

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**RAYLI SİSTEMLERDE YÜKSEK YOLCU
KAPASİTESİ İÇİN SİNYALİZASYON
SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU**

Yüksek Lisans Tezi

İBRAHİM ETHEM DEMİRCİ

İSTANBUL, 2014

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

**RAYLI SİSTEMLERDE YÜKSEK YOLCU
KAPASİTESİ İÇİN SİNYALİZASYON
SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU**

Yüksek Lisans Tezi

İBRAHİM ETHEM DEMİRCİ

Tez Danışmanı: PROF.DR. AHMET AKBAŞ

İSTANBUL, 2014

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

Tezin Adı: Raylı Sistemlerde Yüksek Yolcu Kapasitesi İçin Sinyalizasyon Sistemlerinin Optimizasyonu

Öğrencinin Adı Soyadı: İbrahim Ethem Demirci

Tez Savunma Tarihi: 29 Ağustos 2014

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu
_____ Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. Tunç BOZBURA

Enstitü Müdürü

İmza

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa ILICALI

Program Koordinatörü

İmza

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

_____ Jüri Üyeleri

_____ İmzalar

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ahmet AKBAŞ

Üye
Prof. Dr. Tuncer TOPRAK

Üye
Yrd. Doç. Dr. Nilgün CAMKESEN

TEŐEKKÖR

Ölkemiz kent içi ulaştırma problemlerine ağdaş özömler geliştirmek amaçlı güzel projeler gerçekleştiren Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Yüksek Lisans Programı koordinatörleri Sayın Prof. Dr. Mustafa ILICALI ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Nilgün CAMKESEN'e; tez çalışmam sırasında bana yol gösteren ve her türlü desteği sağlayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet AKBAŞ'a, railsim programı konusunda her türlü yardımı sağlayan Marmaray sinyalizasyon başmühendisi Sayın Ali BAŞPINAR'a, bu programı okumamı teşvik eden değerli mesai arkadaşım Sayın Kutsal GÖRSOY'a, tez çalışması boyunca bana sabır gösteren sevgili eşime teşekkür ederim.

İstanbul, 2014

İbrahim Ethem Demirci

ÖZET

RAYLI SİSTEMLERDE YÜKSEK YOLCU KAPASİTESİ İÇİN SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

İbrahim Ethem Demirci

Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Akbaş

Ağustos 2014, 104 sayfa

Dünya nüfusunun büyümesi ve büyükşehirler etrafında yoğunlaşması sonucu kent içi ulaşım sistemlerinde yolculuk talepleri hızla yükselmektedir. Dünya'daki gelişmiş büyükşehirlerde ulaşım sorunlarına en etkili çözüm olması açısından raylı sistem projelerine yatırımlar artmaktadır. Sunduğu yüksek kapasite, dakiklik, konfor, çevre dostu vb. özellikleri nedeniyle raylı sistemler önemini artırmış ve gün geçtikçe öncelikli olarak tercih edilen bir sistem olmuştur.

Raylı sistemlerde yolcu yoğunlukları, aylara, günlere, özel etkinliklere (maç, miting, konser vb.) gün içindeki zirve saatlere göre değişiklik göstermektedir. Tüm zamanlar için yolculuk taleplerine konforlu, emniyetli, dakik ve ekonomik bir kapasite sunabilmek için sinyalizasyon sistemlerinin önemi büyüktür. İlk başta, emniyetli ve güvenli bir trafik işletmesi için ihtiyaç duyulan ve tesis edilen sinyalizasyon sistemleri, esnek, ekonomik, yüksek kapasiteli bir hizmet sunabilmek amacıyla zamanla evrim geçirmiş sabit blok sistemlerden, tam otomatik sistemlere kadar aşama aşama gelişmiştir. Halen günümüzde, düşük headway sağlayabilen, daha verimli, haberleşme tabanlı sinyalizasyon sistemleri için teknoloji ve arge yatırımları devam etmektedir.

Bu tezin amacı, raylı sistemlerde mevcut durumda hissedilen ve gelecekte daha da artacak olan yüksek ve esnek kapasite ihtiyacını değerlerle göstermek, yüksek kapasite sunması açısından sinyalizasyon sistemlerinin geçirdiği aşamaları özetlemek, UTO (Unattended Train Operation) tam otomatik sürücüsüz sistemlerin bu ihtiyaç için en uygun çözüm olduğunu Dünya'da ki örnekleriyle ortaya koymak, İstanbul metrosu örneğiyle, ihtiyaç duyulan bir noktada Seyrantepe istasyonunda simülasyonlar yaparak en yüksek kapasiteyi sunacak en uygun işletme senaryolarını belirlemek, bu örnek çalışma ile sektördeki ilgililere ışık tutmaktır. Kapasite analizi için Railsim programında simülasyon metodu kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Raylı Sistemlerde Sinyalizasyon, Tam Otomatik Sürücüsüz Sistemler, Kapasite Analizi, Headway İyileştirme Optimizasyon

ABSTRACT

OPTIMIZING OF RAILWAY SIGNALLING SYSTEMS FOR HIGH PASSENGER CAPACITY

İbrahim Ethem Demirci

Urban Systems and Transportation Management

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Akbaş

August 2014, 104 pages

The world's population growth and as a result of condensation around metropolitan cities, travel demands in urban transportation systems has been rising greatly. Investment in rail system projects has been growing due to be the most effective solutions to transportation problems in developing metropolitans in the World. The importance of railway system has increased because it offers high capacity, comfort, punctuality, and eco friendly etc. and by day have been preferring primarily.

The passenger density in railway systems varies according to months, special events (matchdays, protest activity, concerts etc.), and peak hours in a day. Signalling systems have great importance to provide comfortable, safe, punctual, economical high capacity for travel demands at all times. At first, signalling systems needed and be established for safe and secure traffic operation. It has evolved in course of time to provide flexible, economical and high capacity operation service, and it has developed. gradually from fixed block systems up to full automatic unattended systems. Still today, technology and R&D investments have been continuing in signalling systems which is more efficient based on communication and offers low headway

The aim of this study, to demonstrate by values the need that exist in now and will increase further in the future is high and flexible capacity, to describe briefly the stages of signalling system in terms of provide high capacity and to prove the best solution for his requirement is UTO (Unattended Train Operation) by given examples in the World applications, and to make case study capacity analysis to find optimum operation scenarios where Seyrantepe station the most needed point at İstanbul metro so that to enlighten whom concerns this issue. In this study, the method for capacity analysis is simulation at Railsim program.

Keywords: Railway Signalling, Fully Automated Driverless Systems, Capacity Analysis, Headway Improvement Optimization

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar	ix
ŞEKİLLER	x
KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	2
2. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER.....	5
3. RAYLI SİSTEMLERDE SİNYALİZASYON	13
3.1 SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ	14
3.2 UTO: TAM OTOMATİK SÜRÜCÜSÜZ SİSTEMLER.....	16
3.3 DÜNYADA UTO UYGULAMALARI	19
4. RAYLI SİSTEMLERDE KAPASİTE KAVRAMI	28
4.1 KAPASİTE KAVRAMI.....	29
4.2 KAPASİTE HESAPLAMALARI	31
5. RAILSİM PROGRAMI VE SİMULASYONLAR	34
5.1 RAILSİM EDİTÖRDE HATTIN MODELLENMESİ.....	35
5.2 NETWORK SIMULATORDE MODELLERİN SİMULASYONU.....	54
5.2.1 Mevcut Mekik İşletmesinin Modellenmesi	60
5.2.2 İlave Bağlantı Tüneli Mekik Çalışma Modeli	62
5.2.3 Bağlantı Hattı 2 ile Beraber Döngü İşletmesi	65
5.2.4 Döngü İşletmesinde Seyrantepe Peron 1 Senaryosu	66
5.2.5 Döngü İşletmesinde Seyrantepe Peron 2 Senaryosu	67
5.2.6 Döngü İşletmesinde Seyrantepe Çift Peron Senaryosu	69
6. ÖRNEK ÇALIŞMA: SEYRANTEPE İSTASYONU KAPASİTE ARTIRMA OPTİMİZASYONU	71
6.1 METODOLOJİK YAKLAŞIM VE GİRDİ VERİLERİ.....	75
6.2 YENİKAPI – HACIOSMAN DÖNGÜSÜ ANALİZİ.....	76
6.2.1 Minimum Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı	77
6.2.2 Gidiş Dönüş Sefer Süresi	81
6.2.3 Trenlerin Sayısı	82
6.2.4 Kapasite Analizi	84
6.3 TAKSİM – SEYRANTEPE DÖNGÜSÜ ANALİZİ.....	86

6.3.1	Minimum Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı	86
6.3.2	Gidiş Dönüş Sefer Süresi	89
6.3.3	Trenlerin Sayısı	90
6.3.4	Kapasite Analizi	92
6.4	YENİKAPI – SEYRANTEPE DÖNGÜSÜ ANALİZİ	93
6.4.1	Minimum Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı	93
6.4.2	Gidiş Dönüş Sefer Süresi	94
6.4.3	Trenlerin Sayısı	95
6.4.4	Kapasite Analizi	97
6.5	KAPASİTE ARTIRIM İÇİN ALTERNATİF İŞLETME ANALİZİ	98
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103
	KAYNAKÇA	105

TABLolar

Tablo 6.1: Yenikapı istasyonu – gerçekleştirilebilir sefer aralığı	78
Tablo 6.2: Hacıosman istasyonu'nda geri dönüş - gerçekleştirilebilir sefer aralığı	80
Tablo 6.3: Yenikapı – Hacıosman döngüsü – gidiş dönüş süreleri.....	81
Tablo 6.4: Yenikapı – Hacıosman döngüsü - tren sayısı – 4 vagon.....	82
Tablo 6.5: Yenikapı – Hacıosman döngüsü - tren sayısı – 8 vagon.....	82
Tablo 6.6: Yenikapı – Hacıosman döngü – 4 vagonlu tren için servis seviyesi	83
Tablo 6.7: Yenikapı – Hacıosman döngü – 8 vagonlu tren için servis seviyesi	83
Tablo 6.8: Yenikapı – Hacıosman döngüsü servis seviyesine göre taşıma kapasitesi	84
Tablo 6.9: Taksim istasyonu – gerçekleştirilebilir sefer aralığı.....	87
Tablo 6.10: Seyrantepe – Taksim arasındaki döngü – tarife tablosu	89
Tablo 6.11: Taksim – Seyrantepe döngü – gidiş-dönüş sefer süreleri	89
Tablo 6.12: Taksim – Seyrantepe arasındaki döngü – tren sayısı.....	90
Tablo 6.13: Taksim – Seyrantepe döngü – 4 vagonlu tren için servis seviyesi	91
Tablo 6.14: Taksim – Seyrantepe döngü – 8 vagonlu tren için servis seviyesi	91
Tablo 6.15: Taksim – Seyrantepe döngü – servis seviyesine göre taşıma kapasitesi	92
Tablo 6.16: Yenikapı - Seyrantepe döngü – gerçekleştirilebilir sefer aralığı	93
Tablo 6.17: Yenikapı - Seyrantepe arasındaki döngü – tarife tablosu	94
Tablo 6.18: Yenikapı– Seyrantepe arasındaki döngü – gidiş-dönüş sefer süreleri	94
Tablo 6.19: Yenikapı – Seyrantepe arasındaki döngü – tren sayısı	95
Tablo 6.20: Yenikapı – Seyrantepe döngü – 4 vagonlu tren için servis seviyesi.....	96
Tablo 6.21: Yenikapı – Seyrantepe döngü – 8 vagonlu tren için servis seviyesi.....	96
Tablo 6.22: Yenikapı – Seyrantepe döngü – servis seviyesine göre taşıma kapasitesi...	97
Tablo 6.23: Alternatif işletme - gidiş dönüş süresi ve tren sayısı (4 vagonlu).....	99
Tablo 6.24: Alternatif İşletme - Taşıma Kapasitesi	100
Tablo 6.25: Alternatif İşletme - hat kesimleri için taşıma kapasitesi.....	101
Tablo 6.26: Alternatif işletme – normal işletme kapasite karşılaştırma.....	102

ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Dünya'daki bazı şehirlerde raylı sistemlerde taşınan günlük yolcu sayısı	6
Şekil 2.2: AB Ülkelerinde toplu taşıma modları dağılımı.....	7
Şekil 2.3: İstanbul'da 2004 ve 2014 yılları toplu taşıma modları karşılaştırma	8
Şekil 2.4: İstanbul raylı sistemlerde yıllara göre artan yolcu sayısı.....	8
Şekil 2.5: İstanbul raylı sistem hatlarının yıllara göre yolcu dağılımı	9
Şekil 2.6: M2 (Şişhane-Hacıosman) hattı yıllara göre artan yolcu sayısı	10
Şekil 2.7: İstanbul raylı sistemlerde yakın gelecekte hedeflenen yolculuk değerleri	11
Şekil 2.8: Hafta içi ortalama saat bazlı yolcu dağılımları	12
Şekil 3.1: Sinyalizasyon sistemlerinde otomasyon dereceleri	17
Şekil 3.2: Dünya genelinde otomatik metroların dağılımı	19
Şekil 3.3: İşletmedeki otomatik hatların kıtalara dağılımı	20
Şekil 3.4: Ülkelere göre işletmedeki otomatik hatlar.....	20
Şekil 3.5: Şehir bazında otomatik metrolar (km olarak)	21
Şekil 3.6: Dünya genelinde km/kehir bazlı UTO dağılımı	21
Şekil 3.7: Tren kapasitelerine göre otomatik hatlar	22
Şekil 3.8: Sinyalizasyon çözümlerine göre UTO dağılımı.....	24
Şekil 3.9: Dünya genelinde UTO büyüme eğrisi	24
Şekil 3.10: Son 10 yılda UTO'nun katsal artışı	25
Şekil 3.11: Dünya çapında UTO büyüme dağılımı.....	26
Şekil 4.1: Kapasite ve güvenilirlik ilişkisi	30
Şekil 4.2: Teorik ve pratik kapasite ilişkisi.....	31
Şekil 5.1: Railsim başlangıç menüsü	35
Şekil 5.2: Railsim editörde proje oluşturma.....	36
Şekil 5.3: Veritabanı dosyası yükleme.....	36
Şekil 5.4: Sinyalizasyon sistemi için parametre girişi	37
Şekil 5.5: Editörde oluşturulan örnek bir hat	38
Şekil 5.6: Hat bilgilerinin girildiği excel şablonu	39
Şekil 5.7: Excelde girilen verilerin txt uzantılı dosya formatı	39
Şekil 5.8: Editörde gdb uzantılı modelin açılması	40

Şekil 5.9: Anlaşman tanımı yapılması	41
Şekil 5.10: Anlaşman parametrelerinin girilmesi.....	42
Şekil 5.11: Anlaşman da rota tanımlama	42
Şekil 5.12: Tren rota tanımlama.....	43
Şekil 5.13: İşletme periyodu tanımlama.....	44
Şekil 5.14: İşletme periyodu editörü	44
Şekil 5.15: Tarife tanımlama.....	45
Şekil 5.16: Tarife ayarlarının tanımlanması.....	46
Şekil 5.17: Tren tarifelerinin yapılması	47
Şekil 5.18: Tren tipinin seçilmesi.....	48
Şekil 5.19: Tren güzergâhının belirlenmesi	49
Şekil 5.20: Tren için tarifenin belirlenmesi	50
Şekil 5.21: Tren için günlük işletme planı oluşturma	51
Şekil 5.22: İşletme planlarının tanımlanması.....	52
Şekil 5.23: Tren seferlerinin belirlenmesi.....	52
Şekil 5.24: Tren seferlerini çoğullama	53
Şekil 5.25: Model veri tabanının geçerli kılınması	53
Şekil 5.26: Modelin geçerli kılınması	54
Şekil 5.27: Network simülatörde proje açma	55
Şekil 5.28: Görüntü ayarlarının yapılması	56
Şekil 5.29: Simülasyonu çalıştırma.....	57
Şekil 5.30: Gözlemlenecek parametrelerin seçimi.....	58
Şekil 5.31: Simülasyonda anlık görünüm	58
Şekil 5.32: Report generatör menüsü	59
Şekil 5.33: Detaylı tren raporu	59
Şekil 5.34: Tren için hız ve mesafe grafiği	60
Şekil 5.35: Mevcut mekik işletmenin modellenmesi	60
Şekil 5.36: Mekik modelin simülasyon raporu	61
Şekil 5.37: İlave bağlantı tünelli mekik çalışma modeli	62
Şekil 5.38: İlave bağlantı tünelli mekik modeli- peron 1 kullanımı	63
Şekil 5.39: İlave bağlantı tünelli mekik modeli- peron 2 kullanımı	63
Şekil 5.40: M58 makası ve sanayi istasyonu arası tek yol durumu	64

Şekil 5.41: Bağlantı hattı 2 ile beraber döngü işletmesi modeli	65
Şekil 5.42: Döngü işletmesinde Seyrantepe peron 1 kullanımı	66
Şekil 5.43: Döngü işletmesinde Seyrantepe peron 2 kullanımı	68
Şekil 5.44: Döngü işletmesinde Seyrantepe çift peron kullanımı	69
Şekil 6.1: Seyrantepe istasyonu ve Türk Telekom Arena stadı	71
Şekil 6.2: Mevcut Sanayi-Seyrantepe hat yerleşimi	72
Şekil 6.3: İlave bağlantı tüneli ile Sanayi-Seyrantepe hat yerleşimi.....	73
Şekil 6.4: Alternatif işletme senaryosu	74
Şekil 6.5: Alternatif işletme konsepti ve metodolojik yaklaşım	75
Şekil 6.6: Yenikapı – Hacıosman döngüsü	76
Şekil 6.7: Yenikapı istasyonu’nda geri dönüş – örnek olay A.....	77
Şekil 6.8: Yenikapı istasyonu’nda geri dönüş – örnek olay B.....	77
Şekil 6.9: Yenikapı istasyonu’nda geri dönüş – örnek olay C.....	78
Şekil 6.10: Hacıosman istasyonu'nda geri dönüş - peron 2.....	79
Şekil 6.11: Hacıosman istasyonu'nda geri dönüş - peron 1.....	79
Şekil 6.12: Hacıosman istasyonu'nda geri dönüş – çift peron.....	80
Şekil 6.13: Yenikapı – Hacıosman döngüsü servis seviyesine göre taşıma kapasitesi ...	85
Şekil 6.14: Taksim – Seyrantepe döngüsü	86
Şekil 6.15: Taksim hat sonunda geri dönüş	86
Şekil 6.16: Seyrantepe istasyonu'nda geri dönüş - peron 1	88
Şekil 6.17: Seyrantepe istasyonu'nda geri dönüş - peron 2.....	88
Şekil 6.18: Seyrantepe istasyonu'nda geri dönüş – çift peron.....	88
Şekil 6.19: Taksim – Seyrantepe döngü – servis seviyesine göre taşıma kapasitesi	92
Şekil 6.20: Yenikapı – Seyrantepe döngüsü	93
Şekil 6.21: Yenikapı- Seyrantepe Döngü- servis seviyesine göre taşıma kapasitesi	97
Şekil 6.22: Ortak hat kesimi için trenlerin dağıtımı.....	98
Şekil 6.23: Alternatif İşletimsel Konsept– İşletimsel Şema.....	99
Şekil 6.24: Alternatif İşletme - hat kesimleri için taşıma kapasitesi.....	101
Şekil 6.25: Alternatif işletme – normal işletme kapasite karşılaştırma.....	102

KISALTMALAR

- AM : Automatic Mode - Otomatik mod
- ARS : Automatic Route Setting - Otomatik Rota Ayarlama
- ATC : Automatic Train Control - Otomatik Tren Kontrolü
- ATO : Automatic Train Operation - Otomatik tren İşletmesi
- ATP : Automatic Train Protection - Otomatik Tren Koruması
- ATS : Automatic Train Supervision - Otomatik tren Denetimi
- CTC : Continious Train Control - Sürekli Tren Kontrolü
- CBTC : Communication Based Train Control - Haberleşme Tabanlı Tren Kontrolü
- DXF : Drawing Exchange Format – Çizim Değişim Biçimi
- GoA : Grade of Automation – Otomasyon Derecesi
- GPS : Global Positioning System - Coğrafi Konum Sistemi
- IEEE : The Institute of Electrical and Electronics Engineers - Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
- IEC : International Electrotechnical Commission-Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
- LFA : Load Flow Analyzer – Yük Akış Analizi
- MAS : Maksimum Available Speed – Ulaşılabilecek Azami Hız
- UTO : Unattended Train Operation - Tam Otomatik Sürücüsüz Tren İşletmesi
- UITP : The International Association of Public Transport - Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği
- TPC : Train Performans Calculator – Tren Performans Hesaplayıcı

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Dünya nüfusunun, sanayileşmenin ve buna bağlı olarak büyükşehirlerdeki yoğunluğun hızla arttığı günümüz çağında, ulaşım sorunlarını çözecek en etkili yaklaşımın toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması olduğu bilinmektedir. Toplu taşıma sistemleri içinde ise raylı sistemler sunduğu avantajları nedeniyle ön planda tercih edilmektedir. Artık gelişmiş ülkelerin büyükşehirlerinde trafik sorunlarına kalıcı çözüm getirmek için şehrin yapısına uygun olarak raylı ulaşım sistemlerine yapılan yatırımlar hızla artmaktadır.

Sinyalizasyon sistemleri raylı sistemlerin en temel bileşenlerindedir. Emniyetli, güvenli, konforlu, dakik ve hızlı bir işletme yapabilmeyi sağlayan sinyalizasyon sistemleri sayesinde yolcuların ulaşım talepleri karşılanır. Raylı ulaşımın en önemli kısımlarından biri olan sinyalizasyon sistemleri; son derece hayati fonksiyonları yerine getirerek demiryolu ulaşımının hızlı, yüksek kapasitede, verimli ve güvenli yapılmasını sağlayan, otomatik kontrol ve haberleşme sistemleridir.

Raylı sistemlerde yolculuk değerleri, aylara, günlere, özel etkinliklere (maç, miting, konser vb.), gün içindeki peak (zirve) saatlere göre değişiklik gösterebilmektedir. Gün içinde sabah ve akşam yoğun saatlerde yolcu sayılarında artış yaşanmaktadır. Spor etkinliklerinin olduğu olimpiyat etkinliklerinde, miting, konser vb. aktivitelerde bir anda yolcu yoğunluğu artabilmektedir. Bu tür zamanlarda insanları bekletmeden, konforlu bir şekilde, hızlıca istedikleri yere götürebilmek için düşük zaman aralığında hizmet sunabilmek büyük önem arz etmektedir. Yoğunluğun azaldığı saatlerde konfor ve emniyetten ödün vermeden enerji tasarruflu bir işletme yapabilmek için de sinyalizasyon sisteminin yetenekleri ön plana çıkmaktadır.

Raylı sistemlerin yolcu taşıma kabiliyeti sunduğu kapasite ile doğrudan ilişkilidir. Dünyadaki tüm metro ve hafif raylı sistemlerin tasarımı, inşası, genişlemesi kapasite fizibilite ve etütleri sonucunda oluşturulur. Günümüzde teorik (tasarım) kapasite ve pratik (gerçek) kapasite olarak iki kapasite tanımı literatürde yer almaktadır. Teorik (tasarım) kapasitesi, tek bir yön doğrultusunda bir saat içinde seçilen bir noktadan taşınabilen maksimum yolcu sayısı olarak tanımlanabilir.

Yeni hatların tasarım aşamasında, mevcut hatlarda yapılacak geliştirmeler öncesinde kapasite analizi, doğru kararların verilmesi ve yapılacak sistem tercihlerinde önemli bir yer tutar. Kapasiteye etki eden altyapı parametrelerinden bir tanesi ve en önemlisi sinyalizasyon sistemidir. Bu nedenle sinyalizasyon sistemlerinin kapasite analizi için analitik metotlardan optimizasyon metotlarına kadar birçok değişik yöntem geliştirilmiştir.

Bu tezin amacı, raylı sistemlerde mevcut durumda hissedilen ve gelecekte daha da artacak olan yüksek ve esnek kapasite ihtiyacını değerlerle göstermek, yüksek kapasite sunması açısından sinyalizasyon sistemlerinin geçirdiği aşamaları özetlemek, UTO (Unattended Train Operation) tam otomatik sürücüsüz sistemlerin bu ihtiyaç için en uygun çözümler olduğunu Dünya’da ki örnekleriyle ortaya koymak, İstanbul metrosu örneğiyle, ihtiyaç duyulan bir noktada (Seyrantepe istasyonu) simülasyonlar yaparak en yüksek kapasiteyi sunacak en uygun (optimum) işletme senaryolarını belirlemek, bu örnek çalışma ile sektördeki ilgililere ışık tutmaktır. Kapasite analizi için Railsim programında simülasyon metodu kullanılmıştır. Bu yöntemle, hat altyapısı bilgileri, makaslar, kurplar, eğimler, tren verileri gibi birçok veri sanal ortamda modellenerek performans ölçümleri yapılmıştır.

