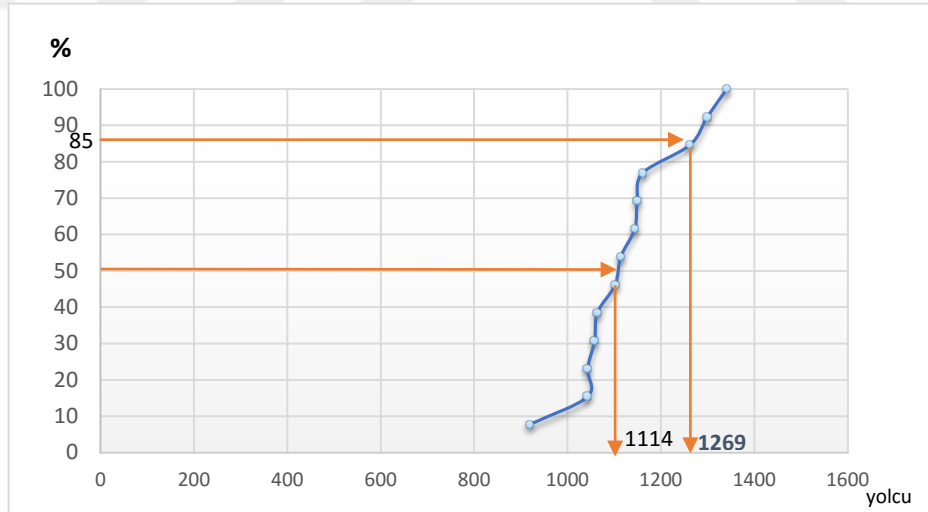
Bu doğrultuda her istasyonda Mayıs ayının belirtilen günlerinde zirve saatte 13 veri (saatlik yolcu sayıları) olacaktır yani Mayıs ayında toplam Paz, Per ve Cuma günleri olacaktır. Her istasyon için kümülatif tablo oluşturularak %50 ve %85'lik değerleri bulundu. %50 ortalama değeri, %85 ise genel durumu temsil etmesi açısından dikkate alınmıştır. Bu değerler VISSIM programına pedestrian input sekmesinden istasyon bazlı zamansal olarak girilmiştir (bkz. Şekil 5.15).

Çizelge 5.1'de, örnek olarak Nilüfer istasyonunda, Mayıs ayının tüm Pazartesi, Perşembe ve Cuma günlerinin saatlik yolcu sayıları verilmiş olup yolcu sayılarının kümülatif toplamda yüzdesel dilimleri gösterilmiştir. Şekil 5.6'da ise Çizelge 5.1'e göre oluşturulmuş grafik verilmiştir. Çizelgedeki sütun 3, bahsi geçen istasyondaki sütun 2'de verilen saatlik yolcu hacimlerinin küçükten büyüğe sıralanmış halini vermektedir. Sütun 4 ise belirtilen günlerin hacimleri ve o hacimlerden daha küçük hacime sahip olan değerlerin sayısını vermektedir. Sütun 5 ve 6'da, oransal ve yüzdeler dilimleri verilmiştir. Sütun 7 ise tüm bu hacimlerin %85'lik değerini göstermektedir. Sonuç olarak alınan %85'lik değer, bu istasyonda ortaya çıkan saatlik yolcu talebinin %85'inin bu değerden daha az olacağını, %15'inin ise bu değerden daha fazla olabileceğini göstermektedir. Böylece istatistiki olarak bu istasyonda oluşabilecek en fazla saatlik yolcu talebi %85 ihtimalle dikkate alınmış olur. Diğer bir deyişle, %15'lik bir durumun özel durumlardan oluşabilecek (örneğin, bir mağazanın açılışından dolayı olağan dışı

talep oluşacağı gibi), gerçek durumu yansıtmayacak yüksek yolculuk taleplerini göz ardı etmiş olur. %50 ise bu istasyon için ortalama değeri göstermektedir

Çizelge 5.1. %85 değerinin hesaplanması (Nilüfer istasyonu)

Günler	Hacim (x) (yolcu/saat)	Sıralama (x) (yolcu/saat)	$\sum n$ (hacim \leq Hacim)	Oran	Yüzde	%
Cum	919	919	1	0,07	7,7	
Pzt	1058	1043	2	0,15	15	
Per	1299	1043	3	0,23	23	
Cum	1149	1058	4	0,31	30	
Pzt	1102	1064	5	0,38	38	
Per	1341	1102	6	0,46	46	
Cum	1262	1114	7	0,54	53	
Pzt	1114	1144	8	0,62	61	
Per	1161	1149	9	0,69	69	
Cum	1144	1161	10	0,77	76	
Pzt	1043	1262	11	0,84	84	(%85)
Per	1043	1299	12	0,92	92	1269
Cum	1064	1341	13	1	100	



Şekil 5.6. %85 ve %50 değerleri (Pazartesi, 18:00-19:00 arası, Nilüfer istasyonu)

Belirtilen bu işlemin uygulama örneği Çizelge 5.2’de verilmiştir. Çizelgenin 2’nci, 3’üncü ve 4’üncü sütununda yolcuların hangi yöne gitmek istedikleri ile ilgili Burulaş’ın yapmış olduğu bir anket çalışmasının sonuçları gösterilmektedir. Sütun 5 ve 6’ da bu anket

çalışmasına göre belirlenmiş olan istasyon bazlı yolcu oranlarının %50'lik ve %85'lik değerler ile yönsel dağılımları verilmiştir.

Çizelge 5.2. Her istasyon için güzergâh dağılım oranları ve %50'lik ve %85'lik değerler

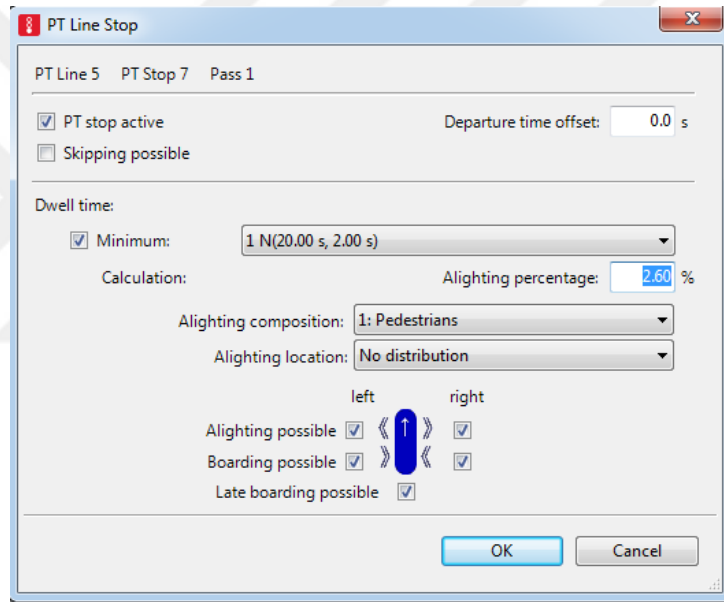
İSTASYONLAR	Yönsel dağılımlar			Yönsel dağılıma göre hacimler	
	Acemler - Kültürpark Yönü	Emek Yönü	Üniversite Yönü	50%	85%
Emek	85,93%	0,00%	14,07%	827	936
Korupark	92,87%	0,18%	6,95%	693	728
Organize Sanayi	90,19%	0,98%	8,83%	377	396
Hamitler - Fethiye	85,81%	7,46%	6,73%	403	442
Bağlarbaşı - Esentepe	76,03%	12,47%	11,50%	513	523
İhsaniye	73,12%	19,39%	7,49%	310	322
Karaman	64,56%	22,59%	12,85%	380	402
Üniversite	98,03%	1,97%	0,00%	820	899
Batıkent	81,09%	0,00%	18,91%	69	81
Yüzüncü Yıl	83,25%	2,01%	14,74%	304	328
Özlüce	81,48%	1,63%	16,89%	234	254
Ertuğrul	79,97%	9,00%	11,03%	332	356
Altınşehir	88,30%	4,09%	7,61%	163	168
Küçük Sanayi	83,67%	2,68%	13,65%	1355	1376
Ataevler	77,98%	0,08%	21,94%	368	399
Beşevler	75,31%	3,31%	21,38%	334	349
Fatih Sultan Mehmet	73,72%	2,35%	23,93%	479	499
Nilüfer	72,48%	3,08%	24,44%	854	959
Acemler	45,65%	20,28%	34,07%	394	422
Paşa Çiftliği	45,08%	21,97%	32,95%	99	109
Sırameşeler	43,40%	20,40%	36,20%	130	142
Kültürpark	35,51%	28,99%	35,50%	89	97

5.1.2. İnen Yolcu Verilerinin Düzenlenmesi

Bursaray'dan temin edilen istasyon bazında yolcu iniş verileri, biniş verileri kadar net değildir. Çünkü bazı istasyonlarda turnikelerin bulunmaması ve yolcuların turnikelerden geçerken turnikenin tam dönmemesinden kaynaklanan durumlardan dolayı eldeki veriler olması gereken durumdan daha az sayıyı göstermektedir. Bu yüzden oluşan yolcu kaybı

farkını kapatmak için aylık olarak istasyonlardan binen ve inen yolcular arasında karşılaştırma yapıldığında yaklaşık olarak %10 ile %16 arasında değişen bir fark olduğu görülmüştür. Bu amaçla çalışmada kullanmak için ortalama %13'lük bir değer eksik yolcu sayısı oranı olarak kabul edildi. Bu eksik %13'lük oranı, her istasyonda belirlenen yolcu iniş sayılarına artırma kabulü ile ortalama binen yolcu sayısına yakın (yaklaşık olarak %2 hata payı ile) değer elde edilmiştir.

Şekil 5.7'de görüldüğü üzere VISSIM programı, araçtan inecek yolcuları sayısal olarak değil oransal olarak belirler (alighting percentage). Fakat inen yolcu oranını kurabilmek için durağa gelen aracın içindeki yolcu sayılarının bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 5.7. Aracın duraktaki davranışı ve yolcu iniş menüsü

Yolcu sayısı aşağıdaki denklem ile bulunabilir.

$$X_i = X_{i-1} + b_{i-1} - a_{i-1} \quad 5.1$$

Burada;

$X_i = i$. durağa gelirken aracın içindeki yolcu sayısı

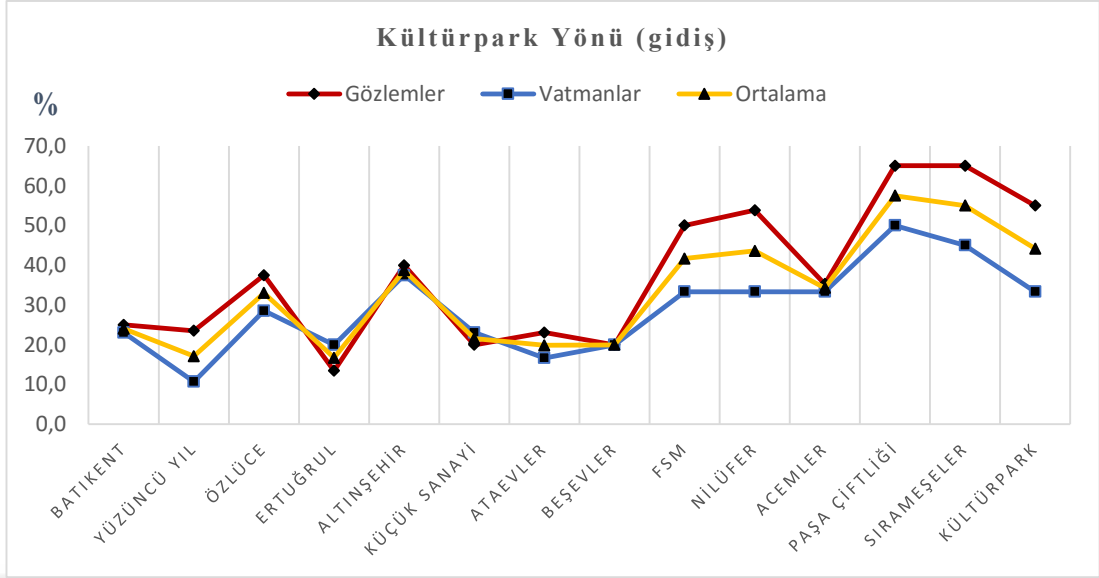
$b_i = i$. durakta binen yolcu sayısı

$a_i = i$. durakta inen yolcu sayısını göstermektedir.

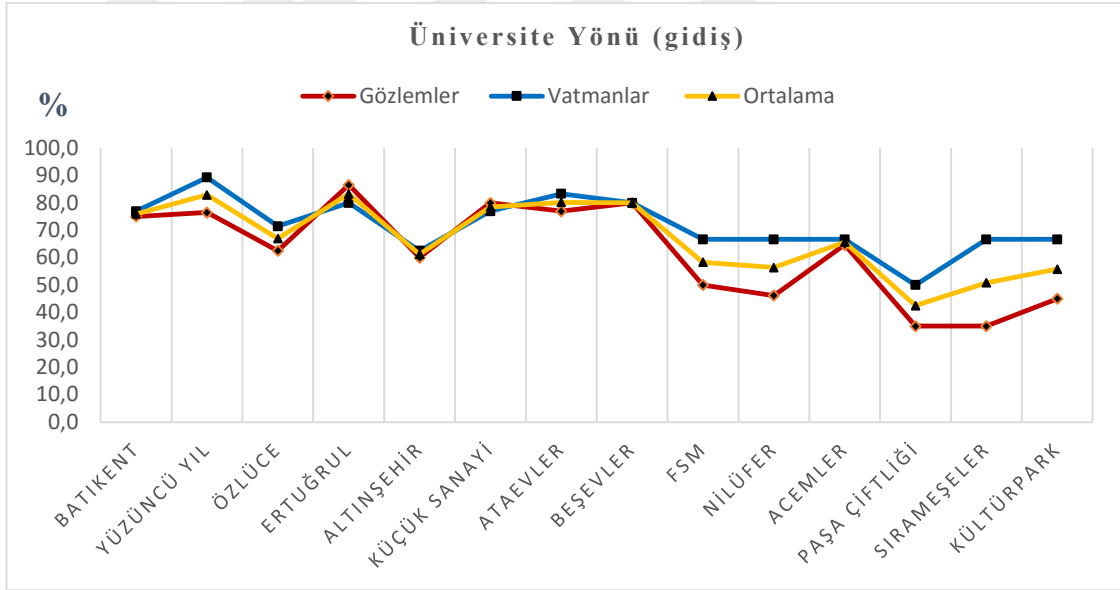
VISSIM için duraklardan inecek yolcu oranı ise, a_i/X_i olarak hesaplanır.

Her ne kadar durak için saatlik olarak inen yolcu sayıları mevcut olsa da, aynı saat diliminde farklı güzergâhlardan gelen araçlardan hangisinden sayısal olarak kaç yolcu indiği bilinmemektedir. Bu sebeple çalışmada kullanmak için saat 13:00-14:00 arasında gözlem yapılmıştır. Bu saatler arasında gözlem yapılmasının nedeni, diğer saatlerde yolcu biniş ve inişleri yoğun olacağından sayım yapmak zor veya imkânsız olacaktır. Bu sebeple daha az yoğun ortamda yapılacak gözlemin, diğer saatlerde de aynı olacağı kabulüyle belirtilen saatlerde gözlem yapılmıştır. Böylece gözlemler ve işletmede çalışan tecrübeli Vatmanlar ile yapılan görüşmelerde iki durum arasında yakınsak bir oran bulunmaya çalışılmıştır. Örnek olarak Şekil 5.8 ve 5.9'da Kültürpark-Üniversite güzergâhı arasında inen yolcular için yapılan gözlem ve vatman görüşleri ile ortalama değerleri ve Çizelge 5.3'te elde edilen ortalama değerlerin tablosal hali gösterilmektedir. Böylece hafta içi saat 13:00-14:00 arasında yapılan gözlem ve değerlendirmelerden bulunan sonuçların, çalışmada kullanılan gün içi zirve saati olan 18:00-19:00 arasında da aynı olduğu kabulü yapılmıştır.

Çizelgeler istasyonlarda inen yolcuların yüzdesel dilimlerini göstermektedir. Yani araçlar istasyonlara hangi güzergâhlardan geliyorsa indireceği yolcu sayısının o istasyonda inen toplam yolcu sayısına göre yüzdesel dilimini göstermektedir. Örnek olarak; Batıkent istasyonunda inen yolcuların %80'i Üniversite istikametine giden araçlardan, %20'si ise Kültürpark istikametine giden araçlardan inmektedir. Çizelgelere göre gözlem sonuçları ve Vatmanlar ile yapılan görüşmelerin sonucunun birbirine yakın çıkmış olduğu görülmektedir. Buna binaen yapılan çalışmanın sonucu tutarlı olduğundan, bu iki verinin ortalamaları alınmış ve bu ortalama değer programa girilecek olan yolcu iniş yüzdelerinde hesaplanmak için kullanılmıştır.



Şekil 5.8. İstasyon bazında yolcu iniş oranları (Kültürpark yönü)



Şekil 5.9. İstasyon bazında yolcu iniş oranları (Üniversite yönü-Emek yönü)

VISSIM programı duraklarda aracın içindeki yolcu sayısına göre hesap yaptığı için, istasyon başına yolcu giriş ve çıkış sayıları ve yönsel dağılımlar kullanılarak Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi araçtan incek yolcu oranları hesaplanmış ve programa girilmiştir. Bursaray sadece 2014 yılının Mayıs ayına kadar olan ilk 5 ayın saatlik olarak çıkış verilerini tuttukları için, yolcu giriş verilerinde her ne kadar 2015 yılı Mayıs ayının verileri girilmişse de, çıkış verileri için 2014 yılının Mayıs ayı verileri düzenlenerek

programa girilmiştir. Bu değer oransal inişleri gösterdiği için simülasyonun geçerliliğini etkilemeyecektir.

Çizelge 5.3. Gözlemsel ve Vatmanlar ile yapılan çalışmalar sonucu iniş oranlarının yüzdesel ortalaması

İstasyonlar	Kültürpark yönü yolcu oranı	Üniversite yönü yolcu oranı
Batıkent	24	76
Yüzüncü Yıl	17	83
Özlüce	33	67
Ertuğrul	17	83
Altınşehir	39	61
Küçük Sanayi	22	78
Ataevler	20	80
Beşevler	20	80
Fatih Sultan Mehmet	42	58
Nilüfer	44	56
Acemler	34	66
Paşa Çiftliği	68	32
Sırameşeler	55	45
Kültürpark	47	53
Korupark	3	97
Organize Sanayi	25	75
Hamitler - Fethiye	20	80
Bağlarbaşı - Esentepe	33	67
İhsaniye	30	70
Karaman	33	68
Acemler*	29	71
Paşa Çiftliği*	66	34
Sırameşeler*	37	63
Kültürpark*	32	68

* Emek yönünden gelen yolcuları temsil eder.

Çizelge 5.4. Programa girilecek iniş yüzdeleri

İstasyonlar	Üniversite	Batıkent	Yüzüncüyl	Özlüce	Ertuğrul	Altınşehir	K.Sanayi	Ataevler	Beşevler	FSM	Nilüfer	Acemler	P.Çiftliği	Sırameşeler	Kültürpark
Gidiş yüzdesi	100,00%	81,09%	85,26%	83,11%	88,97%	92,39%	86,35%	78,06%	78,62%	76,07%	75,56%	45,65%	45,08%	43,40%	35,51%
Toplam Yolcu Sayısı	852	64	250	151	335	49	399	146	306	332	669	713	140	329	115
Gidiş Yolcu Sayısı	852	52	213	125	298	45	345	114	241	252	505	325	63	143	41
İniş Yüzdesi	0	24	17,1	33	16,7	38,8	17,1	18,1	15,6	41,7	43,6	34,3	68,5	55,1	47,4
Çıkış	0	36	136	148	193	56	485	151	292	374	787	535	210	258	120
İnen yolcu sayısı	0	9	23	49	32	22	83	27	45	156	343	184	144	142	57
Saatlik yolcu sayısı	-	852	895	1085	1162	1428	1451	1712	1799	1995	2091	2253	2395	2314	2314
Araçtaki yolcu sayısı	-	142	149	181	194	238	242	285	300	332	348	375	399	386	386
Hesaplanacak iniş yüzdesi	0	1	2,6	4,5	2,8	1,5	5,7	1,6	2,5	7,8	16,4	8,2	6	6,2	2,5

İstasyonlar	Emek	Korupark	K.Sanayi	Hamitler	Esentepe	İhsaniye	Karaman	Acemler	P. Çiftliği	Sırameşeler	Kültürpark
Gidiş yüzdesi	100,00%	99,82%	99,02%	92,54%	87,53%	80,61%	77,41%	45,65%	45,08%	43,40%	35,51%
Toplam Yolcu Sayısı	512	413	353	269	403	285	342	713	140	329	115
Gidiş Yolcu Sayısı	512	412	349	249	353	230	265	325	63	143	41
İniş Yüzdesi	0	3	25	19,9	33,3	29,9	32,5	29,2	65,7	36,7	31,7
Çıkış	0	357	460	209	410	168	338	535	420	258	120
İnen yolcu sayısı	0	11	115	42	136	50	110	156	276	95	38
Saatlik yolcu sayısı	-	512	913	1147	1355	1571	1751	1906	2075	1862	1910
Araçtaki yolcu sayısı	-	85	152	191	226	262	292	318	346	310	318
Hesaplanacak iniş yüzdesi	0	2,1	12,6	3,6	10,1	3,2	6,3	8,2	13,3	5,1	2

Çizelge 5.4'e göre; ilk olarak saatlik bazda istasyonlara gelen yolcu sayıları yönsel dağılım oranları ile çarpıldı. İkinci olarak da istasyonda toplam incek yolcu sayısı (Bursaray'dan temin edilen) Çizelge 5.3'te gösterilen istikamete göre belirlenen iniş yüzdeleri ile çarpılarak incek olan yolcu sayıları bulundu. Böylece incek olan yolcu sayısının istasyona gelen aracın içindeki yolcu sayısına oranı o istasyonda inmesi gereken yolcu oranını vermektedir.