İstanbul metrosu Seyrantepe istasyonunda stat etkinliklerinde yaşanan yolcu yoğunluğunu en kısa zamanda tahliye edebilme noktasında çözümler arayışı bir ihtiyaç olması bakımından bu tez çalışmasında konu seçiminde etkili bir faktör olmuştur. Yolcu yoğunluğunu hızlıca tahliye edebilmek amacıyla kısıtlı sınırlarda yapılan ilave tünel çözümleri sonrası senaryolar railsim programı ile değerlendirilecek ve önerilerde bulunulacaktır.

Bu tez çalışmasında ikinci bölümde, kent içi raylı sistemlerin tarihi ve çeşitleri hakkında kısaca bilgiler verilecek, raylı sistemlerde kapasite taleplerinin gün geçtikçe arttığı ve önümüzdeki yıllarda daha yüksek ve esnek kapasite ihtiyaçlarının olacağı İstanbul örneğindeki yolculuk istatistikleri ve hedefleri ile gösterilecektir.

Üçüncü bölümde yüksek kapasite sunması açısından sinyalizasyon sistemlerinin geçirdiği aşamalar kısaca anlatılacaktır. Sinyalizasyon sistemlerindeki son trend olan UTO sistemlerinin avantajları anlatılacaktır. Dünya'daki metro işletmecilerinin, yüksek ve esnek yolcu kapasitesi için sinyalizasyon sistemlerindeki eğilimden ve bu konuda yapılan UTO tam otomatik sürücüsüz sistemi uygulamalarından bahsedilecektir.

Dördüncü bölümde, raylı sistemlerde kapasite kavramı incelenecektir. Kapasiteye etki eden faktörler hakkında kısa bilgi verilecek, kapasite hesaplama yöntemlerinden bahsedilecektir.

Beşinci bölümde, railsim simülasyon programı kısaca tanıtılacak, simülasyon için gerekli parametrelerden bahsedilecektir. Örnek çalışma olan Seyrantepe bağlantısında mevcut durum analiz edilecek ilave tünel yapılması durumunda nasıl bir iyileşme sağlanabilir sorusuna cevap aranacaktır. Kullanılacak farklı işletme döngülerinin simülasyonları railsim programı ile yapılacak ve sonuçları değerlendirilecektir.

Altıncı bölümde, hat geneli, Yenikapı-Hacıosman döngüsü, Seyrantepe- Taksim ve Seyrantepe-Yenikapı döngüleri beraber analiz edilecek kapasite artırımı için optimizasyon yapılacaktır. Alternatif ve normal senaryolarda sunulan kapasiteler karşılaştırılarak yoğunluk yaşanan etkinlik günlerinde en yüksek kapasiteyi sunacak en uygun (optimum) işletme senaryoları belirlenecektir

2. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER

Dünyada sanayi devriminin başlaması ile birlikte köylerden kentlere başlayan yoğun göçle kentler büyümeye ve kentlerde yaşayan insanların ulaşımları bir sorun haline gelmeye başlamıştır. Sanayi devriminin yol açtığı bu sorunu buhar makinesinin bulunması ile gene sanayi devrimi çözecekti. Buhar gücü ile çalıştırılan ilk lokomotif 1804 yılında Richard Trevithick adındaki İngiliz mucit tarafından yapılmıştır. Raylı sistemin kent içindeki ilk örneği 1832 yılında New York şehrinde atlı tramvaylarla başlar ve ancak 22 yıl sonra 1854 tarihinde Paris'e ayak basar. Paris şehri Avrupa'daki ilk atlı tramvayın kullanıldığı şehirdir. Kentlerin büyümesi ile hayvanlar yardımı ile yapılan toplu taşıma yerini 1873 yılında San Francisco'da buhar gücü ile çalışan raylı sistemlere devretmeye başlar. Elektriğin de yaygınlaşması ile kent içi raylı sistemlerde buhar gücü yerini elektriğe bırakır. İlk elektrikli tramvay 1886 tarihinde saatte maksimum 9,7 kilometrelik hızla Montgomery şehrinde devreye alınmıştır.

Yer üstünde kullanılan tramvaylardan sonra yer altındaki ilk demiryolu örneği; Londra'da 1843 tarihinde yayaların kullandığı Thames Tünel'ine raylar döşenmeye başlanır ve 1870 tarihinde yer altındaki ilk metro işletmeye açılır. İlk elektrikli metro ise 1890 yılında gene Londra şehrinde işletmeye açılır.

Tramvay sistemleri kent içi raylı sistemlerin içerisinde en eskisidir. Güzergâhı boyunca karayolu ile kesiştikleri hemzemin geçitler bulunur. Ticari hızı ve yolcu kapasitesi oldukça düşüktür. Karayolu taşıtları ile aynı yolu kullandıklarından inşasında tünellere ya da karayolundan tam izole edilmiş yollara ihtiyaç duyulmaz. Bu bakımdan yatırım maliyeti en düşük ve işletmeciliği en pratik raylı ulaşım sistemidir ancak nüfus yoğunluğu yüksek olan yerleşim yerleri için uygun bir çözüm değildir.

Hafif Metro'lar tramvay sistemlerine oranla daha yüksek yolcu kapasitesi ve ticari hıza sahiptir. Yatırım maliyeti ve fayda kriterleri göz önüne alındığında en optimum raylı ulaşım çözümüdür. Bunun nedeni, metrolar kadar yüksek maliyetli olmadıkları halde karayolundan tamamen izole edilmiş güzergâhları sayesinde metroların ulaşabilecekleri maksimum ticari hıza yakın bir hız ile işletilebilmektedirler. Ayrıca yapımında uzun ve

derin tünellere ihtiyaç duyulmadığından bir metro sisteminin yapım süresine göre daha kısa zamanda inşa edilerek hizmete açılabilirler.

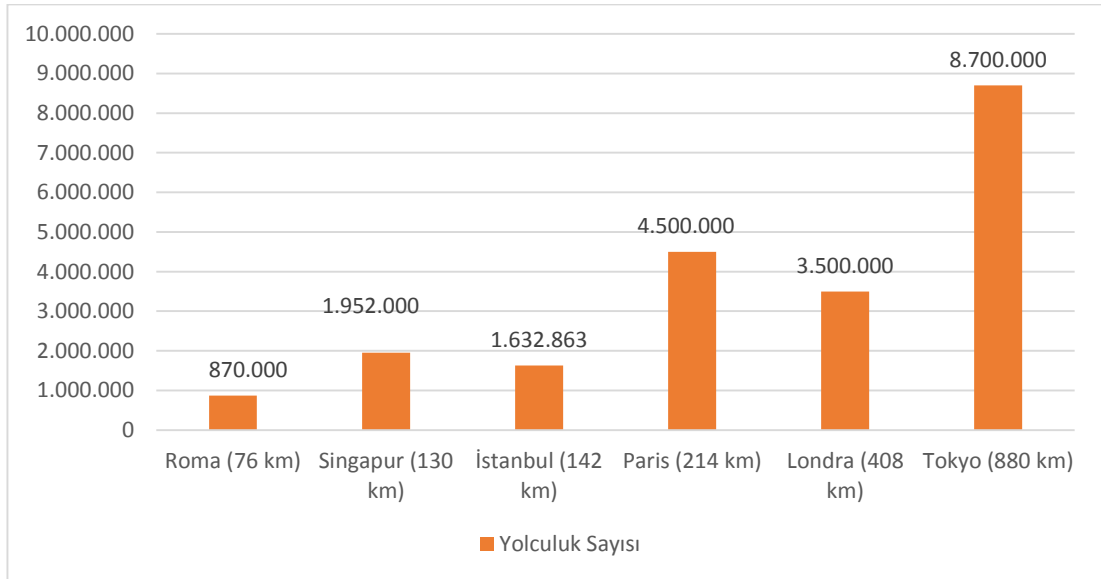
Metrolar günümüzde en yüksek yolcu kapasitesine sahip şehir içi toplu ulaşım araçlarıdır. Dünyada birçok büyük metropolün ana toplu ulaşım aracı metrolardır. Çok gelişmiş sinyalizasyon sistemleri ve araç özellikleri ile metroların ticari hızları 90 kilometre/saati bulmaktadır.

Dünya’da yıllar önce başlayan metro çalışmaları, şu anda birçok ülkede toplu taşımada en çok tercih edilen sistemler olarak önemini artırmaktadır. Bugün, Dünya’da 140 civarında metro sistemi bulunmaktadır.

İlk hattını 1863 yılında açan, 1890 da elektrifikasyona geçen Londra Metrosu günümüzde, toplam 408 km’lik 13 hattı, 275 istasyonu, 12,000 kişilik çalışanı ve günde ortalama 3.500.000 milyon yolcu talebi ile dev bir sistemdir. Shanghai metrosu 538 km’lik hattı 263 istasyon sayısı ile şu anda Dünya’nın en uzun ağına sahip metrosudur. Bilinen diğer gelişmiş metro hatları, Pekin (465 km 232 istasyon) New York (378km, 421 istasyon), Tokyo (249 km, 179 istasyon), Moskova (325 km, 194 istasyon) sayılabilir.

Şekil 2.1’de Dünya’nın değişik şehirlerindeki raylı sistem hatlarındaki günlük yolculuk değeri görülmektedir.

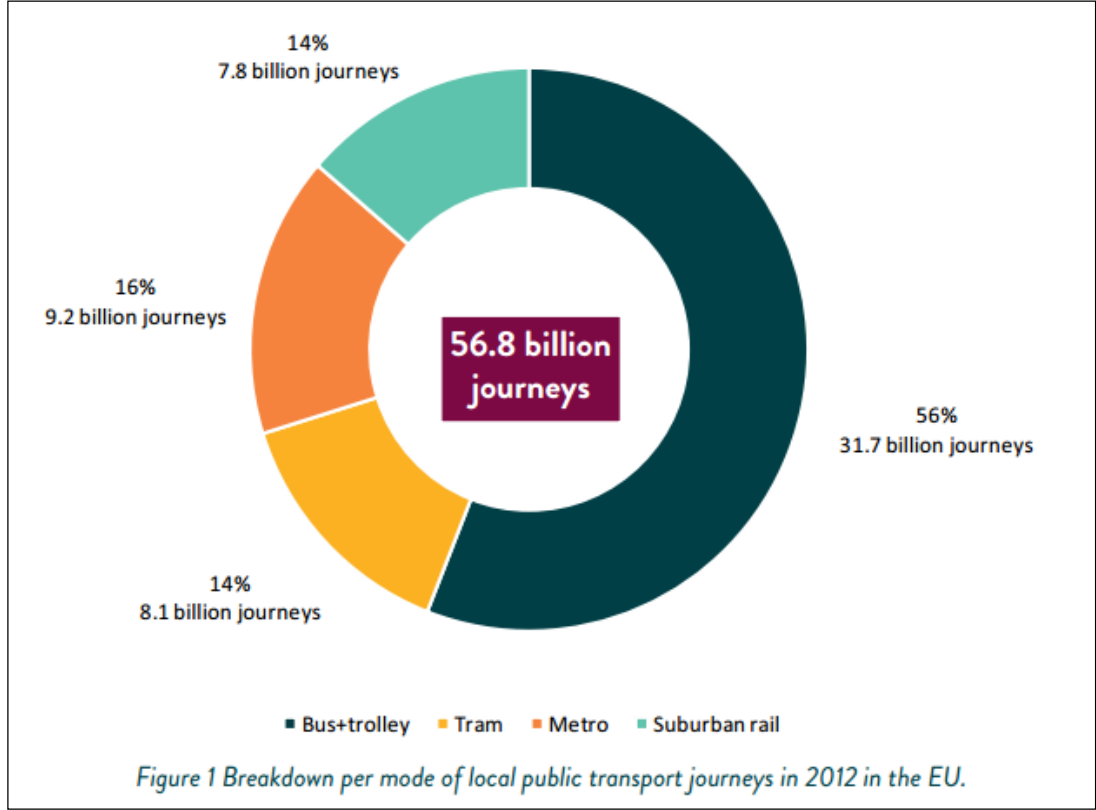
Şekil 2.1: Dünya’daki bazı şehirlerde raylı sistemlerde taşınan günlük yolcu sayısı



Kaynak: <http://www.iett.gov.tr/tr/main/pages/dunyada-toplu-tasima/96>, Haziran 2014

Şekil 2.2 de görüleceği üzere Avrupa Birliği ülkelerinde 2012 yılında kent içi toplu taşıma sistemlerinde 58 Milyar yolculuk yapılmış, yüzde 44'ü raylı sistemlerde gerçekleşmiştir.