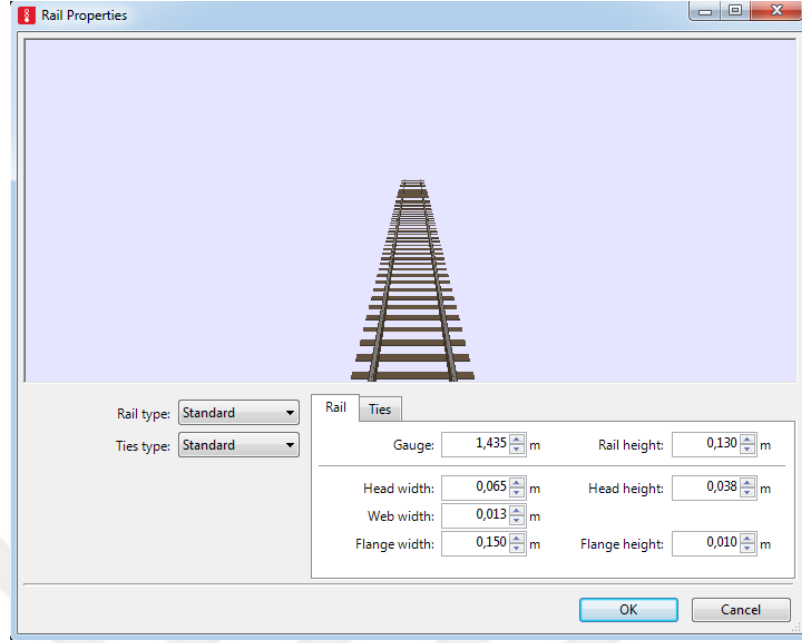
Üniversite'den ve Emek'ten gelen araçlar Acemler ve Paşaçiftliği istasyonunda aktarma yapmaktadırlar. Bu nedenle çalışmada sadece Paşaçiftliği istasyonuna Bursaray'ın yapmış olduğu anket çalışmasından yüzdesel olarak yolcu sayıları çıkış olarak eklenmiştir. Ayrıca Kültürpark istasyonundan Üniversite ve Emek istasyonuna giden hatlar yeterli veri olmadığından dolayı hesaba katılmamıştır.

5.2. Simülasyon Ağ Modelinin Hazırlanması

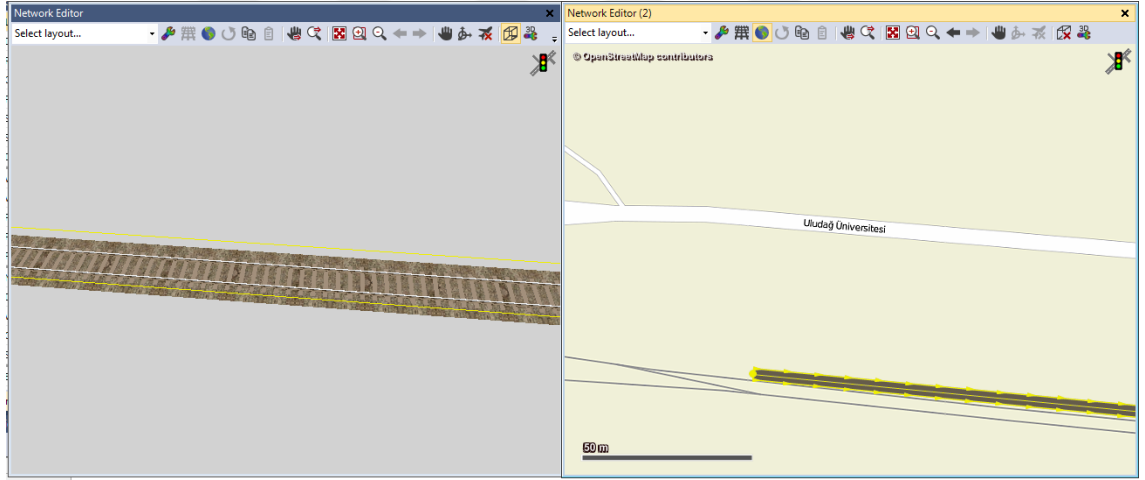
Toplu ulaşım modeli VISSIM programı ile oluşturulmuştur. Toplu ulaşım için bir ağ modeli; yollar, bağlantılar, toplu ulaşım durakları ve toplu ulaşım araçlarından oluşur. Tüm bu işlemler alt bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

5.2.1 Hattın oluşturulması

VISSIM programında girdi verileri; yol geometrisi, araç tipleri ve kompozisyonları ve istenen hız hakkında bazı belirli detaylar gerektirmektedir. Bu sebeple, çizilecek olan yolun şerit sayısı, şeritlerin genişliği, yolun topoğrafyasına göre verilecek boyuna eğim, kot farklarını, yolun hangi tip trafiğe açık olacağı ve benzeri özelliklerin belirtilmesi gerekmektedir. Benzer şekilde raylı ulaşım sistemleri için; rayın yükseklik ve genişliği, traverslerin birbirlerine olan uzaklığı, boyu, kalınlığı vb. teknik özellikler link sekmesinden ayarlanmalıdır. Şekil 5.10'da simülasyonda kullanılacak ray sisteminin tanımlandığı menü görülmektedir. Şekil 5.11'de ise elde edilen hattın 2 boyutlu ve 3 boyutlu görüntüsü verilmiştir.



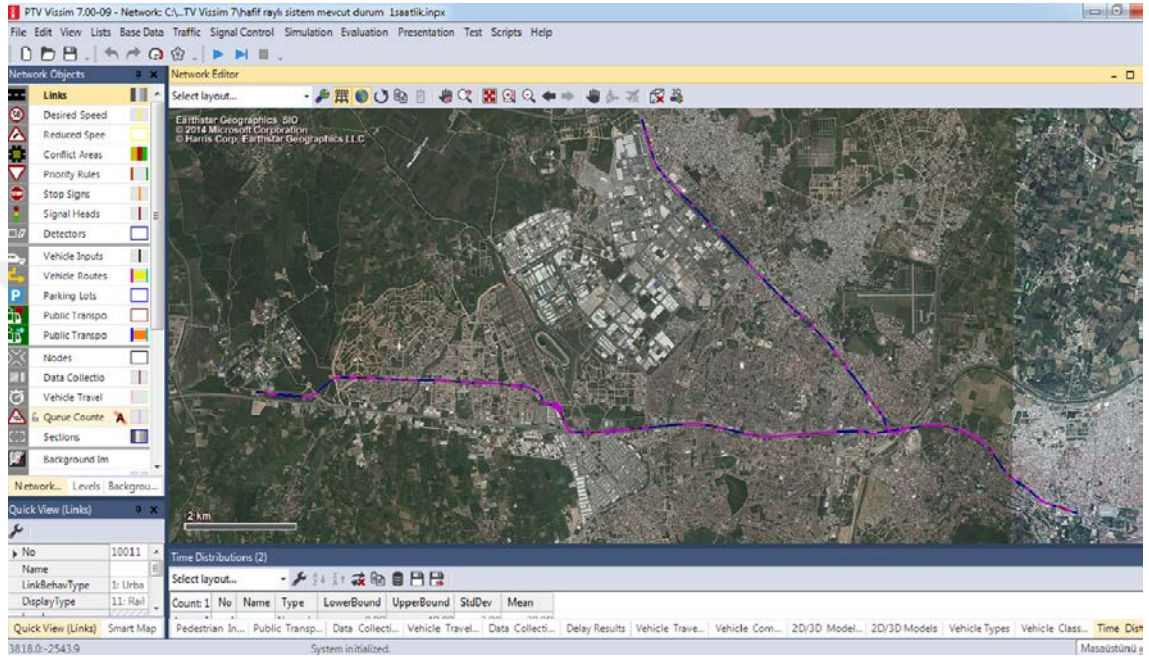
Şekil 5.10. Raylı hattın tanımlanması



Şekil 5.11. Tanımlanan hattın 2B ve 3B görünümü

Böylelikle, Üniversite, Emek ve Kültürpark istasyonları arasındaki güzergâh, link sekmesinden çizilen yollar ve bağlantı noktaları ile çizilen kurplarla tanımlanmıştır. Yalnız güzergâhta yolların boyuna eğimi maksimum %5'tir, fakat boyuna eğim ve karp yarıçapları ile ilgili gerçek veriler temin edilemediğinden, hat tamamen düz (%0 eğimli) kabul edilmiştir. Karp yarıçapları ise uydu haritaların üzerinden gidilerek belirlenmiştir. Fakat kurplarda dever (enine eğim) dikkate alınamamıştır. Şekil 5.12'de VISSIM programı arayüzünde istasyonlar arası belirlenen güzergah gösterilmiştir.

Çalışmada kapasite karşılaştırması yapılacak metrobüs hattı da mevcut HRS hattının üzerinden geçirilmiştir. Öncelikle belirtmek gerekirse bu kabule göre hattın D-200 devlet yolu üzerinde yer altından geçen kısımları, metrobüs hattı olarak tasarlanması durumunda da yer altında olacağı kabul edilmiştir. Zira HRS hattı güzergâh boyunca ekseriyetle zemin üzerinden gitmesine rağmen bazı durumlarda yer altından devam etmektedir.



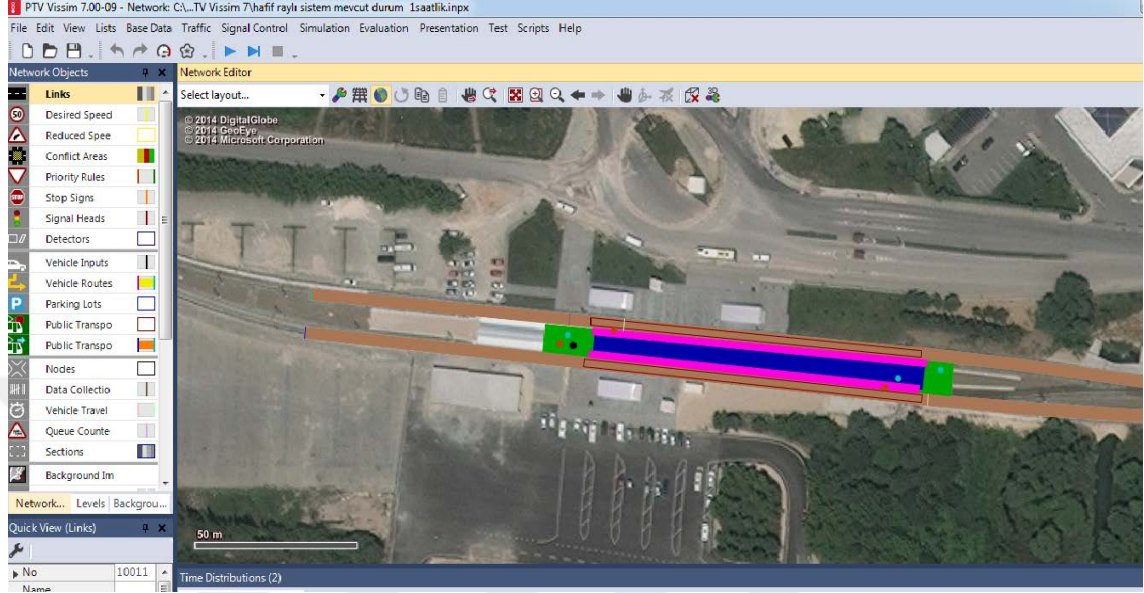
Şekil 5.12. VISSIM programında mevcut hat üzerinden çizilen yollar

5.2.2. İstasyonların Modellenmesi

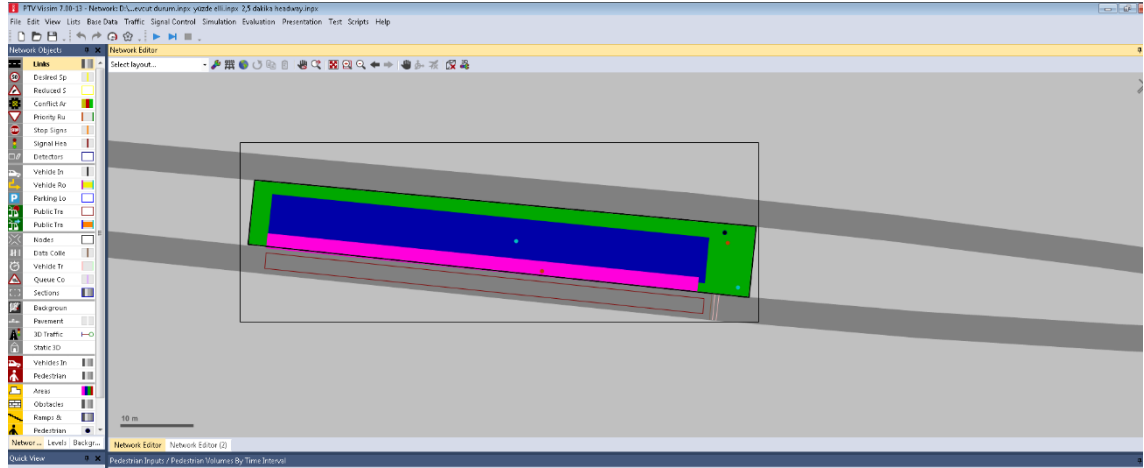
Hatların tanımlanmasından sonra, geçilen güzergâh üzerinde istasyonlar yerleştirilmiştir. Toplu ulaşım durakları veya istasyonları; duraklar, yolcuların aracı bekleme yerleri olan bekleme alanları (platformlar) ve yolcuların araçtan inmelerini sağlayacak platform kenarları gibi fiziksel mekânlardan oluşmaktadır. Daha sonra, toplu taşıma durağını kullanacak yayaların ağı dâhil oldukları yaya girdileri ve duraklara ulaşmaları için yolcu rotaları tayin edilmelidir.

Mevcut HRS hattının platform boyları 120 m olduğundan programa 120 m uzunluğunda platform boyları girilmiştir. Metrobüs istasyonlarının platform boyları ise araç uzunluğuna yakın kabul edilmiş ve 30 m olarak programa girilmiştir. Her istasyon için

'Area' sekmesinden yayaların ağı dâhil olacakları alanlar, 'Waiting area' alt sekmesinden yolcu bekleme alanları tanımlandı (Şekil 5.13). Şekil 5.13 ve 5.14'te sırasıyla modellenen mevcut HRS hattı istasyonu ve metrobüs istasyonu gösterilmektedir.



Şekil 5.13. HRS istasyonu; bekleme alanı (mavi alan), platform kenarları (pembe alanlar), yolcuların ağı giriş yeri (siyah nokta), rotalar (mavi noktalar) ve 120 m uzunluğundaki duraklar



Şekil 5.14. Metrobüs istasyonu; bekleme alanı (mavi alan), platform kenarları (pembe alanlar), yolcuların ağı giriş yeri (siyah nokta), rotalar (mavi noktalar) ve 30 m uzunluğundaki duraklar

5.2.3. Yolcu Girdileri

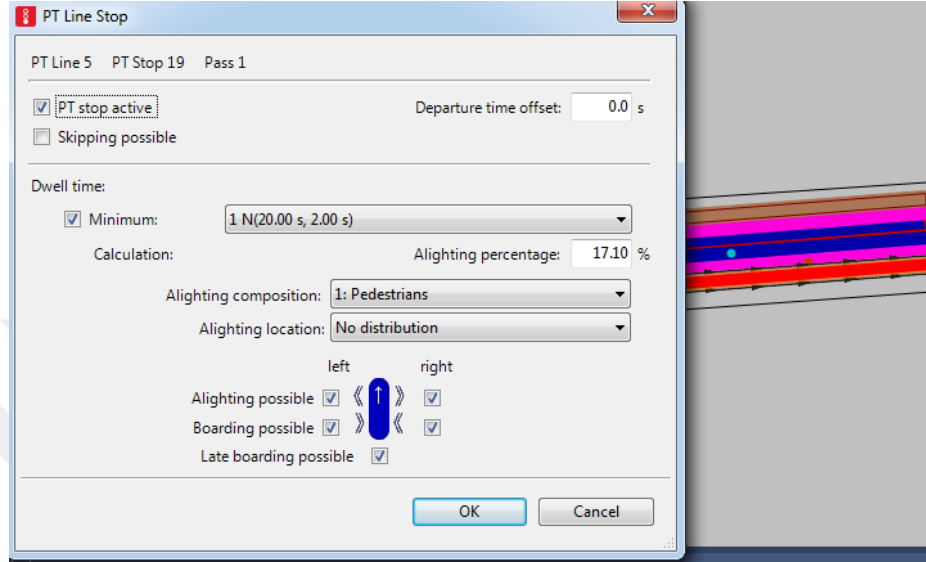
Bursaray'dan elde edilen veriler Kültürpark istikametinden gelen araçlar ile ilgili yeterince bilgi içermediğinden hatlar sadece tek yönlü gidiş olarak dikkate alınabilmektedir. Burada en önemli husus her istasyon için tahsis edilen yolcu verileri aynı zaman diliminde kullanılmamasıdır. Eğer yolcu girdileri aynı zaman diliminde kullanılırsa, araçlar ilgili istasyona varıncaya kadar, yolcuların istasyonlarda bekleme zamanları yarım saate kadar çıkabilecektir. Bu durum gerçeği yansıtmayacaktır. Bu durumda ilk olarak modelin simülasyon süresinin ne kadar sürmesi gerektiğine dair bir zaman çizelgesi oluşturulmuştur. Böylelikle, istasyonlara gelecek yolcuların bu sürenin hangi aralıklarında ağa dâhil olmaları gerektiği belirlenmiştir. Buna göre 'Pedestrian Input' sekmesinden, istasyonlar bazında ağa dâhil olacak yolcuların zamansal olarak ayrımları 'Time Interval' bölümü ile belirlenmiştir. Böylece Bursa HRS hattında uygulandığı trafiğe uygun yaklaşık 10'ar dakikalık bir bekleme süresi oluşturacak şekilde yayalar simülasyona dâhil edilmiştir. Şekil 5.15'te bu durumu dikkate alarak hazırlanan yolcu sayılarının istasyonlara dağılımı ve zamana göre tahsis edilmesi gösterilmiştir.

Örneğin; Ertuğrul istasyonunda 480. saniyeden itibaren yolcular istasyona dâhil olmaya başlayacaklar ve 1 saat sürecek olan simülasyon için 4080. saniyeye kadar yolcular ağa girmeye devam edecektir. Çünkü simülasyon programı başlatıldığında ilk araç Ertuğrul istasyonuna vardığı zaman yaklaşık 6-7 dakika kadar bir zaman geçecektir. Ayrıca 10 dakika kadarda Üniversite istasyonunda bekleyeceğinden simülasyonun başlamasından 16-17 dakika olduğundan simülasyonun başlamasından yaklaşık 16, 17 dakika sonra Ertuğrul istasyonuna varacaktır. Bu nedenle simülasyonun başlamasından sonra yolcular için 10 dakika kadar platformlarda bekleme zamanı tanımlanmıştır. Böylece 480. saniyede yolcular istasyona dâhil olacak ve aracı bekleyeceklerdir.

Pedestrian Inputs / Pedestrian Volumes By Time Interval																		
Select layout... Pedestrian volume																		
Count	No	Name	Area	Volume	Volume	PedCon	Volume(240)	Volume(360)	Volume(480)	Volume(600)	Volume(720)	Volume(840)	Count: 59	Cont	TimeInt	Volume	PedComp	VolType
1	1 (%50) 2	10: Üniversite		899,0	899,0	1: Pedes	899,0	899,0	899,0	899,0	899,0	899,0	1	<input type="checkbox"/>	0-120	899,0	1: Pedestri	Stochasti
2	2 (%50) 2	99: Batkent		0,0	81,0	1: Pedes	81,0	81,0	81,0	81,0	81,0	81,0	2	<input checked="" type="checkbox"/>	120-240	899,0	1: Pedestri	Stochasti
3	3 (%50) 2	101: Yüzüncü		0,0	0,0	1: Pedes	328,0	328,0	328,0	328,0	328,0	328,0	3	<input checked="" type="checkbox"/>	240-300	899,0	1: Pedestri	Stochasti
4	4 (%50) 2	106: Özlüce		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	254,0	254,0	254,0	254,0	254,0	4	<input checked="" type="checkbox"/>	300-360	899,0	1: Pedestri	Stochasti
5	5 (%50) 2	109: Ertuğrul		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	0,0	356,0	356,0	356,0	356,0	5	<input checked="" type="checkbox"/>	360-480	899,0	1: Pedestri	Stochasti
6	6 (%50) 2	112: Altınşehir		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	0,0	0,0	168,0	168,0	168,0	6	<input checked="" type="checkbox"/>	480-600	899,0	1: Pedestri	Stochasti
7	7 (%50) 2	115: Küçük Sa		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	0,0	0,0	0,0	1376,0	1376,0	7	<input checked="" type="checkbox"/>	600-660	899,0	1: Pedestri	Stochasti
8	8 (%50) 2	118: Ataevler		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	400,0	8	<input checked="" type="checkbox"/>	660-720	899,0	1: Pedestri	Stochasti
9	9 (%50) 2	121: Beşevler		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9	<input checked="" type="checkbox"/>	720-840	899,0	1: Pedestri	Stochasti
10	10 (%50) 2	124: Fatih Sult		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	840-900	899,0	1: Pedestri	Stochasti
11	11 (%50) 2	127: Nilüfer		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11	<input checked="" type="checkbox"/>	900-960	899,0	1: Pedestri	Stochasti
12	12 (%50) 2	130: Acemler		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12	<input checked="" type="checkbox"/>	960-1020	899,0	1: Pedestri	Stochasti
13	13 (%50) 2	137: Paşa çiftli		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13	<input checked="" type="checkbox"/>	1020-1080	899,0	1: Pedestri	Stochasti
14	14 (%50) 2	141: Sırameşel		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14	<input checked="" type="checkbox"/>	1080-1140	899,0	1: Pedestri	Stochasti
15	15 (%50) 2	146: Kültürpar		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15	<input checked="" type="checkbox"/>	1140-1200	899,0	1: Pedestri	Stochasti
16	16 (%50) 2	175: Karaman		0,0	0,0	1: Pedes	0,0	402,0	402,0	402,0	402,0	402,0	16	<input checked="" type="checkbox"/>	1200-1320	899,0	1: Pedestri	Stochasti
17	17 (%50) 2	171: İhsaniye		0,0	0,0	1: Pedes	322,0	322,0	322,0	322,0	322,0	322,0	17	<input checked="" type="checkbox"/>	1320-1440	899,0	1: Pedestri	Stochasti
18	18 (%50) 2	169: Bağlarbaş		0,0	523,0	1: Pedes	523,0	523,0	523,0	523,0	523,0	523,0	18	<input checked="" type="checkbox"/>	1440-1500	899,0	1: Pedestri	Stochasti
19	19 (%50) 2	165: Hamitler/		422,0	422,0	1: Pedes	422,0	422,0	422,0	422,0	422,0	422,0	19	<input checked="" type="checkbox"/>	1500-1560	899,0	1: Pedestri	Stochasti
20	20 (%50) 2	162: Organize		396,0	396,0	1: Pedes	396,0	396,0	396,0	396,0	396,0	396,0	20	<input checked="" type="checkbox"/>	1560-1680	899,0	1: Pedestri	Stochasti
21	21 (%50) 2	158: Korupark		728,0	728,0	1: Pedes	728,0	728,0	728,0	728,0	728,0	728,0	21	<input checked="" type="checkbox"/>	1680-1800	899,0	1: Pedestri	Stochasti
22	22 (%50) 2	155: Emek		936,0	936,0	1: Pedes	936,0	936,0	936,0	936,0	936,0	936,0	22	<input checked="" type="checkbox"/>	1800-1920	899,0	1: Pedestri	Stochasti
													23	<input checked="" type="checkbox"/>	1920-2040	899,0	1: Pedestri	Stochasti
													24	<input checked="" type="checkbox"/>	2040-2100	899,0	1: Pedestri	Stochasti

Şekil 5.15. Simülasyon için yolcu girişleri ve zaman çizelgesi

Yolcu iniş verileri ise, yani toplu taşıma aracından incek olan yolcuların yüzdesi daha önceden düzenlenmişti (bkz. Bölüm 5.1.2). Her bir durak için yüzdesel dilimler, şekil 5.16’da görüldüğü gibi toplu taşıma durağının özelliklerini gösteren ‘PT Line Stop’ sekmesinde ‘Alighting percentage’ kısmında tanımlanmıştır.



Şekil 5.16. İnen yolcu oranlarının VISSIM’e girilmesi

Programda yolcuların ağa dahil olması ampirik dağılım olarak ta ayarlanabilir. Herhangi bir değişiklik yapılmadığı takdirde yolcular için program Poisson dağılımını kullanır. Buna göre Poisson dağılımı formülü;

$$P(x) = \frac{\lambda^x * e^{-\lambda}}{x!} \quad 4.1$$

Burada;

λ = Birim zamanda gerçekleşen ortalama olay sayısı

x = Poisson dağılımına sahip rassal bir değişken (olayın ortaya çıkma sayısı)

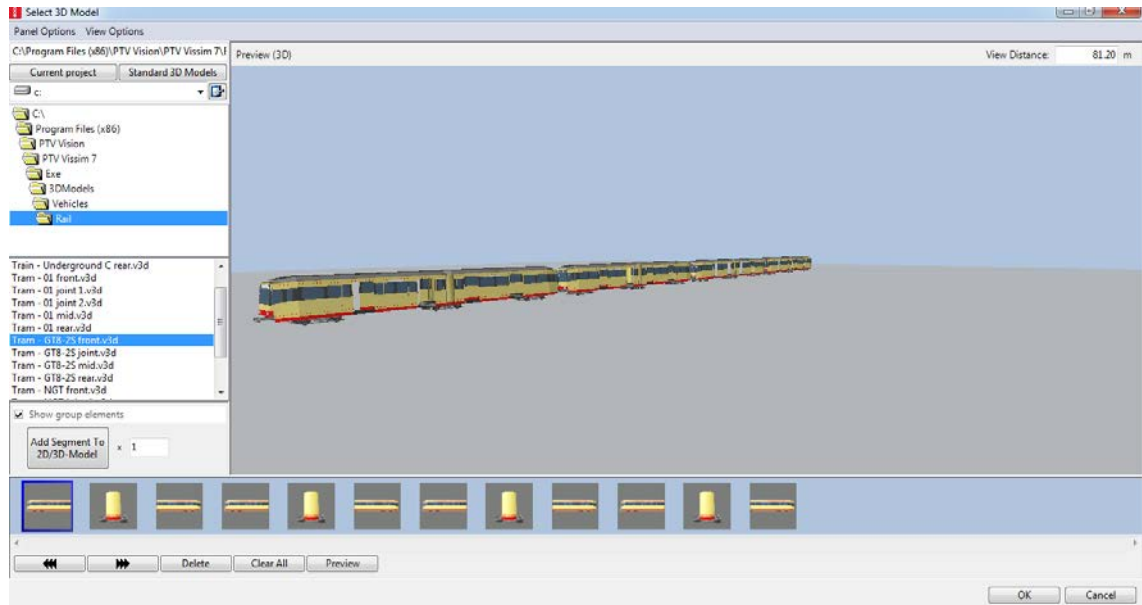
e = Euler sayısı (yaklaşık değeri=2,718...)

Poisson bir olayın belirli bir zamanda gerçekleşme sayısını modellemede kullanıldığı için VISSIM programında yayaların modellenmesi Poisson dağılımına göre yapılabilir. Buna göre VISSIM programı belirli bir zaman aralığında ortalama olay sayısına göre

simülasyona dâhil olacak yolcular için olasılıklar belirler. Örneğin; Bir saatte bir istasyona 3600 yolcu gelsin ve program saniyede 10 simülasyon adımı yapsın. Bu 10 simülasyon saniyesinde 1 yolcunun simülasyona dâhil olacağı anlamına gelir. Yani birim zamanda ortalama olay sayısı (λ) 0,1 olacaktır. Eğer 1 saniyede olayın ortaya çıkma sayısı $x=0$ olursa, yani ağa hiçbir yolcu atanmama durumu %90,4 olacaktır, $x=1$ için %9,04 ihtimal ile 1 yolcu ağa dahil olacaktır, $x=2$ için %0,45 oranında ağa 2 yolcu dâhil olacaktır.

5.2.4. Toplu Ulaşım Araçlarının Modellenmesi

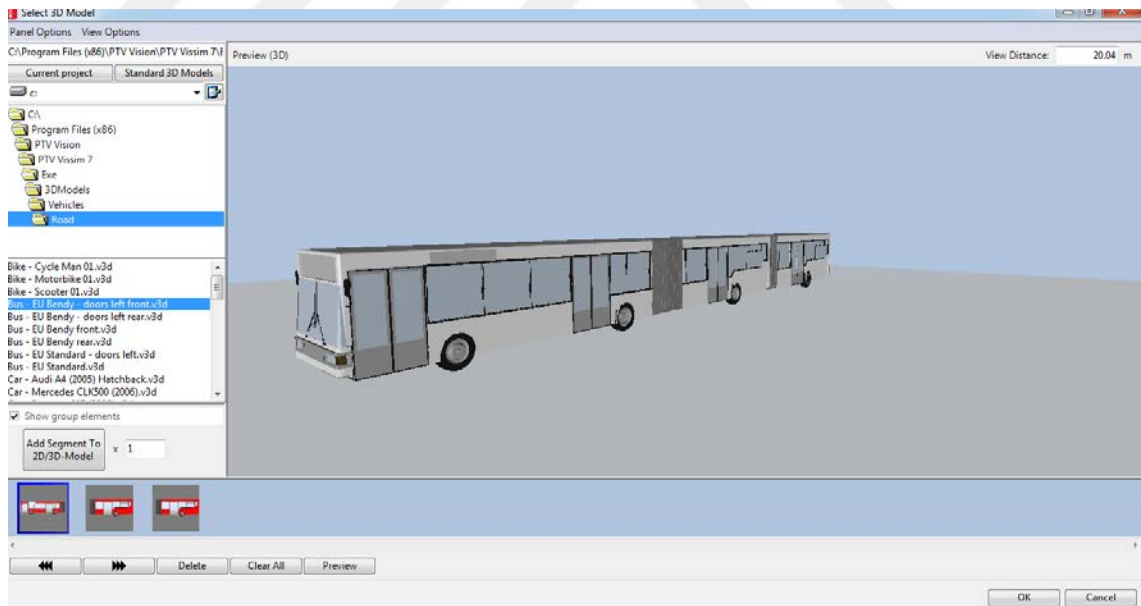
Toplu ulaşım araçlarının teknik özelliklerin gerçekçi belirlemek sistemin gerçek performansını elde etmek için daha önce belirlenmiş yolların teknik özelliklerini gerçekçi belirlemek kadar önemlidir. Bu nedenle simülasyonu oluşturulan ağ için bu ağı kullanacak araçların da uygun şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada HRS için mevcut çalışan araçlar ve metrobüs için ise İstanbul metrobüs hattında işletilen Phileas modelli araçların teknik ve kapasite özellikleri dikkate alınarak uyarlanmıştır. Bunun için '2D\3D model' sekmesinden uygun tramvay tipi araç seçilerek istenilen teknik özellikler araçlara girilmiştir. Şekil 5.17'da HRS hattı için modellenen bir aracın 3 boyutlu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.17. HRS aracının 3B görüntüsü

Program standart bir araç tipi belirlediği için aracın boyutları mevcut olan tren ile uyumlu değildir. Fakat burada önemli olan, aracın gerçeği yansıtacak kapasitesi ve yolcuların kişi başına iniş ve binış süreleri olduğundan programda bunlar dikkate alınarak '2D\3D model' sekmesinden uygun araç tipi belirlenmiştir. VISSIM'de tanımlı aracın uzunluğu 111,08 m ve genişliği 2,69 m'dir. Araçların kapasitesinin m² başına 8 kişi olacağı düşünülürse, bir araç normalde 287 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla 4 araçlı bir tren dizisinin taşıma kapasitesi 1148 yolcu olarak belirlenmiştir.

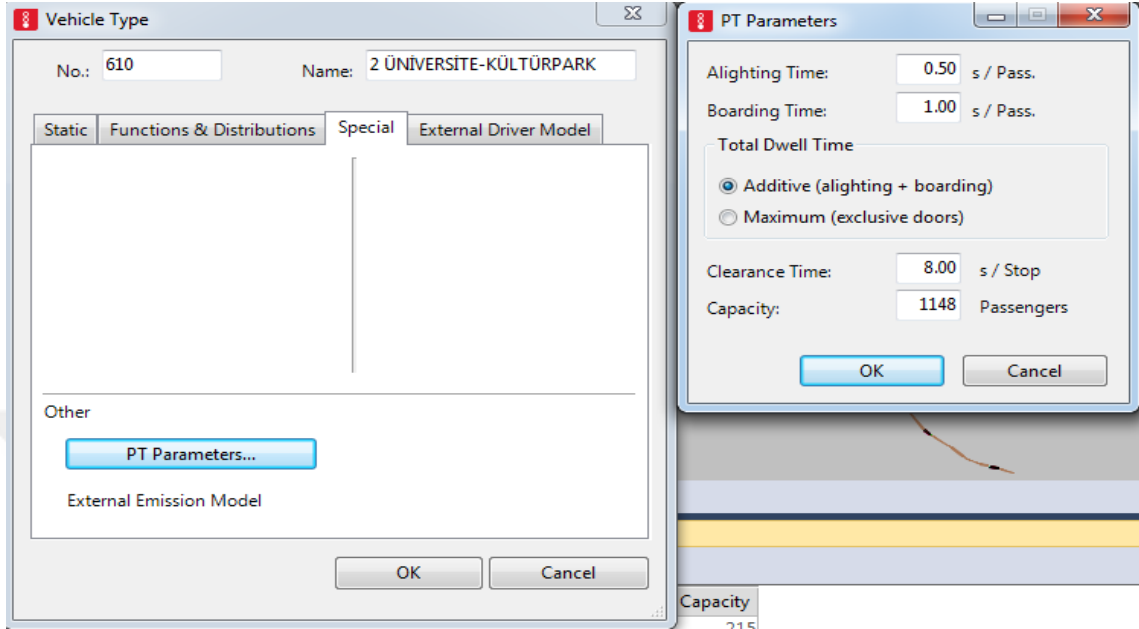
VISSIM programında HRS araç için belirlenen standart bir araç tipine benzer şekilde, metrobüs araçları içinde standart bir araç belirlenmelidir. Yani boyutlar her ne kadar gerçeğiyle birebir uyumlu olmasa da kapasite ve teknik özellikleri açısından gerçeğe uygun olarak tanımlanmalıdır. Bu doğrultuda İETT (İstanbul Elektrikli Tramvay ve Tünel İşletmeleri)'den alınan verilere göre tanımlanan Phileas Metrobüs aracının uzunluğu 26,035 m ve genişliği 2,54 m'dir. Aracın yolcu kapasiteside normal şartlarda 230'dür. Şekil 5.18'de tanımlanan metrobüs aracının 3 boyutlu bir görünümü verilmiştir.



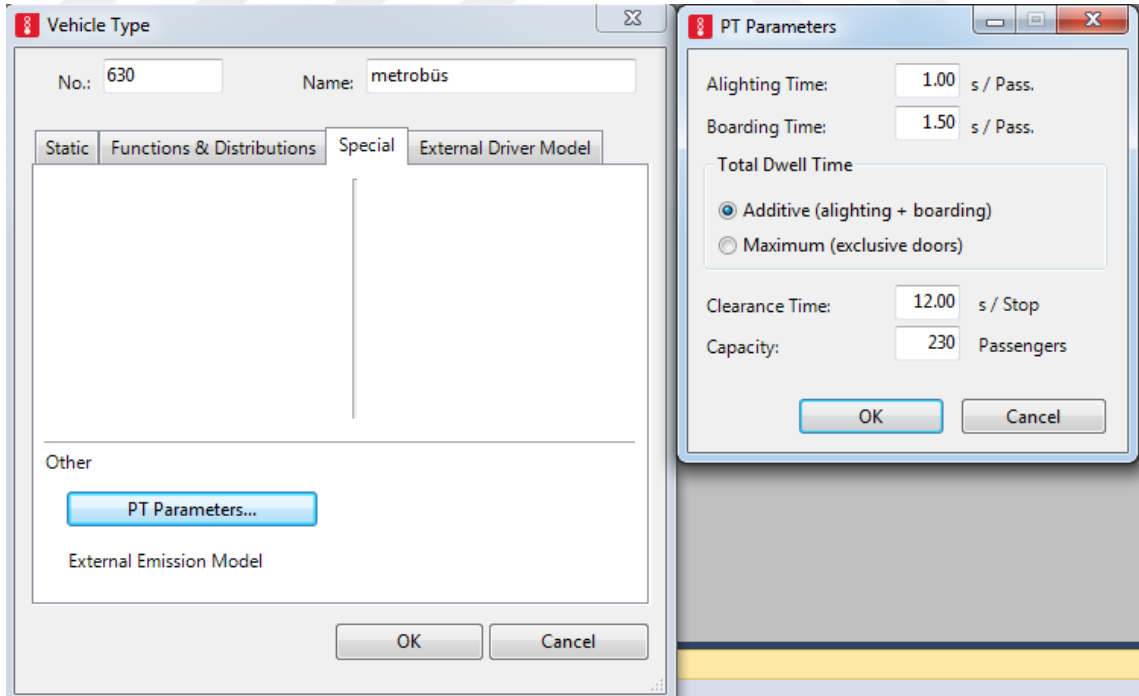
Şekil 5.18. Metrobüs aracının 3B görüntüsü

Şekil 5.19 ve 5.20'de görüldüğü üzere programda araçların hızlanma ve yavaşlama ivmeleri gibi teknik özellikleri ile araçların durağa gelip kapıların açılıp kapanması ve

tekrar harekete geçeceği süreyi kapsayan zaman süresi, yolcular için saniye cinsinden iniş ve biniş süreleri ve en önemlisi aracın kapasitesi tanımlanmalıdır.



Şekil 5.19. HRS aracının teknik özellikleri



Şekil 5.20. Metrobüs aracının teknik özellikleri

Yolcu başına binış ve iniş süreleri vb. gerçek veriler elimizde mevcut olmadığından VISSIM programında, HRS için yolcu başına binış süresi 1 saniye ve iniş süresi 0,5 saniye ve duraklarda araçlar için tanımlanan en fazla bekleme süresini veren rötör değeri ise 8 saniye olarak tanımlanmıştır. Metrobüs araçlarında iniş ve bini süreleri HRS ile aynı kabul edilip sadece rötör değeri 12 saniye olarak tanımlanmıştır.

5.2.5. Hız ve Sefer Aralıklarının Belirlenmesi

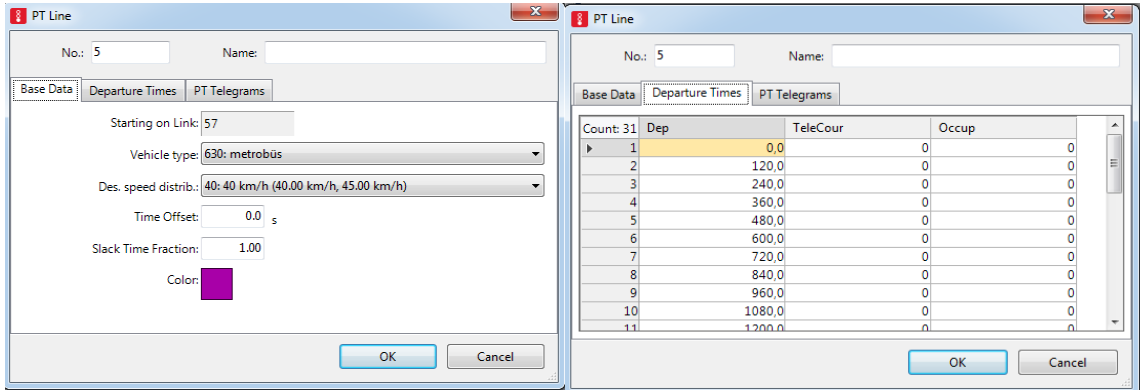
Yapılan modelin mevcut durumu yansıtacak gerçeklikte olması açısından uygun işletme hızı ve sefer aralıklarının tanımlanması önemlidir. Şekil 5.21’de görüldüğü gibi HRS hattının Üniversite-Kültürpark ve Emek-Kültürpark hatlarında sefer aralıkları mevcut sistemde olduğu gibi 10’ar dakikalık zaman aralıklarına uygun olacak şekilde tanımlanmıştır. İşletme hızı ise mevcut teknik özelliklerine uygun olacak şekilde 40 km/saat olarak tanımlanmıştır.

Count	Dep	TeleCour	Occup
1	300,0	0	0
2	900,0	0	0
3	1500,0	0	0
4	2100,0	0	0
5	2700,0	0	0
6	3300,0	0	0

Şekil 5.21. HRS hattında hız ve sefer aralıklarının belirlenmesi

Mevcut haliyle Üniversite-Kültürpark ve Emek-Kültürpark güzergâhında çalışan araçlar simülasyona dâhil olduktan sonra sırasıyla ilk istasyonlar olan Üniversite istasyonunda 10 dakika ve Emek istasyonunda 5 dakika kadar bekledikten sonra harekete geçmektedir. Bunun sebebi, ilk istasyonlarda yolcular daha ağı dahil olmadan araçları hareket ettirmemek ve iki farklı güzergâhın birleşme yeri olan Acemler istasyonunda aynı zaman diliminde araçların çakışmasını engellemektir. Benzer şekilde, İstanbul’da işletilen metrobüsün teknik özelliklerine uygun olacak şekilde metrobüs hattı için sefer aralıkları

3'er dakika ve işletme hızı 40 km/saat olarak tanımlanmıştır. Zira bu iki farklı hat bu noktadan itibaren tek hatta düşmektedir.

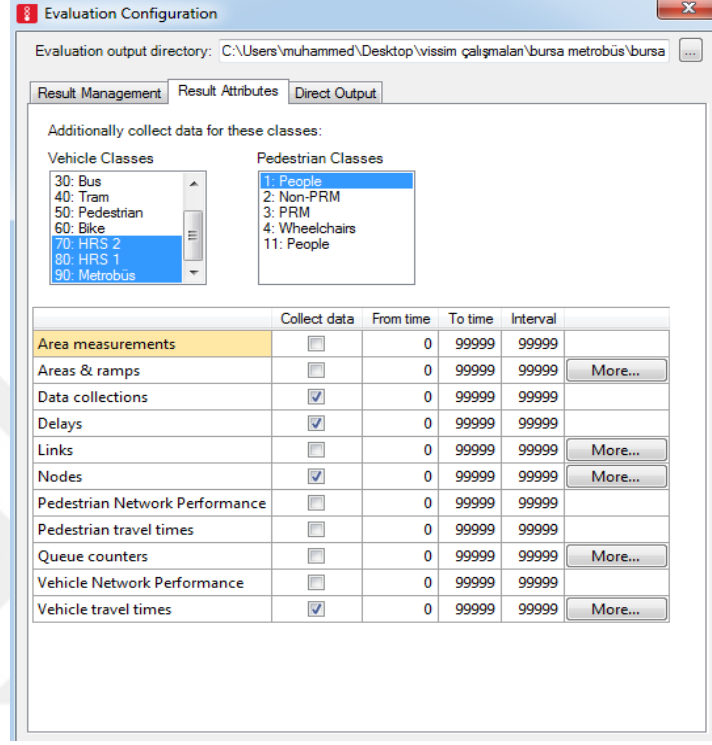


Şekil 5.22. Metrobüs hattının sefer aralıkları (2 dakika) ve hızı

HRS hattı ve metrobüs hattı için gerekli olan bütün işlemler programda tanımlandıktan sonra simülasyondan elde edilecek sonuçlar için ağ üzerinde belli noktalara ölçüm kesitleri konmalıdır. Bunlar; Data collection points, Vehicle travel times ve Nodes parametreleri olarak tanımlanır.