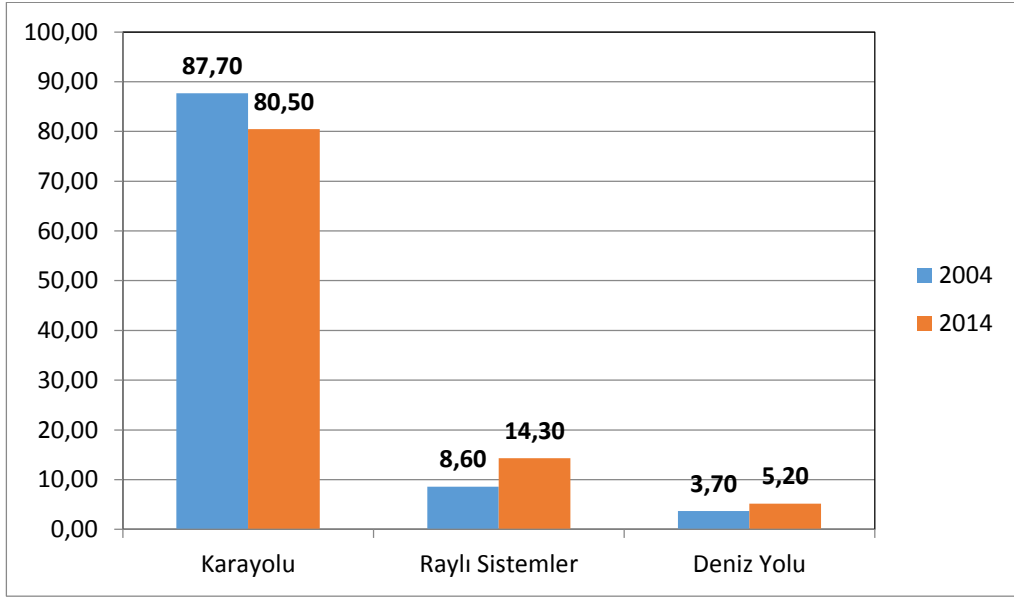
Şekil 2.2: AB Ülkelerinde toplu taşıma modları dağılımı



Kaynak: <http://www UITP.org/> Erişim: Haziran 2014

Toplu taşıma sistemlerinde raylı sistemlerin payı gün geçtikçe artmaktadır. Aşağıdaki şekil 2.3'de görüleceği üzere, 2004 yılında İstanbul ilinde raylı sistemlerin payı yüzde 8,6 iken 2014 yılında bu değer yüzde 14,3'lere yükselmiştir.

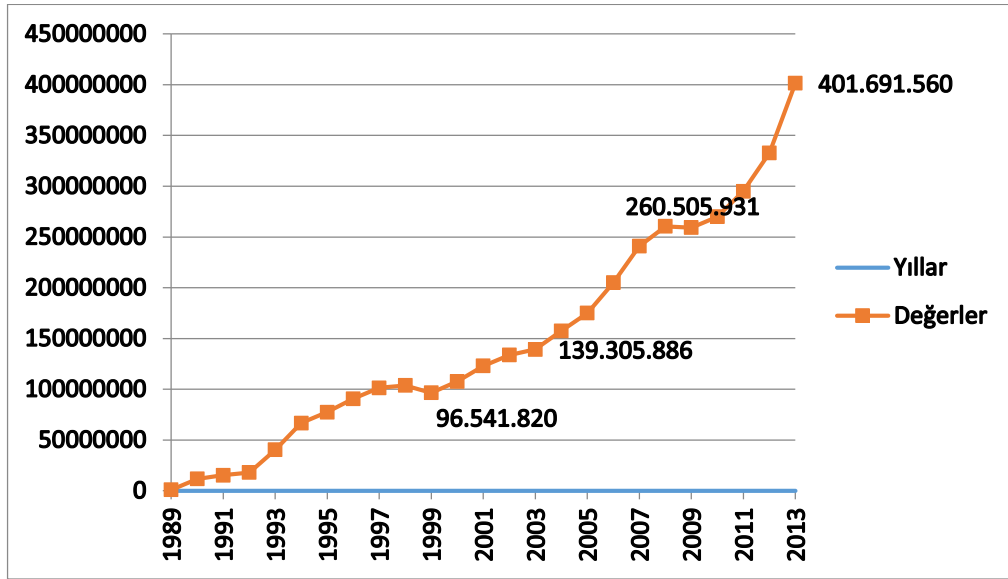
Şekil 2.3: İstanbul'da 2004 ve 2014 yılları toplu taşıma modları karşılaştırma



Kaynak: <http://www.iETT.gov.tr/tr/main/pages/istanbulda-toplu-tasima/95>, Erişim: Haziran 2014

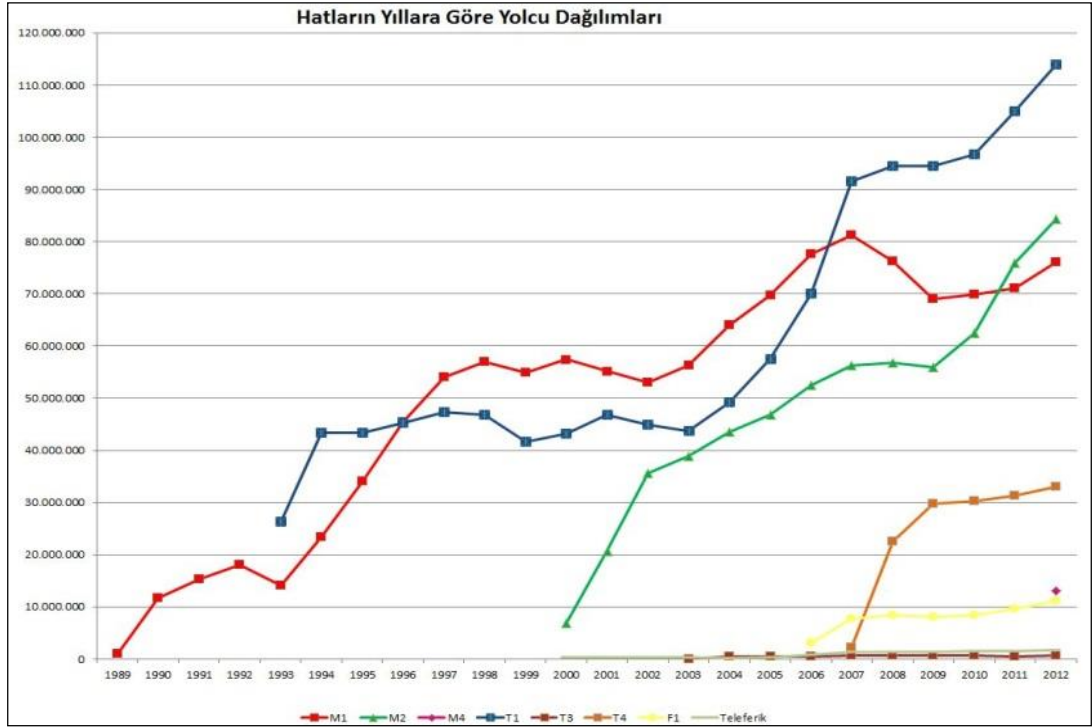
İstanbul genelinde raylı sistemleri kullanan yolcu sayısı Şekil 2.4' de görüldüğü üzere yıllara göre artmaktadır. 2003 yılında hatlar genelinde 139.305.886 değerinde yolculuk yapılmışken 2013 yılı sonunda bu değer, yüzde 194 gibi artarak 410.691.560 değerine ulaşmıştır.

Şekil 2.4: İstanbul raylı sistemlerde yıllara göre artan yolcu sayısı



Kaynak: <http://www.istanbul-ulasim.com.tr/hakkımızda/yolcu-istatistikleri.aspx>, Haziran 2014

Şekil 2.5: İstanbul raylı sistem hatlarının yıllara göre yolcu dağılımı

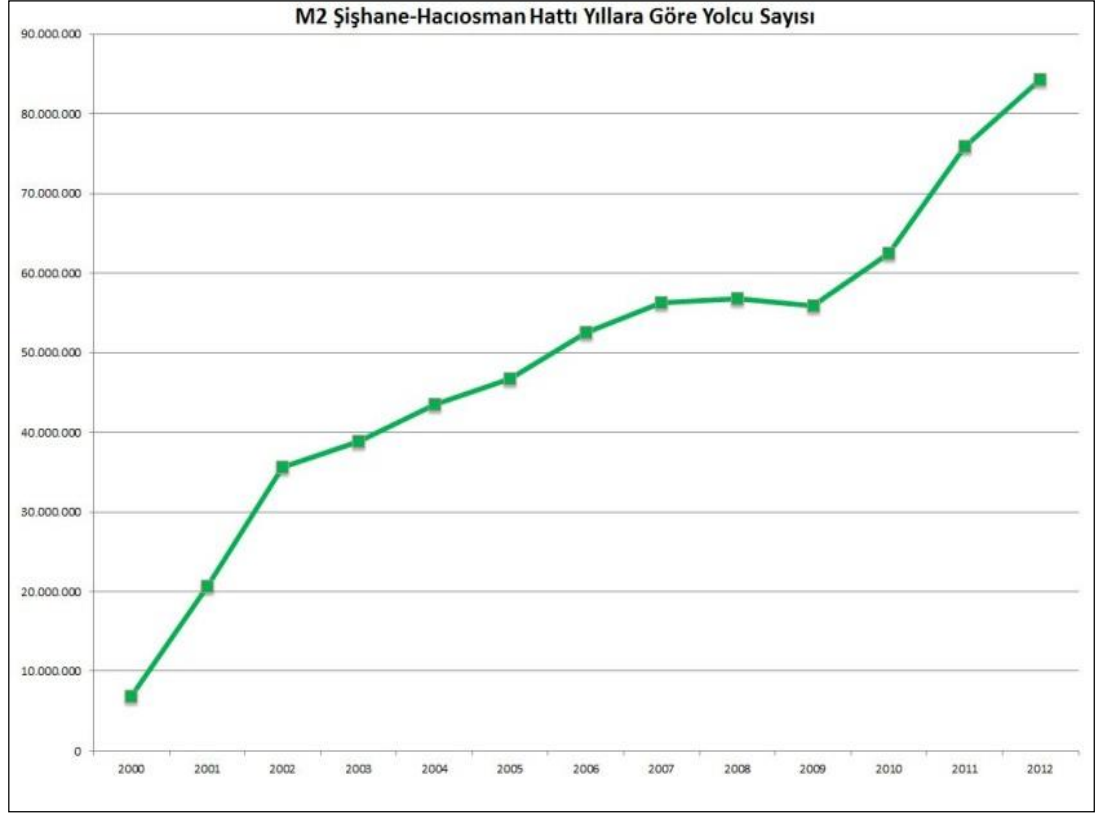


Kaynak: <http://www.istanbul-ulasim.com.tr/hakkimizda/yolcu-istatistikleri.aspx>, Haziran 2014

Şekil 2.5’de görüldüğü üzere 7 farklı hattın yıllara göre artan yolculuk değerleri görülmektedir. Bu şekil ve grafiklerden görüldüğü üzere hatların birbiriyle entegre olması sonucu mevcut hatlardaki yoğunluk daha da artacaktır ve daha yüksek kapasitede servis sunma ihtiyacı oluşacaktır.

Örneğin Şekil 2.6’da M2 Şişhane-Haciosman hattının yıllara göre artan yolculuk değerleri gösterilmektedir. 2014 yılı başında Haliç Metro geçiş köprüsü ve Yenikapı uzatması ile Marmaray’a entegre olmuştur. Yine 2014 yılı sonunda M1 Aksaray-Havalimanı- Kirazlı hatları ile entegre olacaktır. Dolayısıyla aşağıdaki grafikte entegrasyon sonrası yıllarda bu değerler çok daha yüksekler çıkacaktır. Aşağıdaki grafikte bu entegrasyonların etkisi henüz gösterilmemektedir. Yine yakın gelecekte, 2015 de M6 Levent-Hisarüstü hattıyla Levent istasyonunda, 2017’de M7 Mahmutbey-Mecidiyeköy hattıyla Mecidiyeköy istasyonunda entegre olması, 2019 da Yenikapı-Sefaköy uzatmasıyla 9 km daha güneye uzaması ile yolculuk talepleri çok artacak, yüksek kapasitede bir yolcu işletmesi gereksinimi ortaya çıkacaktır.

Şekil 2.6: M2 (Şişhane-Haciosman) hattı yıllara göre artan yolcu sayısı



Kaynak: <http://www.istanbul-ulasim.com.tr/hakkimizda/yolcu-istatistikleri.aspx>, Haziran 2014

Yeni hatların açılması ile beraber bu talep daha da artacaktır. Şu anda mevcut olan 140 km hat uzunluğunun 2019 yılında planlanan 400 km'ye çıkması düşünüldüğünde raylı sistemlerin toplu taşımadaki payı önemli bir yere gelecektir.

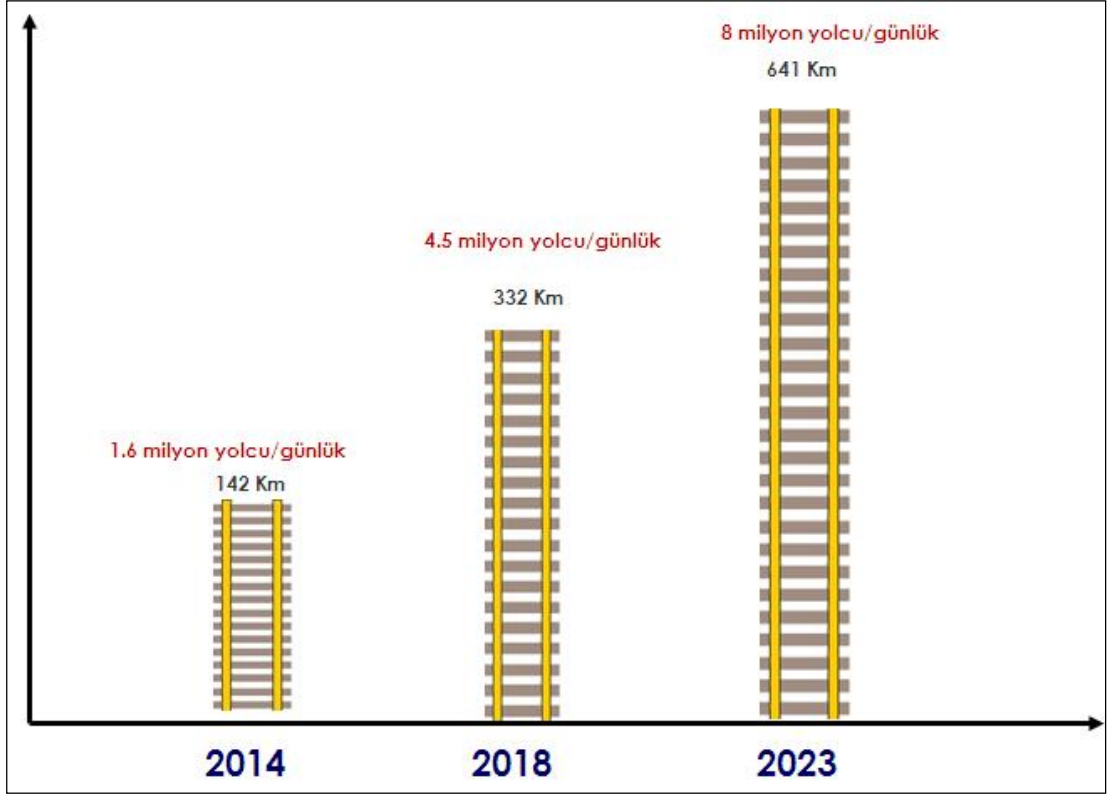
Aşağıdaki Şekil 2.7' de görüldüğü üzere;

2014 yılında 140 km uzunluğunda olan İstanbul raylı sistemlerinde günlük yolcu sayısı 1,6 milyon iken

2018 yılı 332 km hedefinde; günlük 4,5 milyon yolcu

2023 yılı 641 km hedefinde; günlük 8 milyon yolcu beklenmektedir.

Şekil 2.7: İstanbul raylı sistemlerde yakın gelecekte hedeflenen yolculuk değerleri

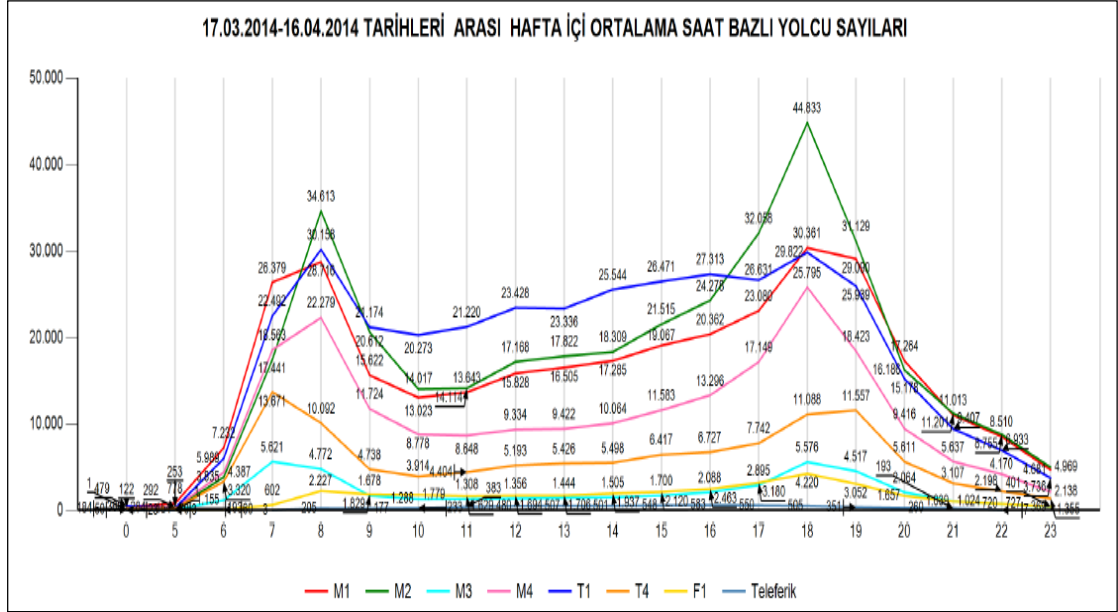


Kaynak: Ulaşım A.Ş şirket sunumu, Haziran 2014

Artan bu kapasite ihtiyaçlarına, emniyetli, dakik ve konforlu bir şekilde işletme yaparak cevap verebilmek önemli hale gelecektir. Bu nedenle yüksek kapasite ihtiyaçları için sinyalizasyon sistemlerinin optimizasyonu konusunda ciddi çalışmalar gerekecektir.

Raylı sistemlerde yolcu yoğunluklarının, aylara, günlere, özel etkinliklere (maç, miting, konser vb.) gün içindeki zirve saatlere göre değişiklik gösterebileceği giriş kısmında belirtilmişti. Gün içinde sabah ve akşam zirve saatlerde yolcu sayılarında artış yaşandığını örnekleme açısından Şekil 2.8 de İstanbul raylı sistem hatlarındaki saat bazlı yolculuk değişimleri gösterilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere M2 hattında hafta içi 08:00 ve 18:00 saatlerinde değerler zirve yapmaktadır. Bu saatlerde peronda bekleyen insanların gelen ilk araçla konforlu şekilde seyahat edebilmesi için kısa zamanda kapasiteyi artırabilme esnekliğini sağlayan bir sistem olması hizmet memnuniyetini artıracaktır.

Şekil 2.8: Hafta içi ortalama saat bazlı yolcu dağılımları



Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş. , yolcu istatistikleri raporu, 28.04.2014

Spor etkinliklerinin olduğu maç çıkışı saatlerde, miting, etkinlik vb. aktivitelerde bir anda yolcu yoğunluğu artabilmektedir. Bu tür zamanlarda insanları bekletmeden, konforlu bir şekilde, hızlıca istedikleri yere götürebilmek için düşük zaman aralığında (minimum headway) hizmet sunabilmek büyük önem arz etmektedir. Yoğunluğun azaldığı saatlerde konfor ve emniyetten ödün vermeden enerji tasarruflı bir işletme yapabilmek için de sinyalizasyon sisteminin yetenekleri ön plana çıkmaktadır.

3. RAYLI SİSTEMLERDE SİNYALİZASYON

Demiryolu kullanımının ilk yıllarında kaza veya başka problemler için önlem alınmıyor, demiryolu sadece hızlı bir ulaşım aracı olarak görülüyordu. Trenlerin hızları günümüze göre çok düşüktü bu yüzden daha kolay kontrol edilebiliyorlardı. Tren hızlarının görüş mesafesi içinde durmaya yetecek kadar düşük olması nedeniyle, tren hat boyunca ilerlerken öndeki önde tren olmadığı kabul edilerek sürüş yapılıyordu. Bunun yanında hat ve kavşak sayısı az olmakla beraber, tren katarları da az sayıda araçtan oluşmaktaydı (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Ancak gerçekleşen kazalar ve karşılaşılan problemler nedeniyle ilk aşamada el veya bayrakla işaret veren görevliler hat üzerinde görevlendirilip, tren yönlendirmeleri bu şekilde yapılmaya çalışılmıştır. Trenlerin hız ve ağırlıklarının artıp, katarların vagon sayılarının da artması sebebiyle trenlerin görüş mesafesi içinde durdurulması veya emniyetli bir şekilde yol alması problem olmaya başlamıştır. Bu nedenle tehlike arz eden bölgelerden önce işaretlerin tekrar edilmesi uygulamasına gidilmiştir. Buna ek olarak, işaret ve flamaların uzak mesafelerden görülememeleri tren hareketlerini kısıtladığından, işaretçilerin arttırılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

1840'lı yıllara gelindiğinde, hız, ekonomi ve emniyet sağlaması amacı ile zaman aralığı uygulamasına geçilmiştir. Buna göre trenler için belirli zaman çizelgeleri oluşturulup bu süreler içinde varış noktalarına ulaşmaları beklenmiştir. Ancak bu yöntemde de, trenlerin diğer trenlerin hareketlerinden haberleri olmamaktaydı (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Bu eksikliğin fark edilmesi ile zaman aralığı yerine mesafe aralık yöntemine geçilmiştir. Bu yöntemde, ray hattı belirli bloklara ayrılmış ve bu blokların girişlerine işaretler yerleştirilmiştir. Bu işaretler sayesinde yol alan makinistler girmek istedikleri bloğun meşgul ya da müsait olup olmadığını anlayabiliyorlardı (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Mesafe aralık yönteminin kullanılması sabit hat sinyallerinin keşfine yol açmıştır. Telgrafın icat edilmesiyle beraber, zil ve telgraf bir arada kullanılıp sinyal operatörlerine bir sonraki bloğa kendi bloklarının durumunu iletme ve tren hareketlerini yönlendirme olanağı sağlamıştır. Bir önceki sinyal operatörü bir sonraki operatörden müsaade istiyor

ve operatör devreye yol verdikten sonra müsaadeyi veren operatör kendi istasyonunda bulunan sinyal devresini çalıştırabiliyordu (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

1900'lü yıllara gelindiğinde, trenler arasını belirli miktarda mesafelendirme düşüncesi; kontrol operatörleri tarafından elle çalıştırılan blok sistemi, kontrollü elle çalıştırılan blok sistemi, yarı otomatik blok sistemi, otomatik blok sistemi, mekanik blok sistemi gibi değişik sistemlerle gelişmeye devam etmiştir (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Ülkemizde ilk sinyalizasyon uygulamaları ise, Sirkeci – Halkalı banliyö hattının 1955 yılında kurulumu ile başlamış ve Ankara – Haydarpaşa hattının 1968'de sinyalizasyon sistemine kavuşması ile devam etmiştir. Şu anda yaklaşık 9000 km olan ana hattın yüzde 20-25'i sinyalizasyonludur. Günümüzde ise sinyalizasyon sistemleri o kadar gelişmiştir ki, trenler otomatik olarak makinistlere ihtiyaç duymadan sürülebilir hale gelmişlerdir (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

3.1 SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ

Günümüzde birçok sistemden bahsedilse de, temel olarak metro ve hafif metrolarda üç türlü sinyalizasyon kullanılmaktadır.