- Data Collection Point (veri toplama noktaları): Taşıtın hızı, ivmesi, taşıttaki kişi sayısı, araç tipi, uzunluğu, kesiti geçme süresi, taşıt gecikmelerini vb. durumları hesaplamak için kullanılır. Bu doğrultuda her durağın sonuna veri toplama noktaları tanımlanmıştır. Böylelikle taşıt duraktan yolcuları aldıktan sonra tekrar hareket ederek bu noktadan geçer ve bu şekilde aracın o andaki belirtilen verileri toplanabilir.
- Vehicle Travel Times (aracın seyahat süresi): İstenen iki nokta arasındaki sefer süresini ölçmek ve taşıt gecikmelerini hesaplamak için kullanılır. Simülasyonda her iki durak arasında, bir durağın sonu ile gelecek durağın başlangıcı arasına kesitler yerleştirilerek tanımlanmıştır.
- Nodes (düğüm noktaları): Belirli bir bölge için ayrı ayrı ölçüm kesitleri konulmasına gerek kalmadan istenen o bölgeyle ilgili tüm verilerin toplanmasına imkân sağlayan, özellikle istasyon bölgelerinde tanımlanması gereken bir parametredir.

Çalışmada her istasyon için bir düğüm noktası tanımlanmıştır. VISSIM programında 'Evaluation' sekmesinden 'Configuration' bölümünden analizi yapılmak istenilen durum için ölçüm değişkenleri tanımlanmıştır (Şekil 5.23). bu çalışmada Vehicle travel times ve Data Collection Points ölçümleri kullanılmıştır.



Şekil 5.23. Değerlendirme değişkenleri

5.3. Simülasyon Süreci

Simülasyonun değişen yapısından dolayı, bir simülasyondan elde edilen ölçümler belirli olasılıksal (rastlantısal) değerlerin bir sonucunu göstermektedir. Özel bir rastlantısal değer çok değişken olabilir. Bu nedenle bir senaryoda, tek bir simülasyon sonucuna bağlı kalmak yanıltıcı olabilir (Siddique ve Khan 2006).

Ağ performansının gerçeğe daha yakınsak sonuçlar verebilmesi ve farklı rastlantısal değerler oluşturmasını sağlamak için, her çalışma 5 kez simüle edilmiştir. Şekil 5.24'te simülasyon parametreleri gösterilmektedir. Bazı simülasyon parametrelerinin tanımları şu şekildedir:

- Period: Simülasyon süresini göstermektedir.
- Random seed: Olasılıksal değerleri elde etmek için kullanılan bir parametredir.
- Random seed increment: Herbir simülasyon için seed değerinin artım miktarıdır.
- Simulation resolution: Bir simülasyon saniyesinde hangi sıklıkla taşıt pozisyonlarının tekrar hesap edildiğini göstermektedir.
- Simulation speed: Gerçek zaman saniyesi başına simülasyon saniyesini belirtmektedir.

Bu çalışmada her ağ modeli için 1 saatlik simülasyon analizi yapılmış olup, her ağın simülasyon süreleri 5500 saniye olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni 3600. saniye sonunda ağa dâhil olan aracın ağdan çıkana kadar beklenilmesidir. Şekil 5.25, 5.26, 5.27’de yapılan simülasyon çalışmasının bazı görüntüleri verilmiştir. Uzun beyaz şerit treni ve renkli noktalar yolcuları göstermektedir.

Simulation Parameters

Comment:

Period: Simulation seconds

Start Time: [hh:mm:ss]

Start Date: [DD.MM.YYYY]

Simulation resolution: Time step(s) / Sim. sec.

Random Seed:

Number of runs:

Random seed increment:

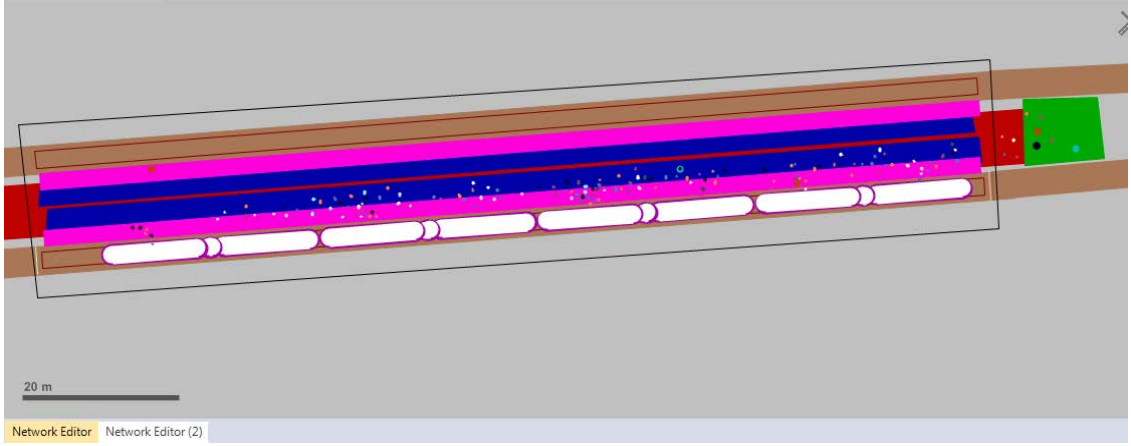
Simulation speed: 1000.0 Sim. sec. / s
 maximum
 Retrospective synchronization

Break at: Simulation seconds

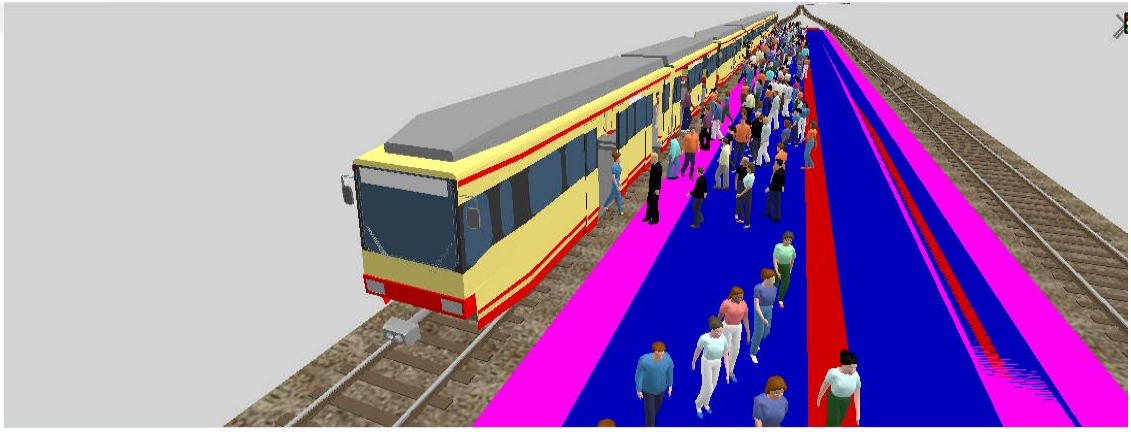
Number of cores:

OK Cancel

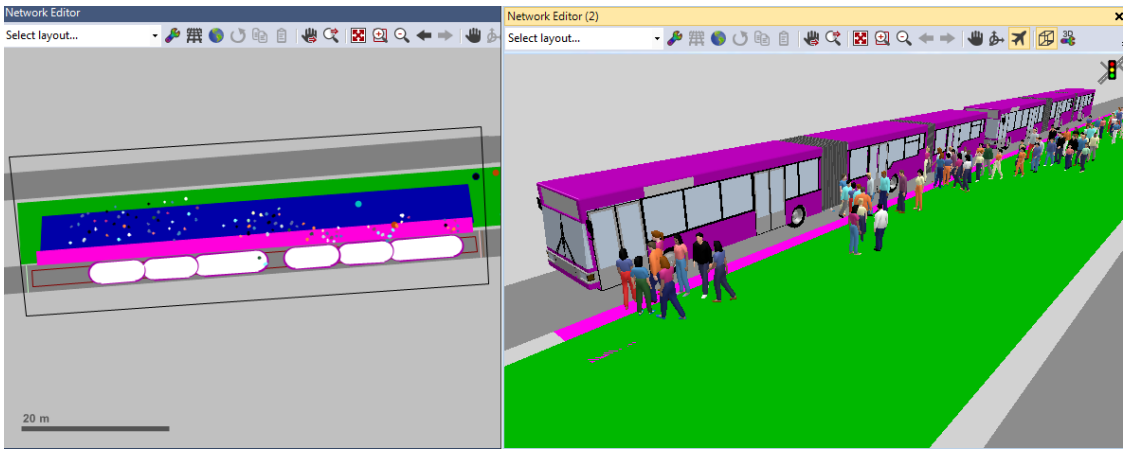
Şekil 5.24. Simülasyon parametrelerinin ayarlanması



Şekil 5.25. Bir HRS aracının istasyondaki görüntüsü (Nilüfer İstasyonu)



Şekil 5.26. HRS hattı ve aracının 3B görüntüsü (Nilüfer İstasyonu)



Şekil 5.27. Metrobüs hattının 3B görüntüsü (Nilüfer İstasyonu)

5.3.1. Simülasyonun Geçerliliği

Kalibrasyon simülasyona girilen parametre değerleri ve ölçülen ve değerlendirilen sonuçlar ile mevcut durumun birbirini tam olarak yansıtabilmesi durumudur (Yu ve ark. 2006). VISSIM’de yapılan herhangi bir modelin, doğru bir şekilde çalışma alanını temsil ettiğinin bilinmesi için kalibrasyon edilmelidir.

Bu çalışmada, simülasyon sonuçlarını kalibre edecek veriler olmadığından, sadece modelin geçerliliği kontrol edilebilmiştir. Bu amaçla istasyonlar arasında seyreden araçların içindeki yolcu sayılarına göre geçerliliği test edilmiştir. Çizelge 5.5’te örnek olarak bir HRS aracının içindeki yolcu miktarının hesaplanması verilmiştir. Doğal olarak, araç istasyona geldiğinde istasyonun indirme yüzdesine göre içindeki yolcuyu bırakmakta ve aynı istasyondan binen yolcuları içine alarak harekete geçmektedir. Data collection point noktasından geçtiği zaman aracın içindeki yolcu miktarı hesaplanabilmektedir. Bu nedenle daha öncede bahsedildiği üzere her istasyonun sonuna bu veri toplama noktaları konulmuştur.

Çizelge 5.5’te görüldüğü gibi, K. Sanayi istasyonundan 1 saatte ortalama olarak 1376 yolcunun araca bineceği ve aracın K. Sanayi istasyonuna gelirken içindeki yolcu miktarının %5,7’sini indireceği ve istasyondan ayrılırken ortalama olarak aracın içinde yaklaşık 532 yolcu bulunacağını göstermektedir.

Çizelge 5.6’ da 2015 yılının Mayıs ayına ait Pazartesi, Perşembe ve Cuma günlerinin zirve saatinde (18:00-19:00) mevcut HRS hattının istasyonlar bazındaki yolcu sayıları ile VISSIM ağında modellenen HRS ve metrobüs hatlarının %85’lik ve %50’lik değerlerinin sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlar her model 5 kez simüle edilen durumun sonuçlarının ortalamalarını göstermektedir.

Çizelge 5.5. Araç içindeki yolcu sayılarının hesaplanması

İstasyonlar	Üniversite	Batkent	Yüzüncüyıl	Özlüce	Ertuğrul	Altınşehir	K.Sanayi	Ataevler	Beşevler	FSM	Nilüfer	Acemler	P.Çiftliği	Sırameşeler	Kültürpark
Gidiş yüzdesi	100,00%	81,09%	85,26%	83,11%	88,97%	92,39%	86,35%	78,06%	78,62%	76,07%	75,56%	45,65%	45,08%	43,40%	35,51%
Toplam Yolcu Sayısı	899	100	385	306	400	182	1594	511	443	656	1269	925	241	326	272
Gidiş Yolcu Sayısı	899	81	328	254	356	168	1376	399	349	499	959	422	109	142	97
İnen yolcu yüzdesi	0	1	2,6	4,5	2,8	1,5	5,7	1,6	2,5	7,8	16,4	8,2	6	6,2	2,5
İnen yolcu sayısı	0	9	25	57	41	27	110	51	89	297	657	351	263	260	101
Data point	899	971	1274	1471	1786	1927	3192	3540	3800	4002	4304	4375	4221	4103	4099
Araç içindeki yolcu sayısı	150	162	212	245	298	321	532	590	633	667	717	729	704	684	683

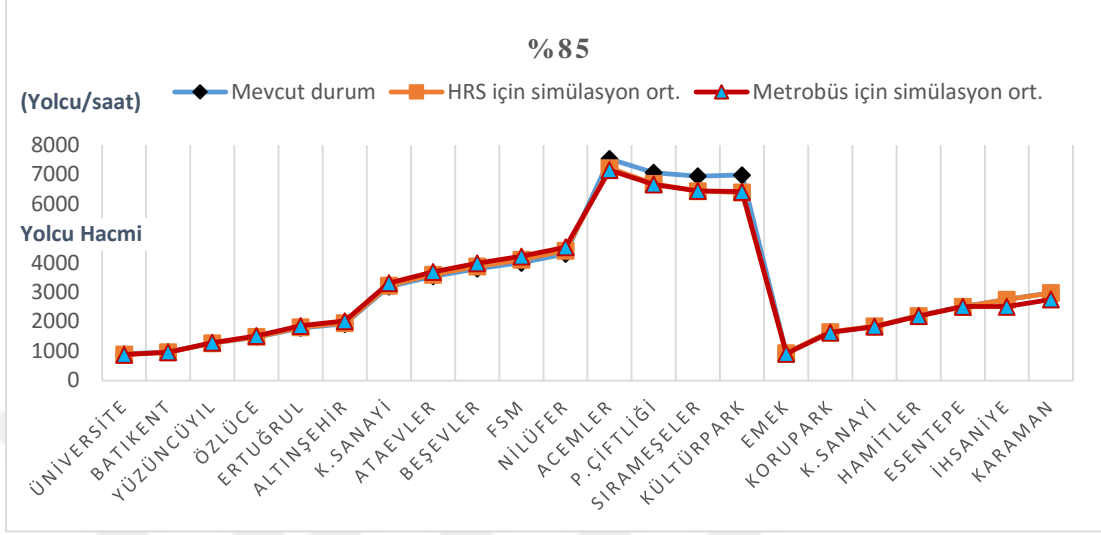
İstasyonlar	Emek	Korupark	K.Sanayi	Hamitler	Esentepe	İhsaniye	Karaman	Acemler*	P. Çiftliği*	Sırameşeler*	Kültürpark*
Gidiş yüzdesi	100,00%	99,82%	99,02%	92,54%	87,53%	80,61%	77,41%	45,65%	45,08%	43,40%	35,51%
Toplam Yolcu Sayısı	936	729	400	478	598	399	519	925	241	326	272
Gidiş Yolcu Sayısı	936	728	396	442	523	322	402	422	109	142	97
İnen yolcu yüzdesi	0	2,1	12,6	3,6	10,1	3,2	6,3	8,2	13,3	5,1	2
İnen yolcu sayısı	0	20	207	66	222	80	172	244	420	145	56
Data point	936	1644	1833	2209	2510	2751	2981	3159	2847	2844	2884
Araç içindeki yolcu sayısı	156	274	306	368	418	459	497	526	475	474	481

Çizelge 5.6. İstasyona gelen araçlardaki saatlik yolcu sayıları

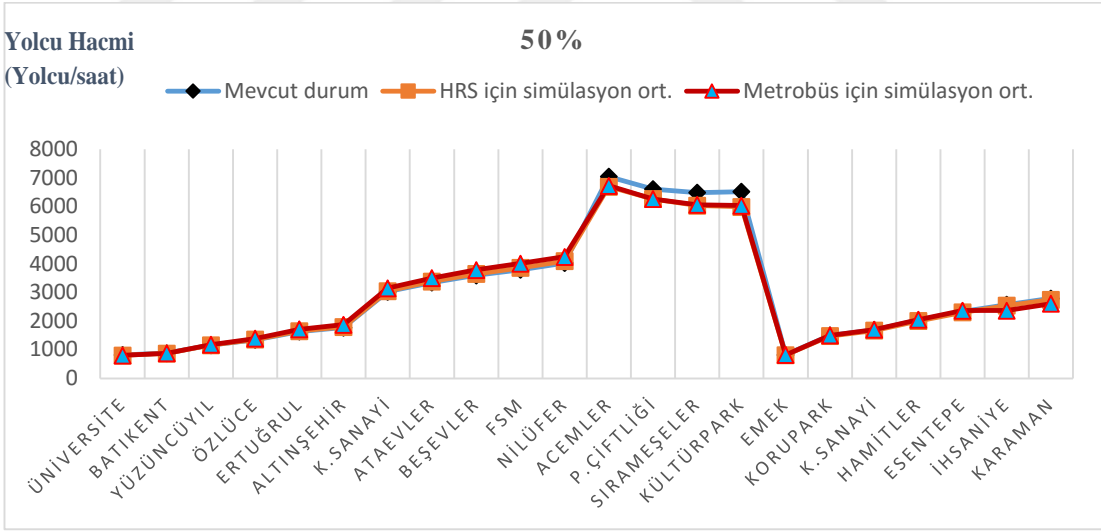
İSTASYONLAR	Mevcut durum	%85 HRS sim. ort.	%85 Metrobüs sim. ort.	%50 HRS sim. ort.	%50 Metrobüs sim. ort.
Üniversite	899	885	880	805	803
Batıkent	971	961	962	868	873
Yüzüncüyl	1274	1272	1289	1161	1180
Özlüce	1471	1484	1516	1354	1391
Ertuğrul	1786	1808	1856	1655	1713
Altınşehir	1927	1959	2023	1801	1878
K. Sanayi	3192	3232	3309	3051	3153
Ataevler	3540	3600	3694	3387	3504
Beşevler	3800	3877	3987	3647	3787
FSM	4002	4103	4219	3860	4011
Nilüfer	4304	4417	4529	4096	4249
Acemler	7534	7225	7151	6696	6732
P. Çiftliği	7068	6687	6665	6266	6269
Sırameşeler	6947	6442	6443	6039	6064
Kültürpark	6983	6393	6416	5990	6036
Emek	936	933	911	812	819
Korupark	1644	1651	1632	1481	1503
O. Sanayi	1833	1840	1830	1667	1702
Hamitler-Fethiye	2209	2196	2193	2003	2051
Bağlarbaşı-Esentepe	2510	2505	2509	2309	2371
İhsaniye	2751	2749	2509	2541	2371
Karaman	2981	2976	2758	2751	2610

Çizelge 5.6 ve şekil 5.27’de görüldüğü gibi %85’lik saatlik yolcu biniş değerlerine göre mevcut durum ile simülasyon sonuçları birbirine oldukça yakın değerler göstermiştir. Benzer şekilde, %50’lik saatlik yolcu biniş değerleri ile 2,5 dakika sefer aralıklarına sahip metrobüs hattının da karşılaştırılması yapılmış olup Şekil 5.28’de gösterilmiştir. Görüleceği üzere Acemler, Paşaçiftliği, Sırameşeler ve Kültürpark istasyonlarında yolcu sayıları fazladır. Bunun nedeni hem Üniversite yönünden hem de Emek yönünden gelen araçların Acemler istasyonundan sonra aynı istasyonları kullanmaları nedeniyle iki hattın yolcu sayılarının toplamı ölçülmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 5.28 ve 5.29’da

Üniversite ve Emek istasyonlarından harekete geçen araçların Kültürpark istasyonlarına kadar 1 saatlik zaman diliminde hizmet verdiği yolcu sayıları gösterilmektedir.



Şekil 5.28. HRS ve metrobüs için mevcut durum ile simülasyonun geçerlilik grafiği (%85)



Şekil 5.29. HRS ve metrobüs için mevcut durum ile simülasyonun geçerlilik grafiği (%50)

Sonuçlar kurduğumuz simülasyon modelinin gerçek saatlik yolcu değerlerini belirlemede başarılı olduğunu göstermektedir. Böylece değerlendirmesi yapılacak durumlarında geçerli olacağı sonucuna varılmıştır.

6. BULGULAR VE İRDELEMELER

Bu çalışmada VISSIM simülasyon programı ile Bursa'nın mevcut HRS hattını ve aynı güzergâh üzerinden farazi olarak geçirilen metrobüs hattı modellendi ve kurulan simülasyon modelinin mevcut veriler ile tutarlı olduğu görüldü. Bu bölümde mevcut HRS durumunu ve aynı güzergâh üzerinden farazi olarak geçirilen metrobüs hattının konforluluk ve hizmet seviyeleri değerlendirilmiştir.

6.1. Araçlardaki Kalabalıklık Derecesi (DOC) ve Hizmet Seviyesi (LOS)

HRS ve metrobüs araçlarının birbirlerine karşı işletme, maliyet, kapasite vb. yönlerden üstünlük ve zayıflık durumları olabilir. Araçlar arasında birçok ölçüte göre üstünlük ve zayıflık özellikleri, simülasyon yardımıyla değerlendirilerek bu araçlar arasında performans analizleri yapılabilir. Bu ölçütler; hız, güvenilirlik, konfor, kapasite, maliyet, vb. olabilir.

Bu çalışmada performans ölçüsü, kapasite ve konforluluk açısından incelenmiştir. Kapasite; araçların taşıyabilecekleri yolcu sayıları bakımından, konforluluk dereceleri ise araç içindeki yolcuların işgal ettiği alanlar bakımından göz önüne alınacaktır.

6.1.1. Kalabalıklık Dereceleri

Lam ve ark. (1996) raylı ulaşımda toplu taşıma araçlarının içindeki konforluluk ölçüsünü ve platformlardaki yolcuların hizmet seviyelerini incelemiştir. Yolcuların araç içindeki doluluk derecelerine göre araç seçme olasılıklarını ve platformlarda bekleme sürelerini dikkate alarak hizmet seviyelerini belirlemiştir. Bunun için yolculara belirli sorular sorularak bir anket çalışması yapmışlardır. Bu çalışmaya göre aracın içinde yolcu/m²'ya göre belirli dereceler vermişlerdir. Çizelge 6.1'de Lam ve ark. (1996) çalışmalarında belirledikleri araç içindeki yolcuların kapasiteye oranına göre tanımlanmış kalabalıklık dereceleri verilmiştir.