- 1- Sabit(fixed) blok manuel sürüş
- 2- Sabit(fixed) blok otomatik sürüş
- 3- Hareketli(moving) blok otomatik sürüş

Sabit blok manuel sürüş sinyalizasyon sisteminde, makinisti sinyal lambaları vasıtasıyla yönlendiren bir sinyalizasyon sistemi bulunur. Günümüzde, genelde 10 dakikadan daha kısa sürelerde sefer aralığına sahip olan sistemlerde zaman çizelgesi uygulama mecburiyeti doğmuştur. 10 dakikadan daha düşük sefer aralığı bulunan sistemlerde, trenler arasındaki mesafenin korunması gerekmektedir ve sabit blok manuel sürüş sinyalizasyon sisteminde trenler arasını tam olarak ayarlamak mümkün olmadığından sefer aralıklarını tutturmak pek mümkün olmamaktadır. Bu tür sistemlerde, sefer aralıklarını tutturmak için makinistlerin tecrübelerinden yararlanılmaktadır. Ancak sefer süresinin 10 dakikanın altında olduğu durumlarda makinistler tren aralıklarını

tutturamamaktadırlar ve bu durumda Makinist Bilgilendirme Sistemleri ve Araç Takip Sistemleri kullanılması gerekmektedir. (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Sabit blok otomatik sürüş sinyalizasyon sistemine sahip olan sistemlerde, trenler otomatik olarak trafik kumanda merkezi tarafından bilgisayarlarla sürülmektedirler. Tren hareket saatleri zaman çizelgelerine göre işletme programına kaydedilir. Trenin hangi hızla gideceği bazı blokların başlarında, ya da sürekli olarak tren ile haberleşme ile belirtilmektedir. Merkezi anlaşılan trenin pozisyon ve hız bilgisini alarak, trenin nasıl ve ne zaman durması gerektiğini trene bildirir. Tren de bu bilgiler ışığında duracağı yeri ve gerekli fren gücü miktarını hesaplayıp ona göre bir fren gücü uygular. Tren çalışma sıklığı düşük tutulmak isteniyorsa, tasarım esnasında ray devreleri uzunlukları kısa tutulup ona göre sinyalizasyon yapılmalıdır. Sabit blok otomatik sürüş sinyalizasyon sistemi, 2 dakikaya kadar olan tren aralıklarında uygulanması uygun bir çözümdür, daha düşük tren aralıklarına uygulanması zordur. Manuel sürüş sinyalizasyon sistemine göre kurulumda yüzde 10-15 daha maliyetli olsa da, beraberinde getirdiği sürüş senkronizasyonu, enerji ve personel tasarrufu düşünüldüğünde uygun bir çözümdür. (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Hareketli blok otomatik sürüş sistemleri, sinyalizasyon sistemlerinin ulaştığı son noktadır. 1960'lerde başlayan araştırmalar ve denemeler sonucu ilk tam otomatik sürücüsüz raylı sistem 1983 yılında Siemens tarafından Fransa'da Lille de açılmıştır (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Kumanda merkezi trenlerle haberleşmesini hat boyunca döşenmiş olan sızıntılı kablo veya kablosuz ağ sayesinde gerçekleştirir. Kablosuz ağ kullanan sistemlerde çift kanal haberleşme kullanılır, yani sistem yedekli çalışır. Sahadan gelen bilgiler tren üzerinde karşılaştırılırlar. Trenlerin hatta hangi noktada buldukları tren tarafından GPS, aracın km sayacı, doppler radarı gibi bileşenler ile tespit edilip kumanda merkezine gönderilir. Her trenin önündeki diğer trene ne kadar yaklaşacağı trenin frenleme gücüne, hızına, yol durumuna göre sürekli olarak yeniden hesaplanır ve trene gönderilip trenin hızı ayarlanır (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

Genellikle 90 sn (saniye) ve altındaki sefer aralıklarına sahip hatlar için cazip bir sistemdir. 90 sn üzerindeki sefer aralıklarına sahip hatlar için bazen pahalı kalmakla

beraber, yolcu yoğunluğu olan hatlara uygundur. Özellikle son yıllarda IEEE tarafından açık kod olarak standarda giren Haberleşme Tabanlı Tren Kontrolü (Communication Based Train Control – CBTC) sistemleri tek firmaya bağlanmamak bakımından da avantajlıdır. Bu şekilde bir firmanın geliştirmiş olduğu sinyalizasyon sistemini diğer sinyalizasyon firmaları da uzatabilir ve bu şekilde uzatma projelerinde rekabet ve fiyat avantajı oluşur (Söyler ve Açıkbaş, 2005).

3.2 UTO: TAM OTOMATİK SÜRÜCÜSÜZ SİSTEMLER

Gelişen teknolojiyle beraber raylı sistem hatlarında, haberleşme tabanlı tren kontrol sistemleri sayesinde trenlerin makinistsiz işletilmeleri mümkün hale gelmiştir. Raylı toplu taşımada sürücüsüz veya tam otomatik sistemler günümüzde hızla yaygınlaşmaktadır. Hem hareketli blok hem de sabit blok sistemlerde tam otomatik olarak bilgisayar kontrollü tren sürüşü mümkündür. Haberleşme Tabanlı Tren Kontrol Sistemi (CBTC) ve Otomatik Tren İşletim Sistemi (ATO) sayesinde sistem sürücüsüz çalıştırılabilmektedir. Otomatik kontrollü makinistsiz sistemin avantajlarından aşağıda bahsedilecektir.

Otomatik kontrollü makinistsiz sistemler insan hatasını engellemektedir. Mevcut sistemlerde kazaların birçoğu insan hatasından kaynaklanmaktadır. Ayrılmış yol kullanımı, yaya ve araç ile çarpışmaları önlemekte ayrıca kurulan merkezi kontrol sistemleri ile kazalar minimuma indirilmektedir. Platform kapıları kullanılması durumunda hatta insan düşmesini ve yolcuların sebep olduğu gecikmeleri önlemektedir.

Otomatik kontrollü makinistsiz sistemler ile trenler arasındaki headway (işletme aralığı) süresi minimuma indirilerek yolcuların istasyonlarda bekleme süreleri kısaltılmaktadır. Aktarma noktalarında bekleme süresi kısaltılabilmektedir. Yüksek ticari hız, kısa yolculuk süreleri ve dakiklik toplu taşımının yolcu çekim etkisini arttırmaktadır.

Değişkenlik arz eden yolculuk taleplerine, hatta araç dâhil etme veya hattan araç çekme şeklinde cevap verebilme özelliği bulunmaktadır. Araç içinde makinistlerin olmaması personel verimliliğini arttırmaktadır. Araca makinist konulup konulmaması, işletme yapan kurumun seçimine bağlıdır.

Otomatik kontrollü makinistsiz sistemlerde hareketli blok sinyalizasyon sistemi uygulanmasıyla, kullanılan saha ekipmanlarının az olması sebebiyle bakım ihtiyacı azdır

ve maliyeti düşüktür. Saha ekipmanı az olduğu için arızaya müdahale daha kolay ve arıza giderme süresi daha düşüktür.





Otomatik işletme, ulaşım kapasitesini iki şekilde arttırmaktadır:

- Daha kısa aralıklarla tren çalıştırma imkânı
- İşletmede esneklik

Kısa sefer aralıklarının etkisi çok açık bir fayda olsa da, işletmede esnekliğin de ulaşım kapasitesini arttırmak bakımından büyük bir potansiyeli vardır. Kapasite artırımının, emniyetli bir ortamda ve yüksek düzeyde ekonomik verimlilik sağlayan önlemlerle başarıldığı vurgulanmalıdır.

IEC (International Electrotechnical Commission-Uluslararası Elektronik Kurulu) standartlarında sinyalizasyon sistemlerinin otomasyon derecelerini gösteren tablo Şekil 3.1 de aşağıda verilmiştir.

Şekil 3.1: Sinyalizasyon sistemlerinde otomasyon dereceleri

Grade of Automation	Type of train operation	Setting train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of Disruption
GoA 1 	ATP with driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2 	ATP and ATO with driver	Automatic	Automatic	Driver	Driver
GoA 3 	Driverless	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant
GoA 4 	UTO	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

ATP - Automatic Train Protection ATO - Automatic Train Operation

Kaynak: IEC62290 standardı

GoA (Grade of Automation) 1 seviyesi; tamamen sürücünün kontrolünde gerçekleşen, hızlanma, frenleme kapıların kapanması dahil fonksiyonların makinist sayesinde

gerçekleştirdiği ve ATP (Automatic Train Protection) sisteminin olup ATO (Automatic Train Operation) sisteminin olmadığı sistemlerdir. Örnek; M1 Aksaray-Havalimanı hattı.

GoA 2 seviyesinde; ATP ve ATO mevcut olup, hızlanma ve frenleme otomatik olarak sistem tarafından gerçekleştirilir, kapıların kapanması ve acil durumlarda makinist kontrolü gereklidir. Örnek; M2 Hacıosman- Yenikapı hattı.

GoA 3 seviyesinde; sürücüsüz olarak sistem çalışabilir fakat acil durumlarda trende bir görevlinin durumu kontrol etmesi gereklidir. Örnek; M4 Kadıköy-Kartal hattı.

GoA 4 seviyesinde; acil durumlar dâhil personel olmadan tam otomatik çalışabilen UTO sistemleridir. Örnek; yapımı devam eden M5 Üsküdar-Ümraniye hattı.

Makinistsiz hatlardaki sinyalizasyon sistemleri, trenlerin konumlandırılmasında daha yüksek kesinlik sağlamaktadır. Merkezi olarak kontrol edilen yönetim ve tren bilgilendirmesi (konum, hız, güvenli mesafeler vs.) ile bir araya geldiğinde bu, daha kısa sefer aralıklarını mümkün hale getirmektedir. Teknoloji bunda büyük bir rol oynamakta ve bu alandaki sürekli gelişim, daha fazla iyileştirmeye imkân sağlamaktadır. Teknoloji, ulaşım kapasitesini arttırmaya en fazla katkıda bulunan şey ve konvansiyonel hatların otomatik hatlara dönüştürülmesindeki en önemli faktörlerden biridir.

Gözetimsiz (unattended) trenler, insanların kullandığı trenlere egemen olan normal organizasyonel kısıtlara çare bulmakta ve trenlerin çok daha kolay şekilde trafikten çıkarılması veya dâhil edilebilmesi anlamına gelmektedir. Arz ve talebin böyle gerçek zamanlı olarak uyarlanması, en fazla ihtiyaç duyulan belirli zamanlarda tren ilavesi için işletmeciye imkân tanımaktadır. Bu ise kullanıcılara daha iyi bir ulaşım hizmeti sunmaktadır.

Genelde ulaşım kapasitesini zirve (peak) saatlerle özdeşleştirme eğilimindeyiz. Ancak makinistsiz trenlerdeki esnekliğin, konvansiyonel hatlarla gerçekleştirmesi çok zor olan ilave kapasite sunduğu başka senaryolar da mevcuttur. Otomatik hatlar, spor ve diğer önemli etkinlikler gibi talepteki alışılmadık zirvelere karşı hattın gerekli kısmına gereken trenlerin dâhil edilmesine imkân sağlamaktadır.

Başka bir ciddi zorluk da, zirve dışı saatlerde ve geceleri de verimli olan cazip bir hizmette dengeyi bulabilmektir. Daha düşük işletme maliyetleri ve daha yüksek işletme

esnekliğiyle otomatik hatlar, uygulanabilir ulaşım hizmeti sunmaya katkıda bulunmaktadır.

Esneklik sayesinde acil durum veya bakımdan kaynaklanan aksamalarda ulaşımda hizmet kalitesini sürdürülebilmektedir. Otomatik işletme bizleri, diğer sektörlerde çok zor olan bu hedefe daha fazla yaklaştırmaktadır. Esneklik, arz-talep eğrisindeki verimsiz alanları ortadan kaldırmaya yardımcı olmakta ve kaynakların daha iyi kullanımını sağlamaktadır.

Makinistsiz hatlar ayrıca enerji tasarrufu için büyük potansiyel sunmaktadır. Emniyet, makinistsiz hatların temel özelliklerinden biridir. Ulaşım kapasitesini arttıran her türlü önlem, aynı zamanda konvansiyonel hatlarınkinden kesinlikle çok daha üstün önlemler yoluyla ekstra emniyet özelliğini de beraberinde getirmektedir.

3.3 DÜNYADA UTO UYGULAMALARI

2013 yılı itibarıyla 32 kentte 700 istasyonda 48 hatta 674 km otomatik metro işletilmektedir. İlgili kentler aşağıdaki Şekil 3.2’ deki haritada gösterilmektedir.

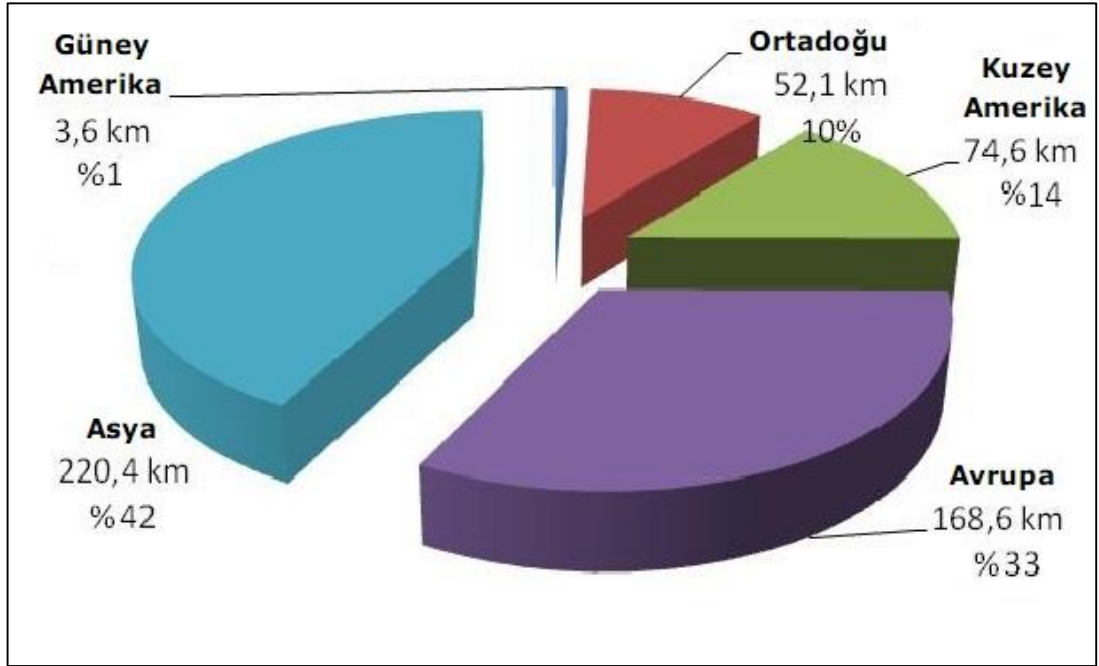
Şekil 3.2: Dünya genelinde otomatik metroların dağılımı



Kaynak: UITP, Otomatik metrolar raporu (2013) s.4

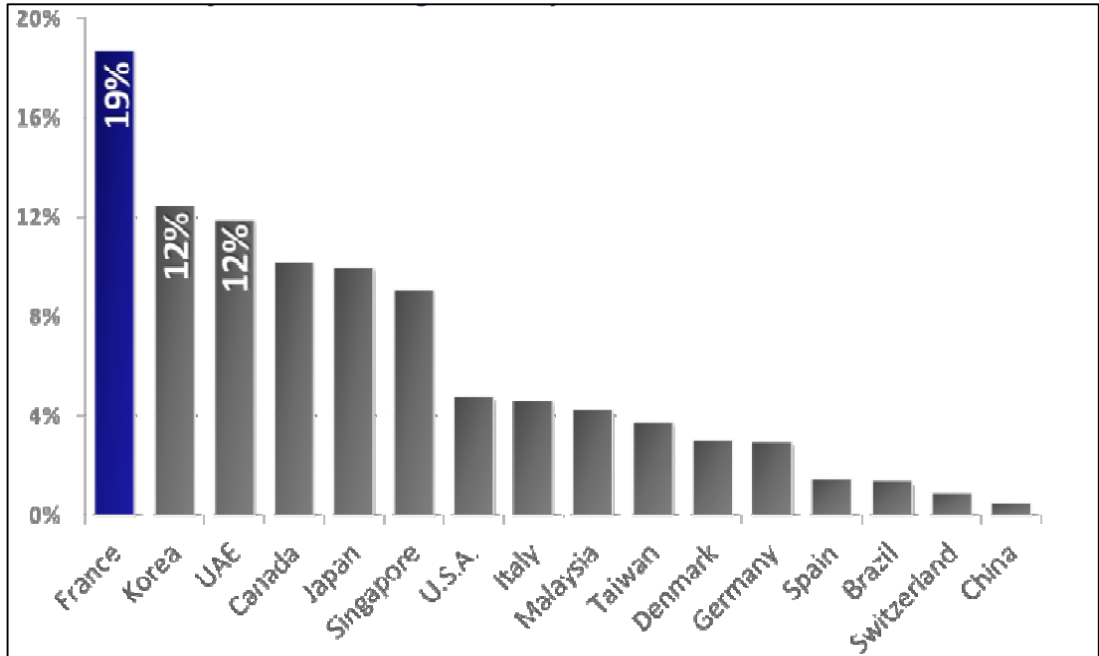
Otomatik metro hatlarının dünya çapında var olması hususuna dikkat çekmek gereklidir. Şekil 3.3 de görüldüğü üzere Asya ve Avrupa kıtaları en fazla km’yi barındırırsa da, yakın zamanda Latin Amerika’nın bu sürece dâhil olması ve Orta Doğu’da otomatik metroya yönelik teşvik, otomatik metronun küreselleştiğine işarettir.

Şekil 3.3: İşletmedeki otomatik hatların kıtalara dağılımı



Kaynak: UITP, Otomatik metrolar raporu (2013) s.6

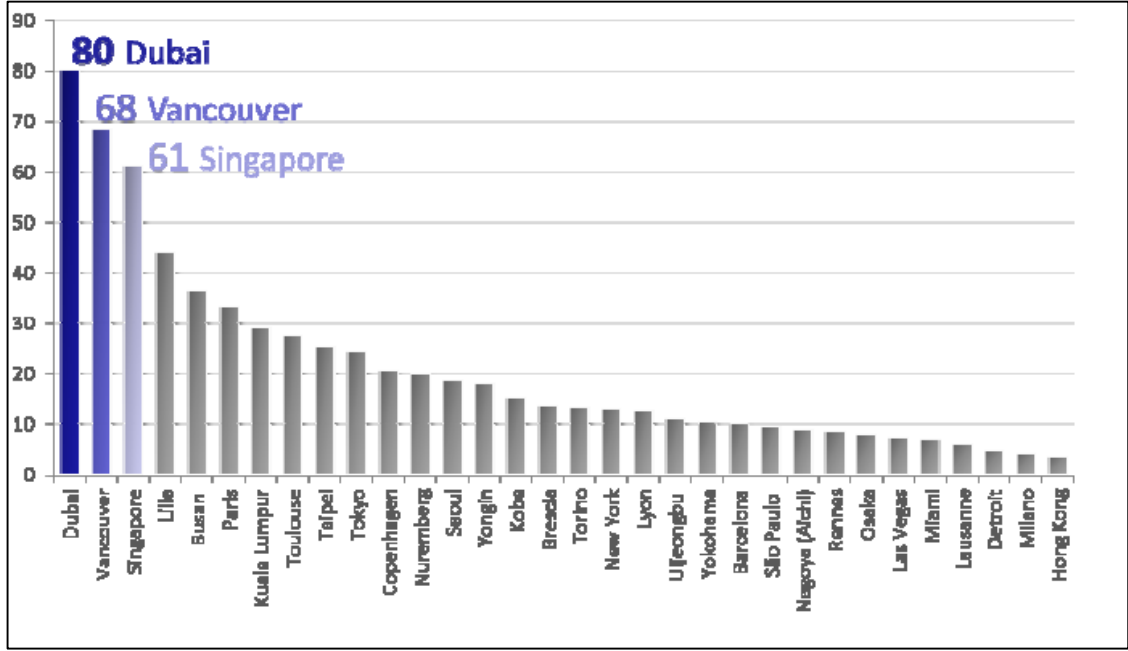
Şekil 3.4: Ünelere göre işletmedeki otomatik hatlar



Kaynak: UITP, Otomatik metrolar raporu (2013) s.7

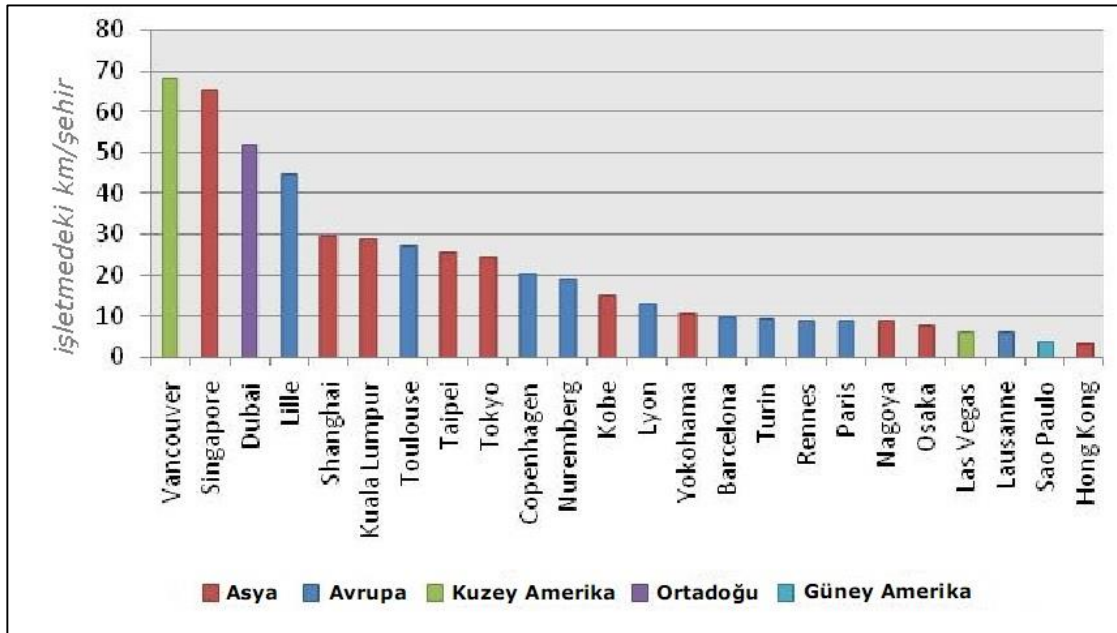
Şekil 3.4’ te veriler analiz edildiğinde, dört farklı kıtadan dört ülkenin önde geldiği görülmektedir. Fransa, ülke kategorisinde önde gelse de, en uzun 3 otomatik metro ağı Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 da görüldüğü üzere Avrupa’da değildir.

Şekil 3.5: Şehir bazında otomatik metrolar (km olarak)



Kaynak: UITP, Otomatik metrolar raporu (2013) s.9

Şekil 3.6: Dünya genelinde km/şehir bazlı UTO dağılımı



Kaynak: UITP, Otomatik metrolar raporu (2013) s.7

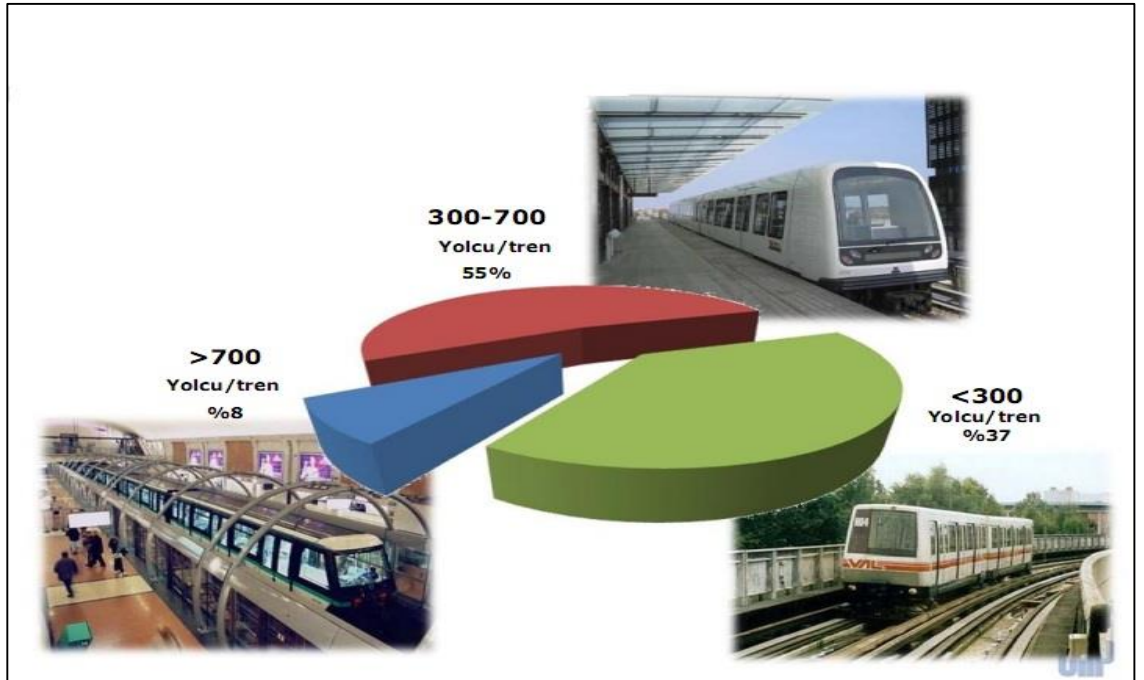
Bütün bunlar, farklı kentlerin ulaşım ihtiyaçlarını karşılayan bir sistem olarak otomasyonun uyarlanabilirliğine işaret etmektedir. Yeraltı ve yükseltilmiş istasyonların çarpıcı bir şekilde eşit önem kazanması, hat tipolojisinin çeşitliliğine kanıt olmakla birlikte, tamamen yükseltilmiş veya karma hatlarla karşılaştırıldığında tamamen yeraltından giden hatların sayısı çok azdır.