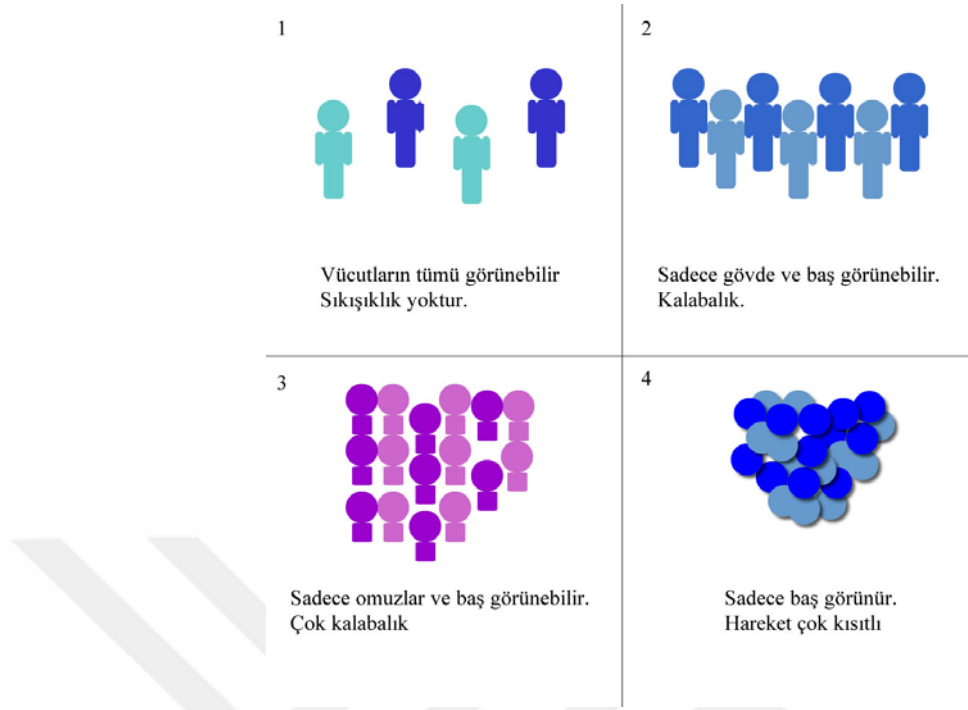
Çizelge 6.1'den görüleceği üzere araç kapasitelerinin doluluk oranlarına göre kalabalıklık dereceleri belirlenmiştir. Buna göre planlanan araç kapasitesinin de aşılabildiği ve %120 civarına çıkabildiği yolcu oranları, kalabalıklık sınırının en üst seviyesini temsil etmektedir. Bu durum genellikle zirve saatlerinde görülmektedir. Yani konfor seviyesi oldukça düşüktür ve hizmet seviyesi en alt düzeydedir.

Çizelge 6.1. Araçtaki kalabalıklık derecesi (Lam ve ark. 1999)

Araçtaki kalabalık derecesi (DOC)	Tanım	Araç doluluk oranı
1	Bazı boş koltuklar mevcut.	Araç kapasitesinin % 25'i
2	Tüm koltuklar dolu ve bazı yolcular ayakta.	Araç kapasitesinin % 40'i
3	Araçta içinde bazı boşluklar var	Araç kapasitesinin % 70'i
4	Araçta boş alan yok.	Araç kapasitesinin % 100'i
5	Araç o kadar dolu ki yolcular kapı ve pencerelere baskı yapıyor.	Araç kapasitesinin % 120'i

*DOC= Degree of crowding

Şekil 6.1'de ise araç içindeki yolcuların durumları temsili olarak resmedilmiştir. Birinci durumda araç içinde ayaktaki yolcular herhangi bir sıkışıklık görmeden rahatça hareket edebilirler ve hizmet seviyeleri yüksektir. İkinci durumda hareket kısmen sınırlanmış durumdadır. Üçüncü durumda yolcuların sadece başları ve gövdeleri görülebilir ve hareket kabiliyetleri kısıtlıdır. Son olarak ta dördüncü durumda yolcular o kadar sıkışık dururlar ki yolcuların sadece başları görülebilir ve hareket kabiliyetleri yok denecek kadar azdır. Bu durum hizmet seviyesinin en düşük seviyesini temsil eder, yine bu durum genellikle zirve saatlerde görülebilir.



Şekil 6.1. Araç içindeki kalabalıklığın temsili resmi (TCQSM, 2003)

Doluluk oranı ve hizmet seviyeleri istasyonlar arası farklılık gösterebilmektedir. Doğal olarak başlangıç istasyonlarında kalabalıklık dereceleri 1 ve hizmet seviyeleri A iken, yani konforluluk dereceleri ve hizmet seviyesi yüksek iken, istasyonlar geçildikçe araçlardaki yolcu sayıları da artmaktadır. Buna bağlı olarak da kalabalıklık derecesi de artmakta ve hizmet seviyesi düşmektedir. Çizelge 6.2’de h=10 dakika sefer aralıklı mevcut HRS ve h=1.5, 2, 2.5 ve 3 dakikalık sefer aralıklı metrobüs araçlarının içindeki yolcu sayılarının istasyonlar bazında %85’lik ve %50’lik saatlik biniş verilerine göre elde edilen simülasyon sonuçları verilmiştir. HRS her 10 dakikada bir sefer yaptığından (yani h=10 dk. olduğundan) saatte 6 sefer yapmaktadır. Burada gösterilen aracın içindeki yolcu sayıları, ortalama saatlik yolcu sayılarının her sefer için homojen olduğu kabul edilerek, 6’ya bölünmesinden elde edilmiştir. Aynı şekilde de metrobüs aracının içindeki yolcu sayıları da her sefer için homojen bir yolcu dağılımı var olduğu kabul edilerek elde edilmiştir.

Bursaray’dan alınan verilere göre Bombardier B2010 araç tipinin bir vagonunda toplamda 60 koltuk vardır. Ayakta duran yolcular için tahsis edilen alan ise yaklaşık 32

m²'dir. Daha önce de bahsedildiği üzere, aracın toplam kapasitesi 287 kişi/vagon'dur. Zirve saatlerde araç 4 vagon olarak çalıştırıldığı için toplamda bir tren de 1148 yolcu seyahat edebilmektedir. Diğer yandan İstanbul Ulaşım'da Phileas Metrobüs araçlarında 52 koltuk olup, yapılan ölçümler sonucunda ise yaklaşık 23 m² araç içi boşluk alanı olduğu belirlenmiştir (İstanbul Ulaşım'dan bu değerlere ait bilgi elde edilemediğinden ölçülerek bulunmuştur).

Çizelge 6.2. Araçların içindeki yolcu sayıları

İSTASYONLAR	Sefer Ar. (h) Yolcu O.	HRS		Metrobüs							
		10 dk.		2,5 dk.		2 Dakika		1,5 Dakika		3 Dakika	
		50%	85%	50%	85%	50%	85%	50%	85%	50%	85%
Üniversite		134	148	33	37	27	29	20	22	40	44
Batıkent		145	160	36	40	29	32	22	24	44	48
Yüzüncüyıl		194	212	49	53	39	43	30	32	59	64
Özlüce		226	247	57	63	46	50	35	38	69	75
Ertuğrul		276	301	71	76	57	61	43	46	84	92
Altınşehir		300	327	77	83	62	67	47	51	92	100
K.Sanayi		509	539	130	136	105	110	79	83	155	163
Ataevler		565	600	144	152	116	122	88	92	172	182
Beşevler		608	646	156	164	125	132	95	100	186	196
FSM		643	684	165	173	133	140	100	105	197	199
Nilüfer		683	736	175	186	141	150	106	113	201	201
Acemler		709	740	180	187	134	144	101	108	210	214
P.Çiftliği		684	715	172	182	131	140	100	105	205	206
Sırameşeler		664	700	168	177	126	133	99	101	200	202
Kültürpark		663	695	169	176	125	132	151	101	199	201
Emek		135	156	34	39	27	31	20	23	41	46
Korupark		247	275	63	69	50	55	38	41	75	82
O.Sanayi		278	307	71	77	57	62	43	46	85	92
Hamitler-Fethiye		334	366	86	92	69	74	51	55	102	110
Bağlarbaşı- Esentepe		385	418	99	106	80	85	59	63	118	126
İhsaniye		424	458	99	106	80	85	59	63	118	126
Karaman		459	496	109	116	88	93	65	69	130	138
Acemler*		407	464	114	107	90	95	67	71	115	124
P.Çiftliği*		360	400	103	93	77	82	57	62	97	105
Sırameşeler*		343	374	105	94	76	82	55	60	90	98
Kültürpark*		335	371	103	96	76	81	53	59	88	97

* Emek tarafından gelen araçlar

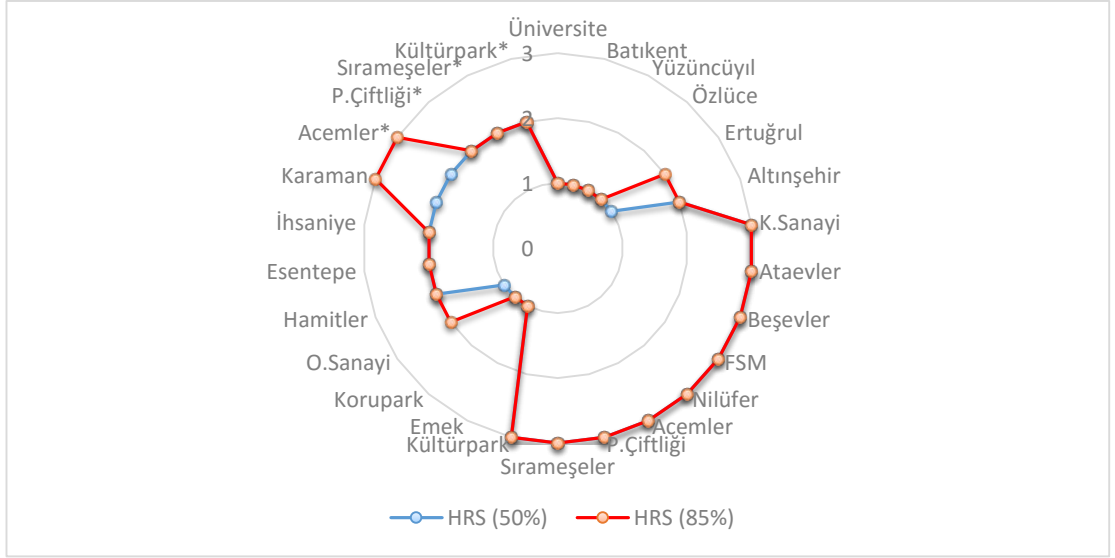
Çizelge 6.3'te yine Lam ve ark. (1996) belirlediği araç içindeki yolcu miktarının araç kapasitesine oranına göre kalabalıklık derecesi gösterilmiştir. Görüldüğü üzere istasyonlar arasında seyreden aracın içindeki yolcu sayısı ve aracın kapasitesi arasında bir ilişki belirlenmiştir.

Çizelge 6.3. Araç içindeki yolcu sayılarının aralıklarına göre kalabalıklık dereceleri

Araçtaki Kalabalıklık Derecesi (DOC)*	Araç kapasitesi (X)	Araçtaki yolcu sayısı (HRS)	Araçtaki yolcu sayısı (Metrobüs)
1	$DOC 1 \leq 0,25 * X$	$DOC 1 \leq 287$	$DOC 1 \leq 57$
2	$0,25 * X \leq DOC 2 \leq 0,40 * X$	$287 \leq DOC 2 \leq 460$	$57 \leq DOC 2 \leq 92$
3	$0,40 * X \leq DOC 3 \leq 0,70 * X$	$460 \leq DOC 3 \leq 800$	$92 \leq DOC 3 \leq 161$
4	$0,70 * X \leq DOC 4 \leq 1 * X$	$800 \leq DOC 4 \leq 1148$	$161 \leq DOC 4 \leq 230$
5	$1 * X \leq DOC 5$	$1148 \leq DOC 5$	$230 \leq DOC 5$

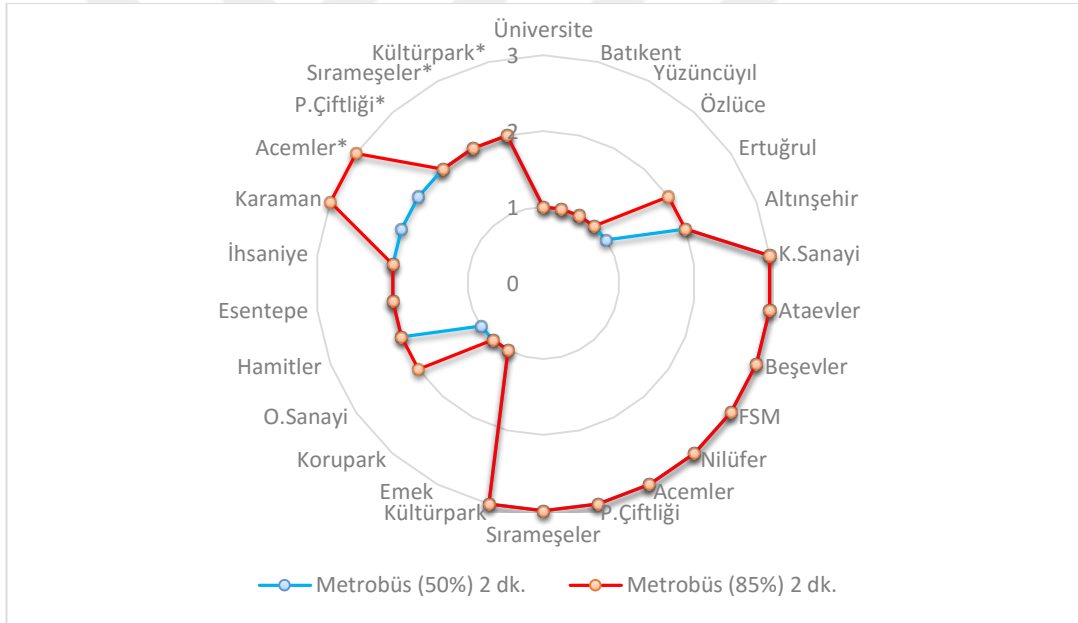
*Degree of crowding

Şekil 6.2'de HRS hattında %50 ve %85'lik saatlik yolcu değerlerinde ölçümlerde Üniversite'den Ertuğrul istasyonuna kadar kalabalıklık derecelerinin 1 olduğunu yani bazı boş koltukların mevcut bulunduğu görülmektedir. Sonrasında K. Sanayi'den başlayıp Kültürpark istasyonuna kadar kalabalık derecesi 3 ile devam ettiği görülmektedir. Yani bu durum, bu kesimde araçta bazı boşlukların bulunduğu anlamına gelmektedir. Emek yönünden gelen araçlarda ise sadece Acemler ve Karaman istasyonlarında kalabalıklık derecesi 3'ü göstermektedir. Şekil 6.3'teki metrobüs hattı (h=2 dk.) ise HRS hattına benzer bir doluluk derecesi göstermektedir. Genellikle her iki hattın %50'lik ve %85'lik saatlik yolcu değerlerinde bu değişkenlerin aynı olduğu görülmektedir.



*Emek yönünden gelen araçları temsil eder

Şekil 6.2. HRS hattında işletilen aracın istasyonlar bazında kalabalıklık dereceleri



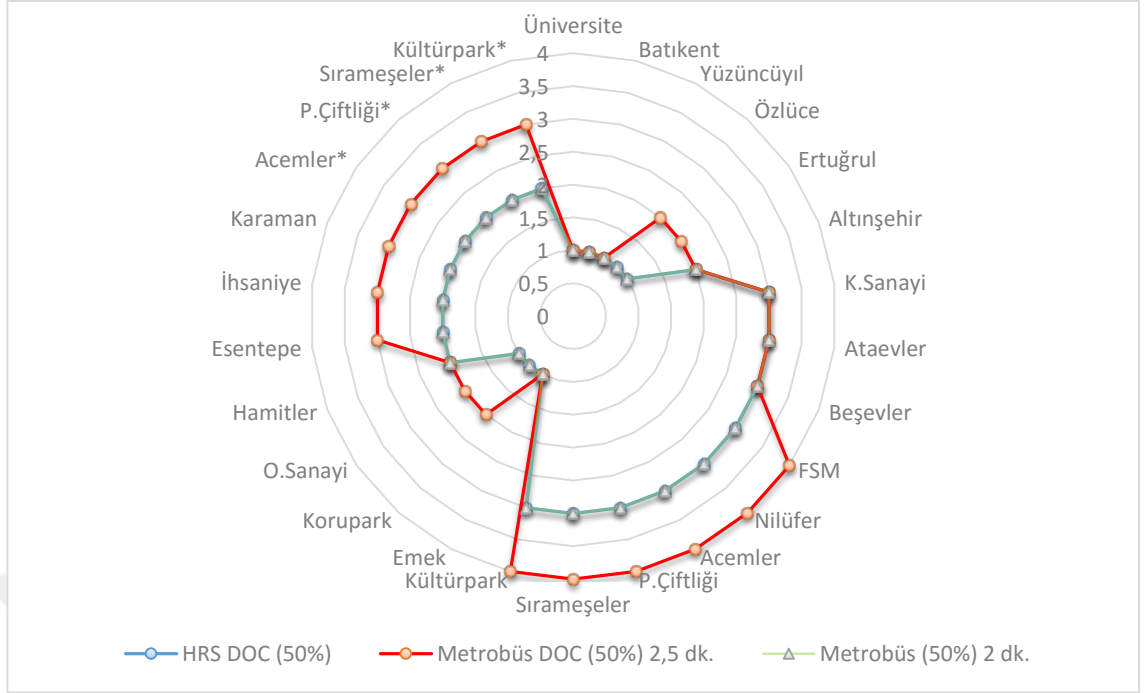
Şekil 6.3. Metrobüs hattında işletilen araçların istasyonlar bazında kalabalıklık dereceleri

Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te HRS (h=10 dk.) ve metrobüs hatlarının (2 ve 2,5 dakika sefer aralığı) %50 ve %85'lik saatlik yolcu sayıları için kalabalıklık dereceleri verilmiştir. İki dakika sefer aralıklı (h=2 dk.) metrobüs araçlarının HRS araçları ile tüm istasyonlarda aynı doluluk dereceleri gösterdiği görülmektedir. Üniversite yönünden gelen 2,5 dk. sefer aralıklı metrobüs aracının kalabalıklık dereceleri %50'lik duruma göre özellikle Fatih

Sultan Mehmet istasyonunda ve %85'lik duruma göre Beşevler istasyonunda birbirlerinden ayrıldığı görülmektedir. Bu farklı doluluk oranı Kültürpark istasyonuna kadar devam etmektedir. Emek yönünden gelen araçlarda ise Korupark'tan başlayan farklı doluluk oranları özellikle %50'lik değerlerde Esentepe istasyonundan, %85'lik değerlerde ise Hamitler istasyonundan başlayarak Kültürpark istasyonuna kadar birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir.

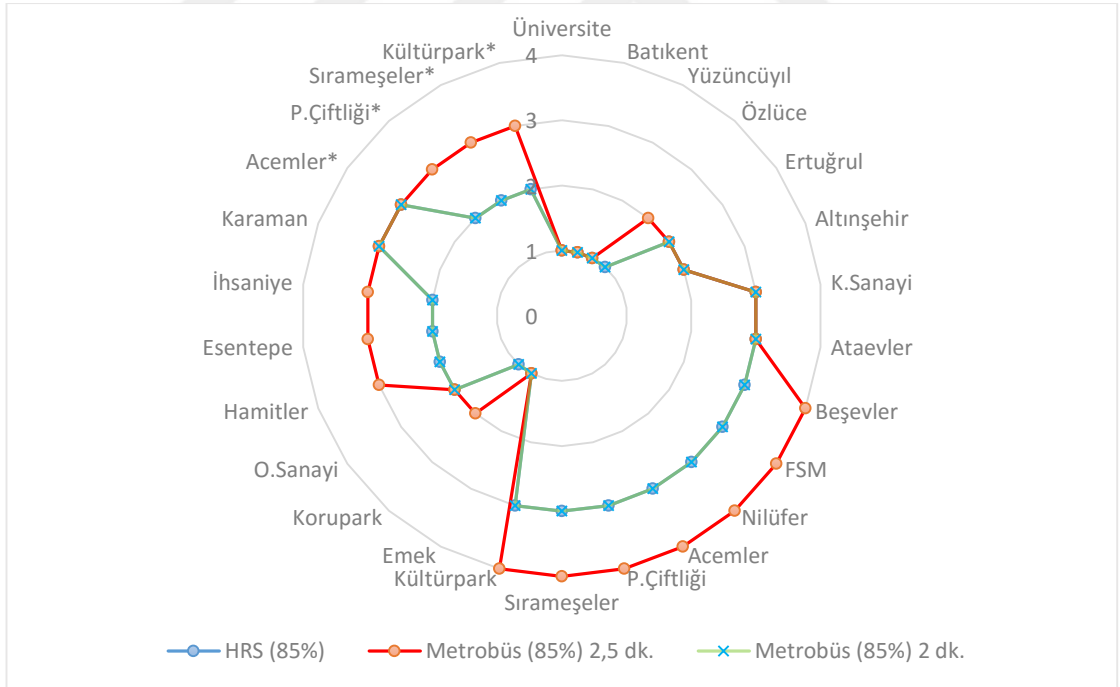
Aynı güzergâhta aynı yolcu sayıları kullanılmasına karşı HRS araçlarının 2,5 dakika sefer aralıklı metrobüs araçlarına göre daha iyi bir performans göstermesinin nedeni kapasitesinin metrobüs aracına göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü HRS aracı 10 dk. sefer aralığı ile tek seferde 1148 yolcu taşımaya karşın metrobüs araçları 2,5 dakika ile 10 dakikada 920 kişilik yolcu kapasitesine ulaşabilmektedir. HRS araçları Küçük Sanayi istasyonundan başlayarak özellikle Nilüfer istasyonunda yüksek bir doluluk oranına ulaşmakta ve Kültürpark istasyonuna kadar DOC 3 (kalabalıklık derecesi 3) oranında devam ettiği görülmektedir. Bu durumda aracın içinde sadece bazı yerlerde boşluklar bulunmaktadır.

Metrobüs araçlarında ise ($h = 2,5$ dk.) Özlüce istasyonunda DOC 2, K. Sanayi'de DOC 3 ve %85'lik saatlik değer için Beşevler istasyonunda DOC 4 sınırına ulaştığı görülmektedir. Bu durumda Beşevler İstasyonundan itibaren metrobüs araçları tam doluluk seviyesini yakalamaktadırlar. Bu durumda kapasite performansının HRS araçlarına göre daha negatif bir durum gösterdiği görülmektedir. Metrobüs araçları 2,5 dakikalık sefer aralıkları ile mevcut durumu şimdilik karşılayabilmektedirler. Burada önemli tespit şu olmuştur. HRS'ye göre metrobüs araçlarının daha kısa sefer aralıklarında çalışıyor olmaları yolcuların bekleme zamanı açısından bir avantaj oluşturmamaktadır. Çünkü yüksek doluluk oranlarında istasyonlara gelen metrobüs araçları platformlarda bulunan her yolcuyla alamamaktadır. Bundan dolayı yolcuların platformlarda bekleme süreleri artmaktadır ve düzensiz bekleme zamanları oluşmaktadır. Ayrıca grafiklerden görüleceği üzere metrobüs araçları daha yüksek kalabalıklık derecesinde hizmet vermelerinden dolayı konforluluk ölçüsü bakımından da mevcut HRS'ye göre dezavantajlıdır.



*Emek yönünden gelen araçları temsil etmektedir.

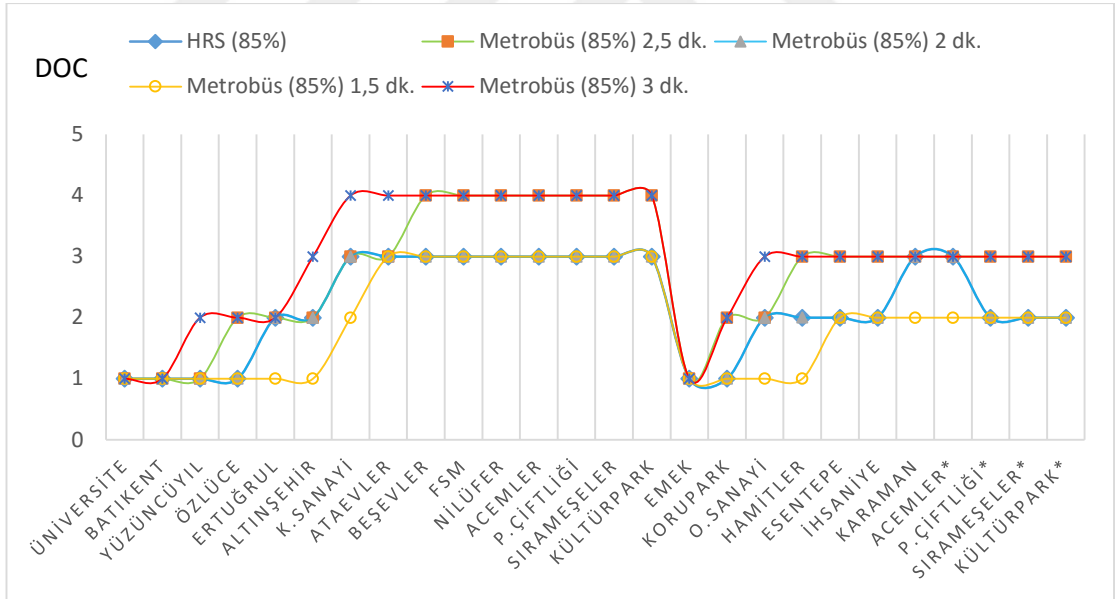
Şekil 6.4. HRS (10dk.) ve metrobüs (h=2 ve 2,5 dk.) için kalabalıklık dereceleri (%50)



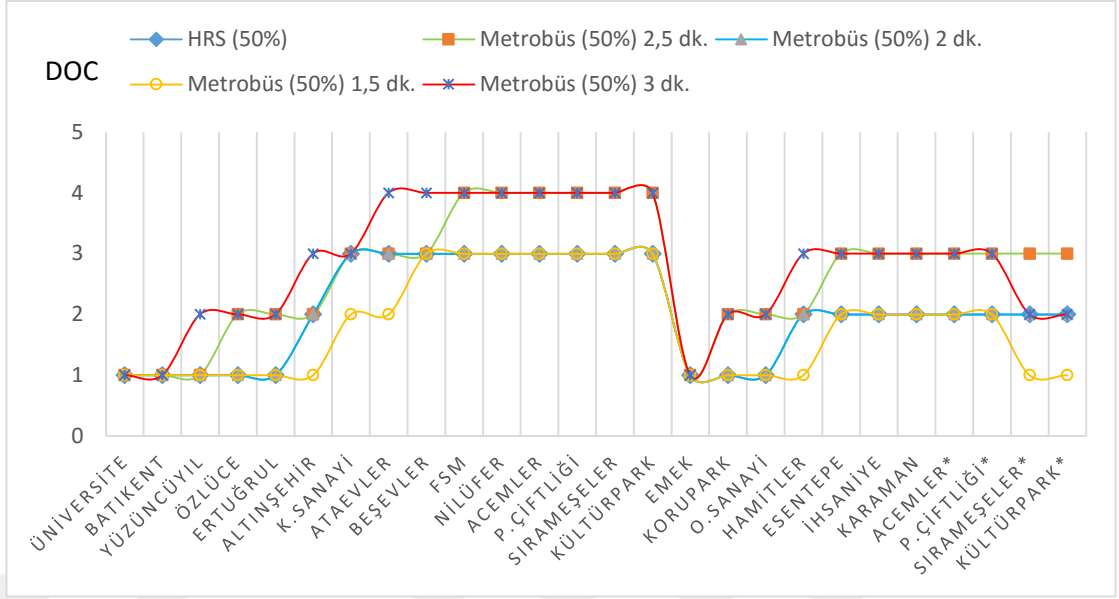
Şekil 6.5. HRS (10 dk.) ve metrobüs (h=2 ve 2,5 dk.) için kalabalıklık dereceleri (%85)

Metrobüs araçlarının sefer aralıklarının değişmesi araçtaki yolcu sayılarına göre doluluk oranlarını da doğal olarak değiştirmektedir. Kalabalıklık derecelerinin sefer aralıklarına

göre dağılımı Şekil 6.6 ve 6.7'de verilmiştir. Buna göre kalabalıklık derecesi (DOC) açısından en rahatı ve platformlarda yolcu bekleme zamanları açısından en uygunu 1,5 dakika sefer aralıklı metrobüs seferleridir. Fakat bu durum saatte 40 sefer yapılması anlamına geleceğinden işletme açısından oldukça yüksek bir maliyete sebep olacaktır. 2 dakikalık sefer aralığına sahip metrobüs hattı, mevcut HRS hattı ile aynı doluluk derecesine sahip olduğu görülmektedir. 2,5 dakikalık sefer aralıklı metrobüs hattı ise mevcut durumu karşılamakla beraber yakın gelecekte artacak talebe karşı kapasitesinin yetersiz kalacağı anlamına gelecektir. Aynı zamanda platformlara gelen araçların özellikle FSM ve Nilüfer istasyonlarında planlanan taşıma kapasitesinin üzerinde olduğu görülmektedir. Performans açısından en kötü durumu ifade eden durum ise 3 dakikalık sefer aralıkları ile işletilen metrobüs hattıdır. K. Sanayi istasyonundan başlayıp Kültürpark istasyonuna kadar neredeyse tam doluluk göstermektedir. Bu nedenle yolcuların platformlardaki bekleme süreleri artmakta ve araçlardaki doluluk dereceleri çok yüksek olmaktadır.



Şekil 6.6. Farklı sefer aralıklarında kalabalıklık dereceleri (%85)



Şekil 6.7. Farklı sefer aralıklarında kalabalıklık dereceleri (%50)

6.1.2. Hizmet Seviyeleri Alan Kullanımı (alan/yolcu)

Hizmet seviyesi aracın performansı ile konforluluğun derecesini gösteren bir durumdur. Çizelge 6.4'te yolcuların kullanabileceği alan miktarına göre hizmet seviyeleri verilmiştir. Bu çizelgeye göre konforlu bir seyahatin en üst düzeyini A hizmet seviyesi belirlemektedir. Bu hizmet seviyesinde yolcuların tamamının araç içinde rahatça istedikleri yerlere oturabileceği anlamına gelmektedir. En düşük seviyesi de F hizmet seviyesidir. Yolcuların birbirlerini sıkıştırdığı bu seviye konforluluk derecesinin en düşük durumunu ifade etmektedir.

Çizelge 6.4. Araçtaki yolcu durumuna göre hizmet seviyeleri (TCQSM 2003)

Hizmet Seviyesi (LOS)	Ayakta Yolcu Oranı (m ² /yolcu)	Tanım
A	>1	Hiçbir yolcu başka birinin yanına oturma ihtiyacı hissetmez
B	0,76-1	Yolcular oturacağı yeri seçebilir
C	0,51-0,75	Tüm yolcular oturabilir
D	0,36-0,50	Yolcular rahatça ayakta durabilir
E	0,20-0,35	Maksimum planlanan yük
F	<0,20	Yolcular birbirini sıkıştırmaya başlar

LOS= Level of service

Mevcut HRS ve Phileas marka metrobüs araçlarındaki daha önce bahsedilen kapasite özelliklerine göre istasyonlar bazında araçların içinde ayakta kalan yolcuların sayıları belirlenmiş ve Çizelge 6.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 ve 6.6’da farklı sefer aralıkları ile metrobüs araçlarının ve HRS aracının ayakta kalan yolcu sayıları ve buna bağlı olarak belirlenen hizmet seviyeleri verilmiştir. Mevcut HRS hattının hizmet seviyesi ile 2 dakika sefer aralığına sahip metrobüs aracının hizmet seviyesi çok yakın bir durumu göstermektedir. Farklı sefer aralıklarında işletilen metrobüs araçlarında hizmet seviyeleri istasyonlar arasında farklılık göstermektedir ve buna bağlı olarak araçlardaki konforluluk ölçüşü de değişmektedir. Bu durum toplu ulaşımın imajına ve cazibesine etki etmekte ve yolcuların toplu ulaşımı tercih etmesinde önem arz etmektedir.

Çizelge 6.5. İstasyonlar bazında ayakta kalan yolcular

İstasyonlar	Sefer Ar. Yolcu O.	HRS		Metrobüs							
		10 dk.		1,5 dk.		2 dk.		2,5 dk.		3 dk.	
		50%	85%	50%	85%	50%	85%	50%	85%	50%	85%
Üniversite		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Batıkent		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yüzüncüyıl		0	0	0	0	0	0	0	0	7	12
Özlüce		0	7	0	0	0	0	5	11	17	23
Ertuğrul		36	61	0	0	5	9	19	24	32	40
Altınşehir		60	87	0	0	10	15	25	31	40	48
K.Sanayi		269	299	27	31	53	58	78	84	103	111
Ataevler		325	360	36	40	64	70	92	100	120	130
Beşevler		368	406	43	48	73	80	104	112	134	144
FSM		403	444	48	53	81	88	113	121	145	147
Nilüfer		443	496	54	61	89	98	123	134	149	149
Acemler		469	500	49	56	82	92	128	135	162	158
P.Çiftliği		444	475	48	53	79	88	120	130	154	153
Sırameşeler		424	460	47	49	74	81	116	125	148	150
Kültürpark		423	455	49	49	73	80	117	124	147	149
Emek		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Korupark		7	35	0	0	0	3	11	17	23	30
O.Sanayi		38	67	0	0	5	10	19	25	33	40
Hamitler		94	126	0	3	17	22	34	40	50	58
Esentepe		145	178	7	11	28	33	47	54	66	74
İhsaniye		184	218	7	11	28	33	47	54	66	74
Karaman		219	256	13	17	36	41	57	64	78	86
Acemler*		167	224	15	19	38	43	62	55	63	72
P.Çiftliği*		120	160	5	10	25	30	51	41	45	53
Sırameşeler*		103	134	3	8	24	30	53	42	38	46
Kültürpark*		95	131	1	7	24	29	51	44	36	45

*Emek yönünden gelen araçlar

Çizelge 6.6’da sadece farklı sefer aralıklarına sahip metrobüs araçlarında F seviyesinde hizmet düzeyi görülmektedir. Bu durum eğer aynı güzergâh üzerinden bir metrobüs hattı geçirilmiş olsaydı, kesinlikle bu sefer aralıklarında işletilmemesi gerektiğinin bir kanıtını göstermektedir. Çünkü Ataevler istasyonundan başlayan bu sıkıntı Kültürpark istasyonuna kadar devam edecektir. Bu durum da araç içindeki konforluluk derecesini oldukça azaltmakla birlikte kendi yol kullanım hakkına sahip olan toplu taşıma araçlarının var olan imajını sarsacaktır.

Çizelge 6.6. İstasyonlar bazında araçların içindeki hizmet seviyeleri

İstasyonlar	HRS		Metrobüs							
	10 dk.		1,5 dk.		2 dk.		2,5 dk.		3 dk.	
	50%	85%	50%	85%	50%	85%	50%	85%	50%	85%
Üniversite	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Batıkent	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Yüzüncüyıl	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Özlüce	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
Ertuğrul	A	A	A	A	A	A	A	B	C	C
Altınşehir	A	A	A	A	A	A	B	C	C	D
K.Sanayi	D	D	B	C	D	D	E	E	E	E
Ataevler	D	E	C	C	E	E	E	E	F	F
Beşevler	E	E	C	D	E	E	E	E	F	F
FSM	E	E	D	D	E	E	E	F	F	F
Nilüfer	E	E	D	D	E	E	F	F	F	F
Acemler	E	E	D	D	E	E	F	F	F	F
P.Çiftliği	E	E	D	D	E	E	F	F	F	F
Sırameşeler	E	E	D	D	E	E	F	F	F	F
Kültürpark	E	E	E	D	E	E	F	F	F	F
Emek	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Korupark	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B
O.Sanayi	A	A	A	A	A	A	A	B	C	C
Hamitler	A	A	A	A	A	A	C	C	D	D
Esentepe	B	C	A	A	B	C	D	D	E	E
İhsaniye	C	C	A	A	B	C	D	D	E	E
Karaman	C	D	A	A	C	C	D	E	E	E
Acemler*	B	C	A	A	C	C	D	D	D	E
P.Çiftliği*	A	B	A	A	B	B	D	C	C	D
Sırameşeler*	A	B	A	A	B	B	D	C	C	D
Kültürpark*	A	B	A	A	B	B	D	C	C	C

*Emek yönünden gelen araçlar

Alan kullanımı ise bir yolcunun toplu taşıma aracında kullandığı alanı ifade etmektedir. Yapılan çalışmalar sonrasında Çizelge 6.7’de elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, araç içinde yolcu başına düşen alan kullanımı verilmiştir (yolcu/alan). Buna göre Nilüfer, Acemler ve Paşaçiftliği istasyonlarında kişi başına düşen alan kullanımı en düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Herhangi bir sayı yazılmayan yerler (-), ayakta yolcu bulunmadığını göstermektedir.

Çizelge 6.7. HRS ve metrobüs için m²/yolcu oranı (sadece ayaktaki yolcular için)

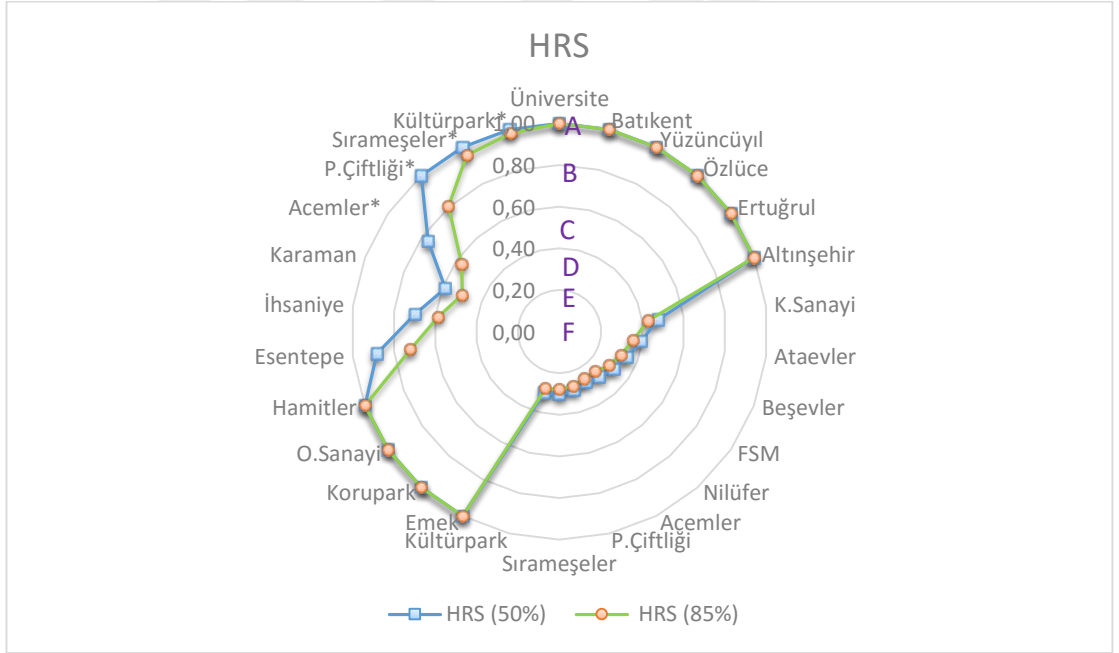
İstasyonlar	Sefer Ar. Yolcu O.	HRS		Metrobüs								
		10 dk.		2,5 dk.		2 dk.		1,5 dk.		3 dk.		
		50%	85%	50%	85%	50%	85%	50%	85%	50%	85%	
Üniversite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Batıkent	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yüzüncüyl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,51	1,89	
Özlüce	-	17,4 5	4,25	2,19	-	-	-	-	-	1,38	1	
Ertuğrul	3,57	2,09	1,24	0,94	4,83	2,43	-	-	0,71	0,58		
Altınşehir	2,13	1,48	0,92	0,74	2,27	1,55	-	-	0,58	0,48		
K.Sanayi	0,48	0,43	0,3	0,27	0,44	0,4	0,86	0,75	0,22	0,21		
Ataevler	0,39	0,36	0,25	0,23	0,36	0,33	0,65	0,57	0,19	0,18		
Beşevler	0,35	0,32	0,22	0,21	0,31	0,29	0,54	0,48	0,17	0,16		
FSM	0,32	0,29	0,2	0,19	0,29	0,26	0,48	0,43	0,16	0,16		
Nilüfer	0,29	0,26	0,19	0,17	0,26	0,23	0,42	0,38	0,15	0,15		
Acemler	0,27	0,26	0,18	0,17	0,28	0,25	0,47	0,41	0,15	0,14		
P.Çiftliği	0,29	0,27	0,19	0,18	0,29	0,26	0,48	0,43	0,15	0,15		
Sırameşeler	0,3	0,28	0,2	0,18	0,31	0,28	0,49	0,47	0,16	0,15		
Kültürpark	0,3	0,28	0,2	0,19	0,32	0,29	0,23	0,47	0,16	0,15		
Emek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Korupark	18,73	3,64	2,15	1,35	-	7,42	-	-	1	0,76		
O.Sanayi	3,38	1,92	1,21	0,91	4,63	2,36	-	-	0,7	0,57		
Hamitler- Fethiye	1,36	1,02	0,68	0,57	1,37	1,05	-	8,14	0,46	0,4		
Bağlarbaşı- Esentepe	0,88	0,72	0,49	0,43	0,83	0,71	3,16	2,14	0,35	0,31		
İhsaniye	0,7	0,59	0,49	0,43	0,83	0,71	3,16	2,14	0,35	0,31		
Karaman	0,59	0,5	0,4	0,36	0,64	0,56	1,74	1,36	0,29	0,27		
Acemler*	0,77	0,57	0,37	0,42	0,61	0,53	1,53	1,21	0,37	0,32		
P.Çiftliği*	1,06	0,8	0,45	0,56	0,92	0,77	4,6	2,3	0,51	0,43		
Sırameşeler*	1,25	0,96	0,43	0,55	0,96	0,77	7,67	2,88	0,61	0,5		
Kültürpark*	1,34	0,98	0,45	0,52	0,96	0,79	23	3,29	0,64	0,51		

* Emek yönünden gelen araçlar

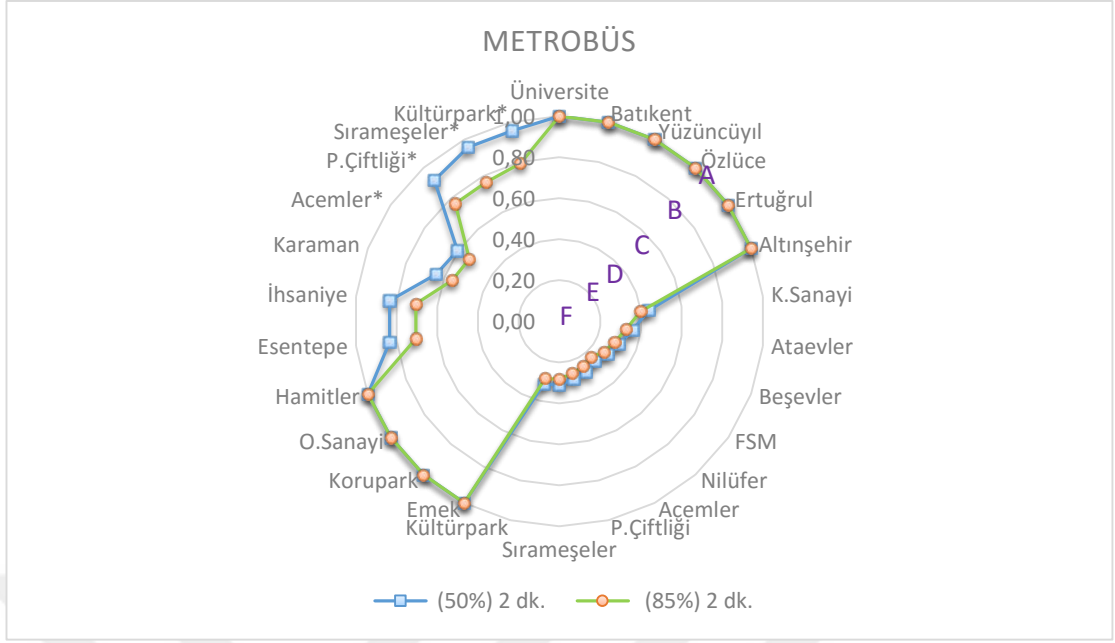
- Ayakta yolcunun bulunmadığını ifade eder.

Şekil 6.8, 6.9, 6.10 ve 6.11’de istasyonlar arasında yolcuların hizmet seviyeleri ve araçların içinde ayakta kalan yolcuların kullanım alanları gösterilmiştir. Alan kullanımının 1’i göstermesi tüm yolcuların oturabildiğini ve yolcu başına 1 m² ve daha fazla alan kullanımının olduğunu göstermektedir.

Şekil 6.8’den görüleceği gibi HRS hattında Üniversite yönünden gelen araçlarda Altınşehir istasyonuna kadar yolcuların kullanım alanları yolcu başı 1 m² ve üzeri ve dolayısı ile hizmet seviyeleri A iken, Küçük Sanayi istasyonunda 0,4 m²/yolcu ile D hizmet seviyesinde, Nilüfer ve Acemler istasyonunda 0,26 m²/yolcu ile E hizmet seviyesinde görülmektedir. Emek yönünden gelen araçlarda ise yolcu başına düşen kullanım alanı Esentepe istasyonundan başlayan azalma ile Karaman istasyonunda 0,5 m²’ye kadar düşerek C hizmet seviyesine ulaşmaktadır. Sadece Hamitler ile Kültürpark istasyonları arasında %50 ve %85’lik saatlik yolcu değerleri içi m²/yolcu ve hizmet seviyelerinde küçük farklar oluşmakta, Üniversite yönünde ise hizmet seviyelerinde benzer durum görülmektedir. Şekil 6.9’da ise 2 dk. sefer aralıklı metrobüsün m²/yolcu oranı ve LOS değeri HRS hattına benzer durumu göstermektedir. Yolcuların her iki durumda da ciddi manada sıkıştığı bir durum gözlemlenmez. Hizmet seviyeleri en kötü E sınıfı olmaktadır.

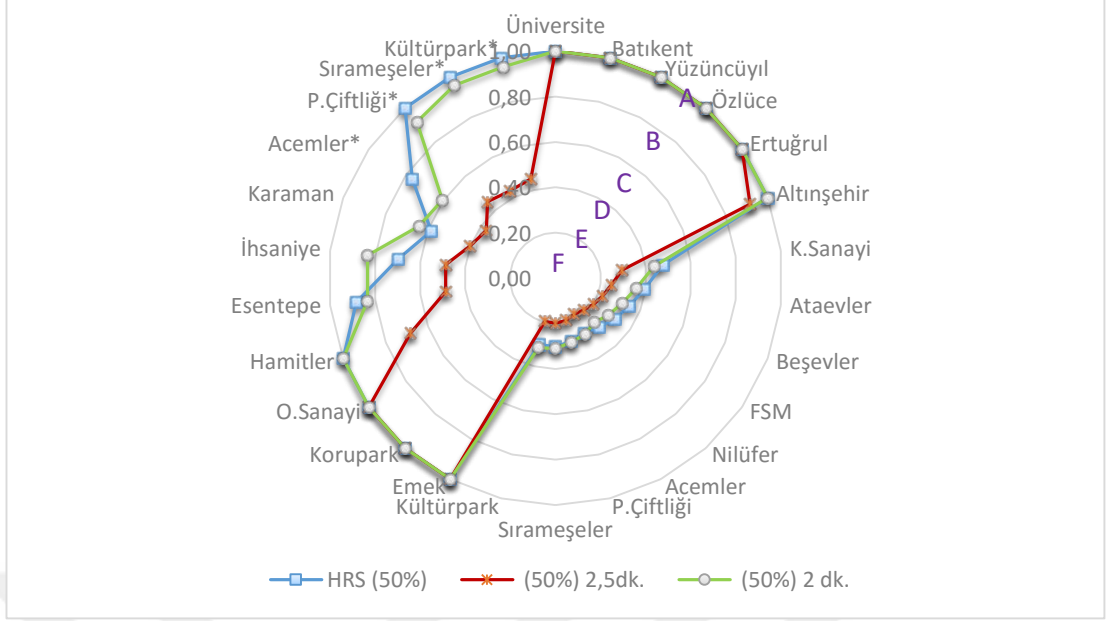


Şekil 6.8. İstasyonlar bazında HRS için ayaktaki m²/yolcu oranı ve LOS değerleri (h=10 dk.)

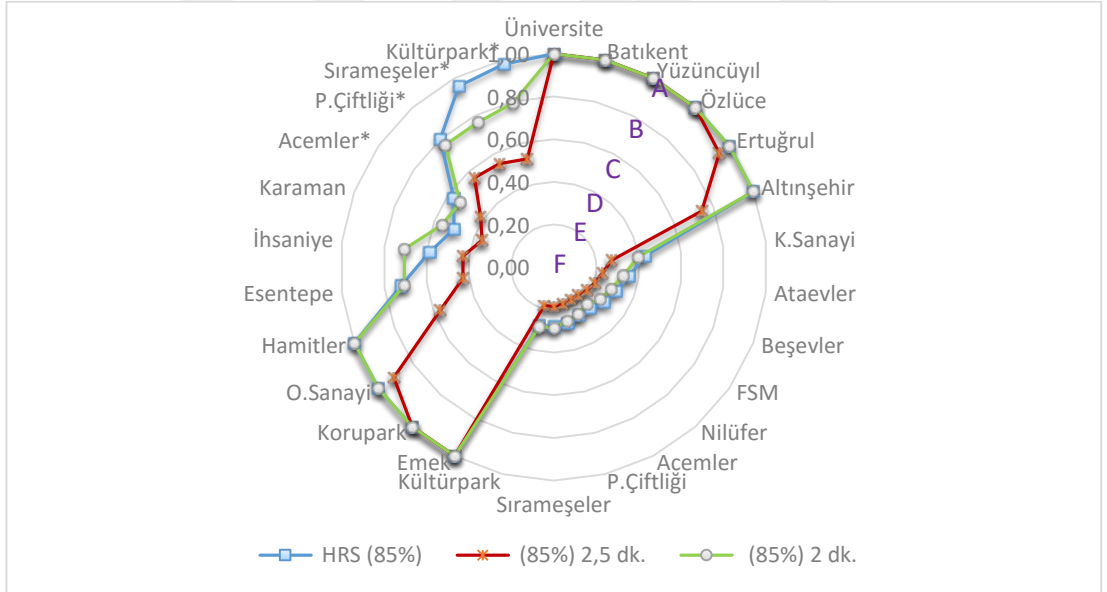


Şekil 6.9. İstasyonlar bazında metrobüs için ayaktaki $m^2/yolcu$ oranı ve LOS değerleri ($h=2$ dk.)

Üniversite yönünden gelen 2,5 dakika sefer aralıklı metrobüs araçlarında Şekil 6.10'da görüldüğü üzere %85'lik saatlik yolcu değerlerine göre Ertuğrul istasyonunda başlayan yolcu kullanım alanındaki azalma Küçük Sanayi istasyonunda $0,27 m^2/yolcu$ 'ya ve D hizmet seviyesine düştüğü, Nilüfer ve Acemler istasyonunda ise $0,17-0,18 m^2/yolcu$ 'ya ve F hizmet seviyesine düştüğü görülmektedir. Metrobüs araçlarındaki yolcular %85'lik saatlik yolcu değerlerine göre Beşevler istasyonunda, %50'lik saatlik yolcu değerlerine göre Nilüfer istasyonunda sıkışmaya başlayacaklardır. Yani F durumu hizmet seviyesine düşeceklerdir. Emek yönünde ise 2 dakika sefer aralıklı metrobüs hattı ve HRS hattında kısmen farklılıklar olmasına karşın ekseriyetle aynı kullanım alanı ve hizmet seviyesinde oldukları görülmektedir. Şekil 6.11'de ise Şekil 6.10'dakine benzer yolcu kullanım alanları ve hizmet seviyeleri görülmektedir.



Şekil 6.10. İstasyonlar bazında HRS ve metrobüs için ayaktaki m²/yolcu oranı ve LOS değerleri (%50)

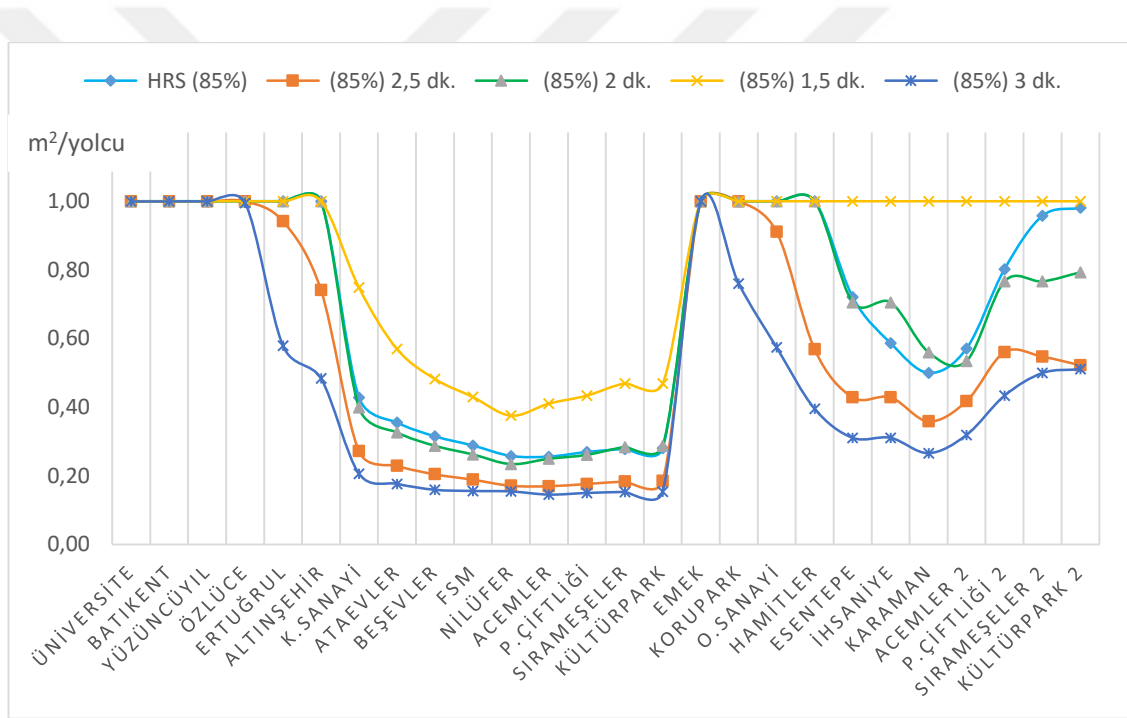


Şekil 6.11. İstasyonlar bazında HRS ve metrobüs için ayaktaki m²/yolcu oranı ve LOS değerleri (%85)

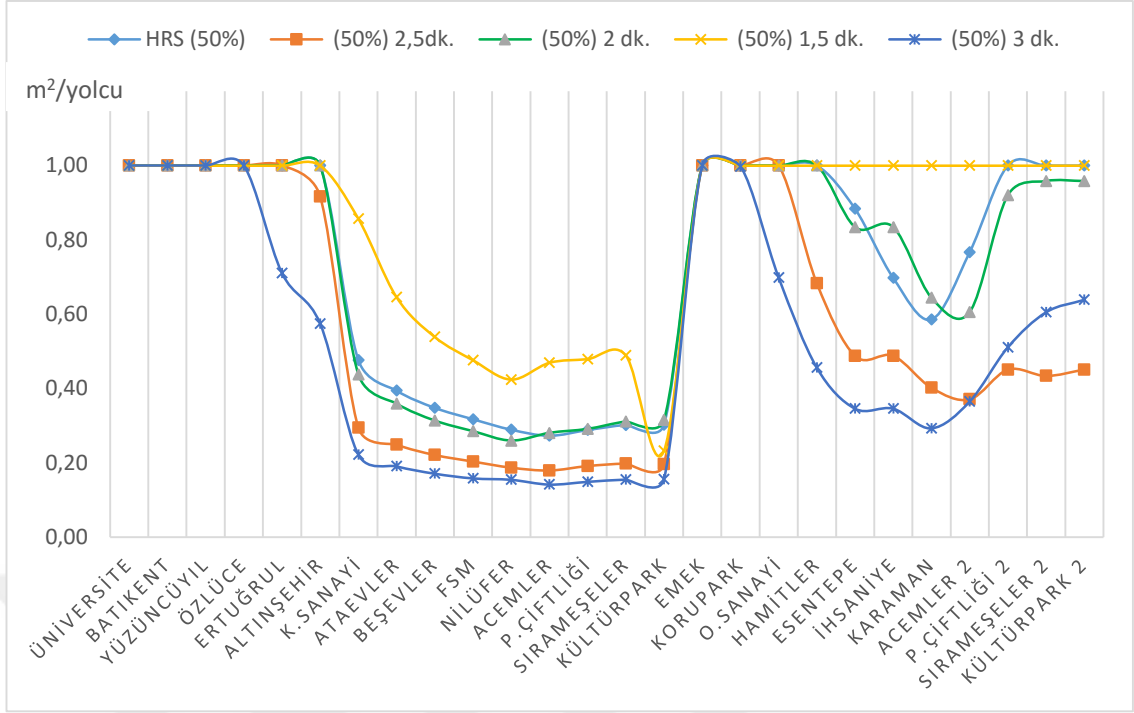
Şekil 6.12 ve 6.13'te görüldüğü üzere Üniversite yönünden gelen HRS hattı ve metrobüs hatlarında yolcu başına düşen alan kullanımı 2,5 ve 3 dakika sefer aralıklı metrobüs hattında Özlüce istasyonundan ve diğer sefer aralıklarında K. Sanayi istasyonundan

başlayarak Kültürpark istasyonuna kadar genellikle azalma eğilimi göstermektedir. Emek yönünden gelen araçlarda ise biraz daha durum karmaşık olmasına karşın İhsaniye, Karaman ve Acemler istasyonlarında en düşük kullanım alanı sağlayabilmektedirler.

Özetle kullanım alanları bakımından grafiklerden de anlaşılacağı üzere en kötü performansı 3 dakika sefer aralıklı metrobüs hattı vermektedir. Çoğu istasyonda F hizmet seviyesinde olduğundan araçlardaki sıklık yüksek olup, sonucunda konfor düzeyi çok düşmektedir. 1,5 dakika sefer aralıklı metrobüs hattı ise hem kalabalıklık hem de hizmet seviyesi açısından en iyi durumu göstermektedir. Fakat işletme maliyeti açısından diğerlerine nazaran yüksek paya sahip olacağı beklenmektedir.



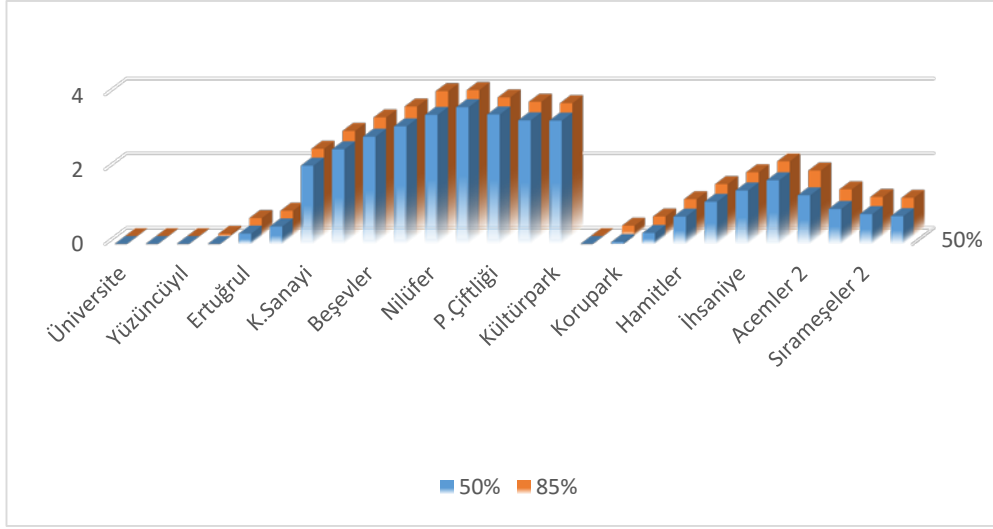
Şekil 6.12. HRS ve farklı sefer aralıklı metrobüs araçları için m²/yolcu oranı (%85)



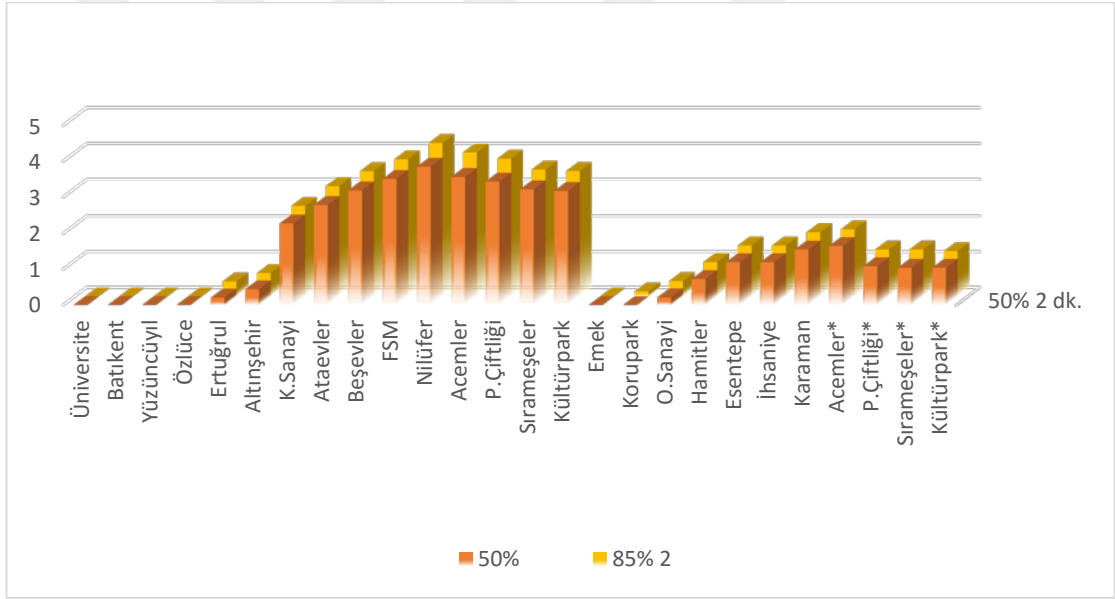
Şekil 6.13. HRS ve farklı sefer aralıklı metrobüs araçları için m²/yolcu oranı (%50)

Alan kullanımına göre değerlendirildiğinde öncelikle toplu taşıma aracında ayakta kalan yolcu sayıları hesaplanmıştır. HRS ve metrobüs araçları için istasyonlar bazında simülasyon çalışmaları sonucuna göre elde edilen ayaktaki yolcu sayıları Şekil 6.14 ve 6.15'te yolcu/m² olarak verilmiştir. Grafikten görüleceği üzere HRS araçlarında %85'lik saatlik yolcu değerlerine göre Nilüfer'den Kültürpark istasyonuna kadar 1 m² alana hemen hemen 4 yolcu düşmektedir.

2 dakika sefer aralıklı metrobüs araçları (Şekil 6.15) HRS aracına benzer bir durum sergilemektedir. Görüldüğü üzere alana göre en yüksek yolcu sayısı Nilüfer istasyonundadır ve m²'de 4 yolcuya kadar çıkmaktadır.



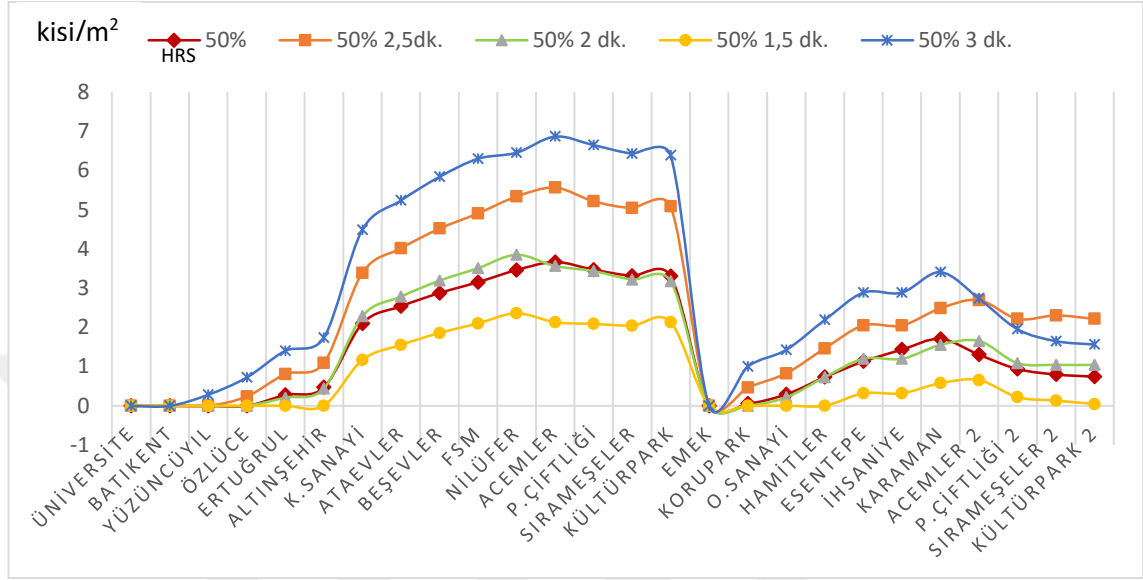
Şekil 6.14. HRS hattında ayaktaki yolcu oranı (yolcu/m²)



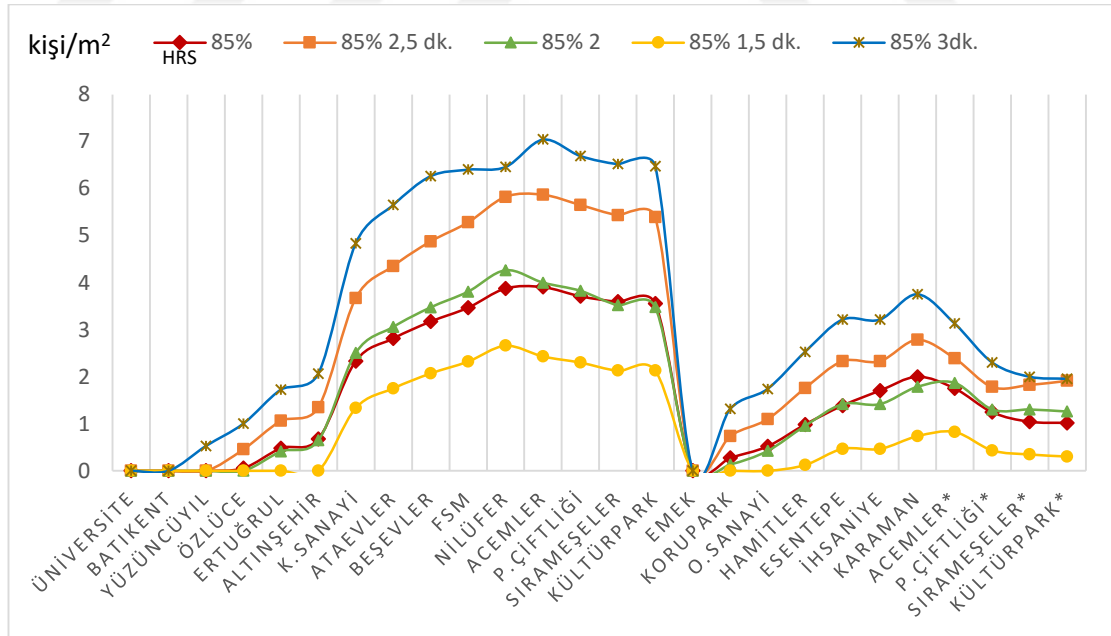
Şekil 6.15. Metrobüs hattında (h=2 dk.) ayaktaki yolcu oranı (yolcu/m²)

Şekil 6.16'daki grafikte %50'lik saatlik yolcu değerlerine göre HRS ve farklı sefer aralıklarında olan metrobüs araçlarından en iyi performansı gösteren durum 1,5 dakika sefer aralığına sahip olan metrobüs hattının olduğu ve en kötü durumu ise 3 dakika aralıklı metrobüs hattının sergilemekte olduğu görülmektedir. Mevcut HRS hattına en yakın durumu 2 dakika sefer aralıklarına sahip olan metrobüs hattı sağlamaktadır. %50 ve %85'lik saatlik yolcu değerlerinde en yüksek ayakta duran yolcu sayısı Nilüfer, Acemler ve Paşaçiftliği istasyonlarında görülmektedir. Benzer durum Şekil 6.17'de de

görülmektedir. Bu 3 istasyonda 1 m² alana düşen yolcu sayıları 1,5 dk., 2 dk., 2,5 dk. ve 3 dk. sefer aralıklarında sırasıyla 3, 4, 6 ve 7 kişi olmaktadır.



Şekil 6.16. HRS ve metrobüs araçlarının 1 m² alandaki yolcu sayıları (%50)



Şekil 6.17. HRS ve metrobüs araçlarının 1 m² alandaki yolcu sayıları (%85)

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Bursa'daki HRS hattının mevcut durumu ile yerine metrobüs'ün ikame edilmesi sonucu araçlardaki kapasite ve konforluluk durumları analiz edilmiştir. Kent içi ulaşım sitemlerinin modellendirilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla oluşturulan VISSIM simülasyon programından faydalanılmıştır. Programın lisans kısıtlarından dolayı Üniversite-Kültürpark ve Emek-Kültürpark istasyonları arasındaki 22 istasyon arasında değerlendirme yapılmıştır. Aksi istikamet yeterli veri olmadığı için hesaba katılmamıştır. Bu program ile HRS ve farklı sefer aralıklı metrobüs hatları simüle edilmiş, sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre;

Eldeki mevcut verilerin analizi ile simülasyon sonuçlarının tutarlı oldukları gözlemlenerek simülasyon programının geçerliliği kanıtlanmıştır. Böylece simülasyon çalışmalarının en önemli bir özelliği olan karmaşık matematiksel problemlere ve derin analizlere ihtiyaç duymadan mevcut durum ve/veya gelecek durumlar ile ilgili senaryolar üretmek ve alternatif çözümler sunmak için etkin bir araç olduğu görülmüştür.

10 dakika sefer aralıklı mevcut HRS ve 1,5, 2, 2,5 ve 3 dakika sefer aralıklarına sahip metrobüs sistemi için simülasyonlar yapıldı. Üniversite-Kültürpark yönünde giden HRS ve metrobüs araçlarının zirve saatlerde K. Sanayi istasyonunda dikkate değer bir şekilde kalabalıklık derecelerinde artış olduğu ve aracın kalabalıklık derecesinin 3 olduğu böylece araçların kapasitelerinin %70'ini geçtiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre mevcut HRS sisteminin kapasitesine en yakın durumun 2 dakika sefer aralıklarına sahip metrobüs seferleriyle sağlanabileceği görülmüştür. Kalabalıklık derecelerinin istasyonlar bazında tüm araçlar için aynı ve yolcu kullanım alanlarının ise çoğu istasyonlar için benzer olduğu görülmüştür.

Sonuçlar 2,5 dakika sefer aralıklı metrobüs hattının şimdiki mevcut yolcu hacmine yeterli bir kapasite sağlayabileceğini göstermiştir. Ancak gelecekte bu kapasitenin seyahat taleplerini karşılamayacağı şüphesizdir. Konforluluk, hizmet seviyesi ve yolcu kullanım alanları açısından en iyi performansı 1,5 dakika sefer aralıklı olan metrobüs hattı

vermektedir. Ancak bu durumda saatte 40 sefer yapacağından yüksek işletim maliyetlerine sebep olacağı da gözden kaçırılmamalıdır. En kötü performansı ise 3 dakika sefer aralıklı metrobüs araçları vermektedir. K. Sanayi istasyonunda neredeyse aracın tamamı dolduğu için sonraki istasyonlara hizmet veremeyecek seviyeye gelmektedir. Böylece platformlarda aşırı bekleme süreleri oluşacak ve hizmet seviyesi ve konforluluk derecesinin çok düşük olduğu görülmüştür.

Mevcut HRS araçları simülasyon sonuçlarına göre Ataevler ve Beşevler istasyonlarında E derece hizmet seviyesi ile Kültürpark istasyonuna ulaşmaktadırlar. 3 dakika ve 2,5 dakika sefer aralıklarına sahip metrobüs araçları ise Ataevler ve FSM istasyonlarında F hizmet seviyeleri ile Kültürpark istasyonlarına kadar devam etmektedirler. Metrobüs araçları için Nilüfer ve Acemler istasyonları arasında ayakta yolculara düşen kullanım alanları 0,14 m²'ye kadar düştüğü görülmüştür. Bu durumda Nilüfer-Acemler-Paşaçıftlığı arasında m² başına 7 yolcu düştüğü görülmekte ve ciddi kalabalıklık ve düşük hizmet seviyelerine hizmet vereceği anlaşılmaktadır.

Emek-Kültürpark arasında HRS ve 2 dakika sefer aralıklı metrobüs araçları için en düşük C hizmet seviyesi görülmekte ve 2,5 ile 3 dakikalık metrobüs seferlerinde ise D ve E hizmet seviyeleri görülmektedir. Yani Emek-Kültürpark istasyonları arasında 3 dakikalık sefer aralıklı metrobüs araçları mevcut HRS aracı ile benzer hizmet seviyeleri göstererek işletilebilmektedir.

%50'lik ve %85'lik saatlik yolcu hacimleri ile yapılan çalışmaların sonucu bazı araçlarda kalabalıklık dereceleri ve hizmet seviyeleri değişirken çoğu durumda benzer olduğu görülmektedir.

Burada unutulmaması gereken durum Bursa'daki HRS hattı mevcut durumu üzerinden değerlendirilmiştir. Zira, araç içindeki doluluk oranını düşürmek, hizmet seviyesini artırmak ve platformlardaki yolcuların bekleme sürelerini düşürmek için zirve saatlerde sefer aralıkları mevcut sistemde düşürülebilir. Yani mevcut 10 dakika sefer aralığı yerine 5 dakika sefer aralığı ile yolcuların araç içindeki konforluluk dereceleri yükseltilebilir ve toplu ulaşım daha cazip bir hale getirilebilir.

Mevcut HRS araçları tam kılavuzu bir sisteme sahip olmasından dolayı kılavuzsuz (metrobüs gibi) sistemlere nazaran yolcular açısından daha rahat ve daha güvenilir bir ulaşım imkânı sağlamaktadır. Ayrıca ekolojik olarak HRS araçlarının tahrik sistemi elektrikle sağlandığından daha çevreci bir ulaşım sistemi olduğu göz ardı edilmemelidir. Genellikle olarak yatırım maliyetleri metrobüs hatlarına göre daha yüksektir fakat ileriye yönelik daha düşük işletim maliyetlerine sahip olması ve bahsedilen güvenlik, imaj, güvenilirlik, çevreci vb. özelliklerinden dolayı aynı hizmeti verebilecek metrobüs hatlarına göre daha avantajlı olduğu unutulmamalıdır. Simülasyon sonuçları da genel olarak HRS'nin Bursa'daki mevcut durum için metrobüsten daha üstün olduğunu göstermektedir.

Dikkate alınması gereken diğer bir husus Metrobüs hattının mevcut HRS hattından geçirildiği kabul edilmiştir. Çünkü HRS araçları bazı yerlerde yer altından gitmekte ve istasyonları yer altında olmaktadır. Bu durumda araçlar karbon emisyonu yaptıklarından yer altında havalandırma sistemleri gerekecek ve başka diğer olumsuz sonuçları da doğurabilecektir.

Mevcut HRS istasyonları bazı yerlerde birbirlerine çok yakın inşa edilmişlerdir. Bu durum araçların beklenen hızlanma vb. performanslarını gösterememelerine sebep olmaktadır. Ayrıca, işletim için metrobüs araçlarına nazaran daha kapsamlı bir planlama süreci gerektirmektedirler. Herhangi olumsuz durumlarda (araçların arıza yapması, hatta meydana gelen üstyapı sıkıntısı vb.) metrobüs araçlarına nazaran daha zor ve zaman isteyen işlemsel durumlara maruz kalacakları unutulmamalıdır.

Her ne kadar şimdiki mevcut durum belirli bir hat üzerinde seyahat talebini karşılayabiliyorsa da yakın gelecekte HRS hattı yolcu hacmini karşılayamayacağı yapılan analizler ile görülmektedir. Yerine ikame edilebilecek metrobüs (2 dakikalık sefer aralığı) hattı ise şimdiki HRS hattı ile benzer performans özelliği gösterecektir. Eğer metrobüs araçlarının sefer aralığı 1,5 dakika olursa çok daha iyi performans sağlamasına karşın yüksek işletim maliyetlerine sebep olacağıda görülmüştür.

Genel durumda, HRS aracının metrobüs araçlarından daha avantajlı olduğu görülmektedir. Çünkü mevcut HRS hattına en yakın durumu 2 dakika sefer aralıklarına sahip metrobüs işletimi sağlamaktadır. Bu ise saatte 30 sefer yapacağından yüksek işletim maliyetlerine sebep olacağı tahmin edilebilir. Daha yüksek sefer aralıkları ise işletim maliyetini düşürecektir fakat bu seferde hizmet seviyesini düşürüp kalabalıklık seviyesini artıracığından konfor azalacaktır.

Sonuçlar yine bize, mevcut HRS hattının ilk aşamada tamamen yer altından giden bir metro sistemi gibi düşünülmesi durumunda, yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına karşın sistemin teknik ve performans değerleri oldukça yüksek olacağından, özellikle metro hatlarının 240 m'ye kadar uzun platform boyu ve mevcut HRS araçlarının 2 katı uzun ve daha iyi kapasite özelliklerine sahip araçlarıyla zirve saatlerde bile mevcut seyahat talebini çok rahat bir şekilde karşılayabilecek ve gelecek için çok daha uzun ömürlü işletilebileceğini göstermektedir. Bu durumda özellikle yoğun yolculuk gerektiren hatlarda metronun işletilmesi, daha kısa mesafelerdeki ve daha düşük yoğunluklu istasyonlar arasında bir HRS veya metrobüs hattı işletilmesi uzun vadede ortaya çıkabilecek seyahat talebine de çözüm oluşturabilirdi. Böylelikle halk arasında özellikle HRS hattının geçtiği güzergahla mevcut yollarda yaptığı daraltmaya yönelik eleştirilerde doğal olarak ortadan kalkacaktır. Zira etkin toplu ulaşım sistemleri cazibeli hale gelerek, kişisel araçlarla yapılan yolculukları azaltacaktır. Bahsedilen tüm bu farazi durumların sonuçları da, VISSIM simülasyon programıyla efektif bir şekilde değerlendirileceğini bu çalışma bize göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Akbaş, A. 2003.** Mikroskopik simülasyon ile dinamik sinyal optimizasyonu. *İMO Teknik Dergi*, 197: 2965-2976.
- Akbaş, A. 2001.** Kentiçi Ulaşımında Ana Arterlerdeki Ulaşım Performansının Simülasyon Tabanlı Olarak Değerlendirilmesi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 5. Ulaştırma Kongresi, İstanbul, 2001.
- Anonim, 2003.** Transit Capacity and Quality of Service Manual—2nd Edition 2003. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290.pdf>-(25.01.2015)
- Anonim 2007.** Bus rapid transit planning guide 2007. Transportation and Development Policy, USA.
- Anonim, 2009.** Başlıca Ulaşım Yolları. <http://www.delinetciler.org/bilgi-merkezi/72452-ulasim-nedir.html> (08.10.2015)
- Anonim, 2011.** <http://www.elektrikport.com/universite/rayl-sistem-muhendisligi-karabuk-universitesi/4277#ad-image-0> (12.10.2015)
- Anonim, 2012.** <http://www.renklinot.com/soru-cevap-2/metronun-tarihcesi-ve-tarihi-gelisimi.html> (12.12.2015)
- Anonim, 2014a.** <http://www.dunyabulteni.net/haber/310427/kanallar-sehri-birmingham>
- Anonim 2014b.** <http://www.rayhaber.com/2013/turkiyenin-rayli-sistem-uzunlugu-787-kilometreye-ulasacak/> (28.10.2015)
- Anonim, 2015a.** Public transport. https://en.wikipedia.org/wiki/Public_transport (10.10.2015)
- Anonim 2015b.** <http://www.iETT.gov.tr/tr/main/pages/kronolojik-tarihce/32> (22.10.2015)
- Anonim,2015c.**https://tr.wikipedia.org/wiki/Atl%C4%B1_tramvay#/media/File:Pferdebahn_NewYork_um_1895.jpeg (11.10.2015)
- Anonim, 2015d.** <http://www.urbanrail.net/as/tr/eskisehir/eskisehir.htm> (10.10.2015)
- Anonim 2015e.** https://tr.wikipedia.org/wiki/Demiryolu_ulaşımı (15.11.2015).
- Anonim, 2015f.** <http://tr.railturkey.org/2015/12/17/bursada-kentici-rayli-sistemler/> (17.12.2015)

Anonim, 2015g.

<https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Green.park.underground.arp.750pix.jpg>
(15.10.2015)

Anonim, 2015h. <https://sco.wikipedia.org/wiki/Monorail> (15.10.2015)

Anonim, 2015ı. <http://ulasimiletisim.com/jet-hizinda-tren/566/> (15.10.2015)

Anonim, 2015j. <http://www.iETT.gov.tr/tr/main/pages/toplu-ulasim/3>

Anonim, 2015k. [http://www.burulas.com.tr/tramvay-arac-ozellikleri.aspx-\(15.12.2015\)](http://www.burulas.com.tr/tramvay-arac-ozellikleri.aspx-(15.12.2015))

Anonim, 2016. [http://www.urbanrail.net/as/tr/bursa/bursa.htm-\(07.01.2016\)](http://www.urbanrail.net/as/tr/bursa/bursa.htm-(07.01.2016))

Arasan, V. T., Koshy, R. Z. 2005. Methodology for modeling highly heterogeneous traffic on urban arterials. *Journal of Institution of Engineers*, 84: 210-215.

Arslan, C., 2010. Yüksek hızlı demiryollarının dünya üzerindeki uygulamaları ve Türkiye'ye adaptasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Bains, M. S., Ponnu, B., Arkatkar, S. S. 2012. Modelling of traffic flow on Indian expressways using simulation technique. *Proc. Social and Behavioral Sciences* 43: 475-493.

Baştürk, G. 2014. Kentiçi raylı toplu taşıma incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması. *Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi*, Ulaştırma ve Denizcilik Haberleşme Bakanlığı, Ankara

Barron, I. Limits of classic lines and classic trains -Introduction to High Speed-High Speed systems around the World 2007, Training in High Speed S., 25- 78 Ankara

Cai, H., Ma, S., Wei, L. 2013. Application of VISSIM in public transit facilities analysis and evaluation. *Trans Tech Publications* 2293-2296.

Cankaya, T. 2011. Monoray ulaşım sisteminin Kocaeli ilinde uygulanabilirliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, İstanbul.

Chen, L. H., Hu, D. W., Zhu, H. C. 2014. Study of transit network optimization base on microscopic simulation. *Safe, Smart and Sustainable Multimodal Transportation Systems ASCE 2014*. 1374-1384.

Chitturi, M. ve Benekohal, R.F. 2008. Calibration of VISSIM for freeway. Proc. of. 87th TRB Annual Meeting, Transportation research board , National research council, Washington D.C.

Fellendorf, M. ve Vortisch, P. 2001. Validation of the microscopic traffic simulation model VISSIM in different real-world situation. *Proc. Of 80th Annual Meeting*, Transportation research board national research council, Washington D.C, USA.

KGM, 2014. KGM, Trafik kazaları özeti 2014.

Kasımoğlu, E., 2015. Tramvay istasyonlarında tasarım ve güvenlik esaslarının araştırılması İstanbul T1 tramvay hattı incelemesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.

Kocabaş, N. 2007. Metrobüs sistemlerinin ülkemizde uygulanabilirliğinin araştırılması ve Antalya örneği. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Bilim Dalı, Eskişehir.

Li, Z., Hensher, D.A., 2013. Crowding in Public Transport: A Review of Objective and Subjective Measures. *Journal of Public Transportation*, 16(2): 107-134.

Lam, W H. K., Cheung, C. Y., Poon, Y.F. 1996. A study of passenger discomfort measures at the Hong Kong mass transit railway system. *Journal of Advanced Transportation*, 33(3): 389-399.

Mathew, T.V., 2014. Transportation system engineering. *NPTL*, [http://nptel.ac.in/courses/105101087/downloads/Lec-4.pdf-\(07.05.2007\)](http://nptel.ac.in/courses/105101087/downloads/Lec-4.pdf-(07.05.2007))

Matsubashi, N., Hyodo, T.i Takashi, Y. 2005. Image processig analysis on motorcycle oriented mixed traffic flow in Vietnam. *Proceedings of Eastern Asia society for transportation studies (EAST)*, Tokyo, 929-944.

Mehar, A., Chandra, S., Velmurugan, S. 2014. Highway capacity through VISSIM calibrated for mixed traffic condition. *KSCE journal of civil engineering*, 18(2): 639-645.

Park, B. B., and Won, J. 2006. Simulatiom model calibration and validation: phase II: Development of implementation handbook, Transportation researc Council, Virginia, USA.

Raka, H. Ve Gao, Y. 2011. Calibration the steady state model using macroscopic loop detector data, TRB circular E-C149, TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Saatçioğlu, C., Yaşarlar, Y. 2012. Kentiçi ulaşımda toplu taşımacılık sistemleri: İstanbul örneği. *KAÜ-İİBF dergisi*, 3(3): 117-144.

Siddique, A.J., Khan, A.M. 2006. Microscopic Simulation Approach to Capacity Analysis of Bus Rapid Transit Corridors. *Journal of Public Transportation*, 2006 *BRT Special Edition: 181-200*.

Siddharth, S. M. P. ve Ramadurai, G. 2013. Calibration of VISSIM for Indian heterogeneous traffic conditions. *Proc. Social and Behavioral Sciences*, 104(2013): 380-389.

Şimit, K.O., Rizelioğlu, M., Arslan, T., 2015. Türkiye'nin ilk yerli tramvayı İpekböceği ve Bursa T1 tramvay hattı güzergahı üzerine bir analiz. 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, 13-14 Kasım 2015, Trabzon.

Trolley, 2013. The trolleybus as an urban means of transport in the light of the trolley Project Hungary, 2013.

Uysal, O. 2015. Bursa'da Kentiçi Raylı Sistemler. <http://tr.railturkey.org/2015/12/17/bursada-kentici-rayli-sistemler/>. (17.11.2015)

VISSIM- User Manual, PTV system Software and Consulting GmbH. *StumpfstraBe 1 D-76131 Karlsruhe.*

VISSIM- User Manual, PTV system Software and Consulting GmbH. *StumpfstraBe 1 D-76131 Karlsruhe.* Germany, 2000.

Vuchic, V.R. 2015. Kent içi toplu ulaşım ve yaşanabilir şehirler cilt1. İstanbul Ulaşım, İstanbul, 507 s.

Yang, M., Wang, W., Wang, B., Han, J. 2013. Performance of the priority control strategies for Bus Rapid Transit: Comparative Study from Scenario Microsimulation Using VISSIM. *Hindawi Publishing Corporation Discrete Dynamics in Nature and Society Volume 2013.* 9.

Yu, L., Yu, L., Chen, X., Wan, T., Guo, J. 2006. Calibration of VISSIM for Bus Rapid Transit systems in Beijing using GPS data. *Journal of Public Transportation, 2006 BRT Special Edition: 239-257.*

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Rizelioğlu
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul 05.11.1988
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2010

Çalıştığı Kurum/Kurumlar
Gümüşhane Üniversitesi : Araştırma Görevlisi
Uludağ Üniversitesi : Araştırma Görevlisi

İletişim : mehmetrizelioglu@hotmail.com

Yayınlar

Ulusal Kongre ve Konferanslarda Sunulan Bildiriler

Şimit, K.O., Rizelioğlu, M., Arslan, T., 2015. Türkiye'nin ilk yerli tramvayı İpekboceği ve Bursa T1 tramvay hattı güzergahı üzerine bir analiz. 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, 13-14 Kasım 2015, Trabzon.