Kapasite açısından, sürücüsüz metronun (UTO) gelişimine, yani genelde düşük kapasiteli trenlerle çalışan öncü hatlardan günümüzdeki yüksek kapasiteli trenler işleten hatlara geçişe değinmek de gerekmektedir.

Şekil 3.7 'de görüldüğü üzere, günümüzde hatların büyük kısmı orta kapasiteli trenlerle hizmet vermektedir.

Son 5 yılda orta kapasitede tren araçlarında net bir artış yaşanmıştır (300-700 yolcu). Bununla birlikte, küçük ve orta kapasiteli trenlerde daha yavaş ancak paralel bir gelişim söz konusudur. Bu durum, farklı ulaşım ihtiyaçlarının karşılanması hususunda UTO'nun kullanılmaya devam ettiğini göstermektedir.

Şekil 3.7: Tren kapasitelerine göre otomatik hatlar



Kaynak: UITP Otomatik metrolar raporu (2013) s.8

Dünyadaki en uzun metro hatlarının bazıları, otomasyonun daha çok kısa hatlara uygun olduğunu savunan görüşün tersine aslında otomatiktir. Bir kısmı ise çok kısadır. Ne var ki, ortalama hat uzunluğu 15 km'dir ve bu rakam, konvansiyonel metro hatları ve bilhassa yeraltından gidenler için de aynıdır.

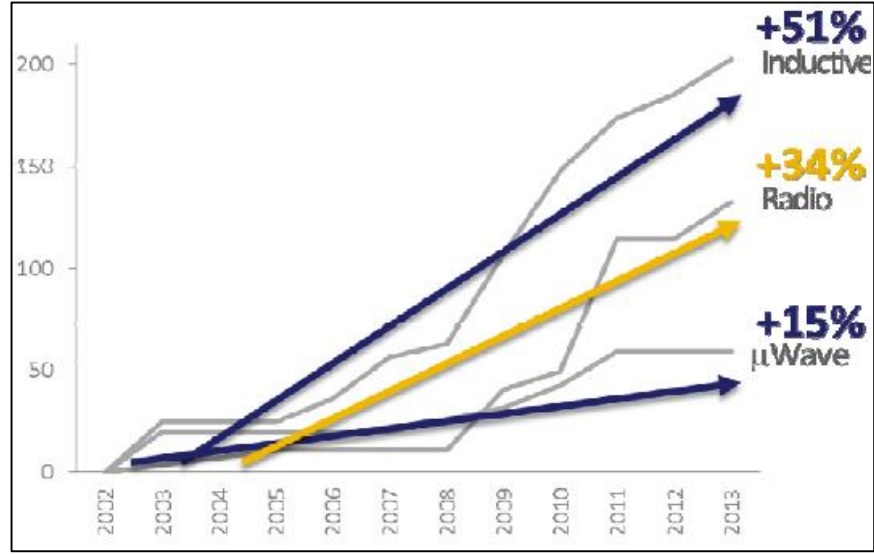
Bir hattın inşa modelinin pek çok faktörde önemli etkisi söz konusudur. UTO örneğinde, özellikle tünellerde yolcu tahliye prosedürlerinin göz önünde bulundurulması çok önemlidir.

Bir UTO işletmesinin temel avantajlarından biri de daha fazla sefer sıklığı sunma kapasitesidir.

UTO, daha uzun aralıklarla daha uzun trenler yerine, daha yüksek sıklıkta daha küçük trenlerin kullanımına imkân sağlamaktadır. Bu da yolcular için aynı kapasiteyle daha iyi düzeyde hizmet anlamına gelmektedir.

Mutlak verilere göre, Şekil 3.8' de görüldüğü üzere endüktif loop'lar, son 5 yıl içinde başlıca teknoloji (yeni hizmete giren km göz önünde bulundurularak) olmayı sürdürmektedir. Ancak işletmeye başlamamış yeni projeler incelendiğinde, yakın gelecekte telsiz tabanlı CBTC sistemlerinin kullanımının temel trend haline geleceği görülmektedir.

Şekil 3.8: Sinyalizasyon çözümlerine göre UTO dağılımı

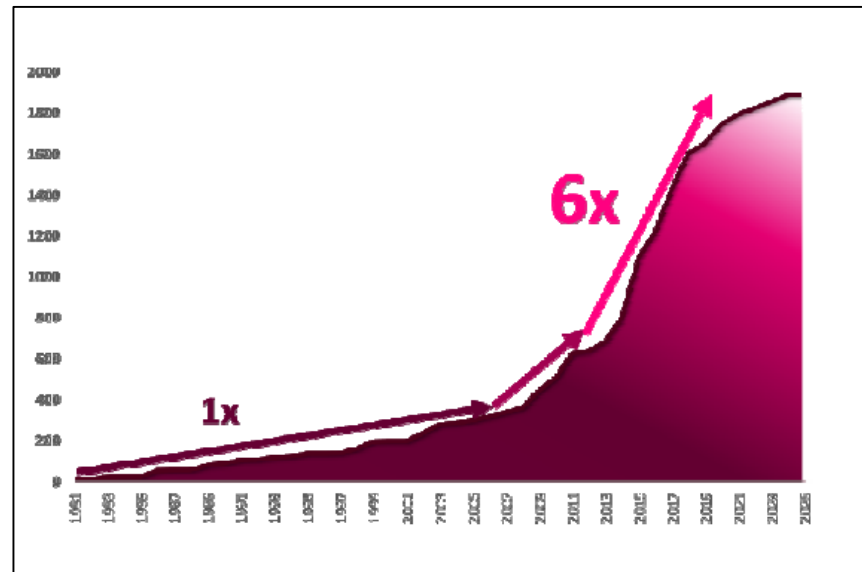


Kaynak: UITP Otomatik metrolar raporu (2013) s.10

Platform Kayar Kapılar hâkim trend olarak görünmektedir. Ancak maliyetler ve büyüyen pazar da göz önünde bulundurulduğunda, diğer algılama teknolojilerine de alan kalmaktadır.

Günümüzdeki veriler, dönüştürme projelerinin (Nürnberg ve Paris) pek yaygın olmadığını gösterse de, bu karmaşık projelerin başarısı yeni dönüştürme projelerinin uygulanabilirliğini kanıtlamıştır.

Şekil 3.9: Dünya genelinde UTO büyüme eğrisi



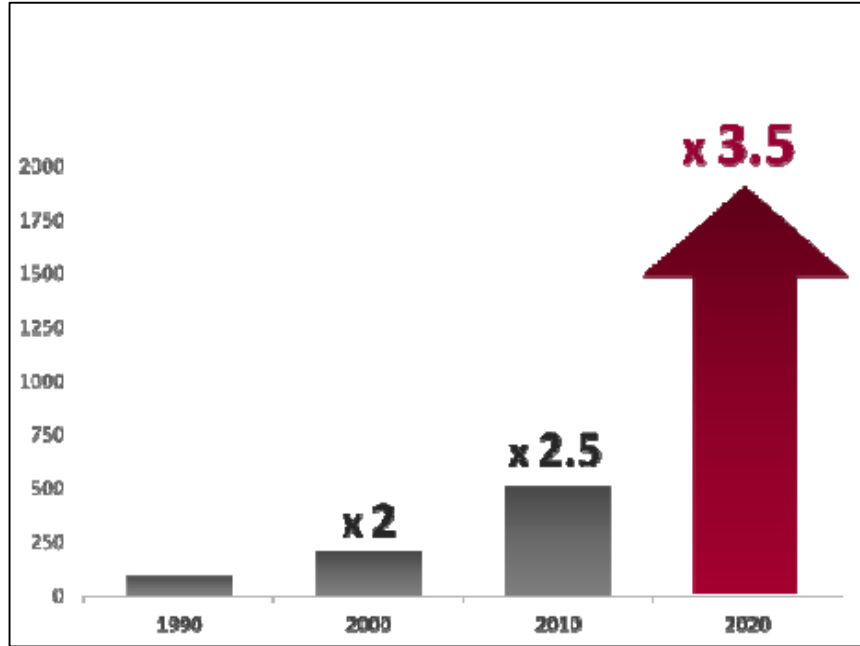
Kaynak: UITP Otomatik metrolar raporu (2013) s.11

Tüm yeni UTO projeleri ile birlikte işletmedeki mevcut hatlarda yapılacak olan uzatmalarla ilgili bilgiler sayesinde gelecek yıllarda UTO hatlarının artan km'si hakkında Şekil 3.9' da gösterildiği gibi tahmin yapılabilmektedir. Veriler, her bir projenin beklenen açılış tarihlerine atfedilmekte, böylece UTO artışının zamana yayılımını tahmin etmek mümkün olmaktadır.

Yeni projelerle ilgili veriler, metro otomasyonunda katsal büyümeye yönelik trendi ortaya koymaktadır. Şekil 3.10 de görüldüğü üzere gelecek 10 yılda, tam otomatik metro hatlarının uzunluğunun günümüze kıyasla üç kat artması ve 2025 yılına gelindiğinde ise 1800 km'ye ulaşması beklenmektedir.

Şekil 3.10' da veriler 10 yıllık sürelerle bölünmüş olup her bir 10 yıldaki büyüme bir öncekinin 2 katı olarak gerçekleşecektir. Gelecekte, bu oran mevcut büyüme oranının 3.5 katına ulaşarak artacaktır.

Şekil 3.10: Son 10 yılda UTO'nun katsal artışı

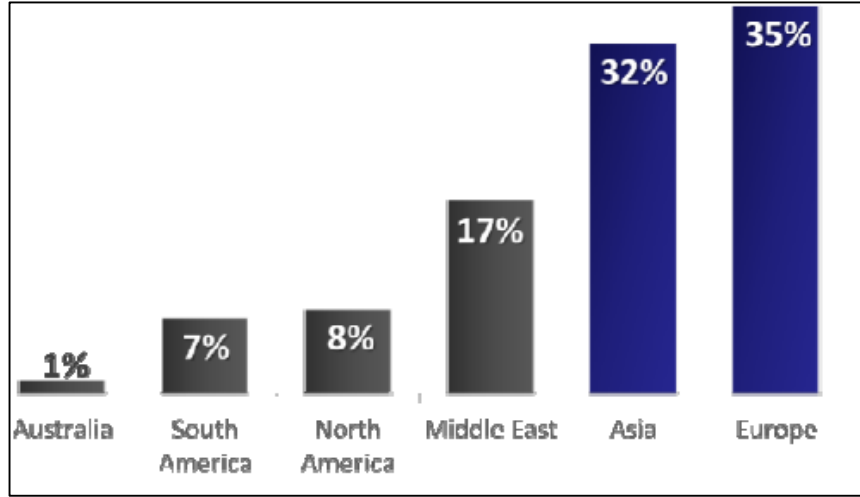


Kaynak: UITP Otomatik metrolar raporu (2013) s.11

Coğrafi olarak, 2014-2025 yılları için Avrupa kıtası büyüme açısından lider konumda olacaktır. Asya ve Ortadoğu ise UTO dünyasındaki güçlü varlıklarını pekiştireceklerdir.

Sao Paulo'nun başarısını takip eden Güney Amerika, otomatik metroyu uygulamaya devam edecektir. Ayrıca Avustralya'nın da UTO haritasına gireceğini kaydetmek de önemlidir. Bu durum Şekil 3.11 de gösterilmiştir.

Şekil 3.11: Dünya çapında UTO büyüme dağılımı



Kaynak: UITP Otomatik metrolar raporu (2013) s.12

Günümüzde otomatik metro hatlarının yüzde 40'ı Asya'da yoğunlaşmakta; bunu yüzde 32 ile Avrupa takip etmektedir. Günümüzdeki durum ile karşılaştırıldığında gelecekte UTO, 2025 yılında dünyadaki otomatik metro hatlarının yüzde 67'si Avrupa ile Asya'da yoğunlaşacak olup Avrupa kıtası bu noktada liderliğine devam edecektir. Otomatik metro hatlarının 2025 haritası otomatik metroya yönelik küresel trendi ve sektörün dinamizmini açık bir şekilde göstermektedir.

Sonuç olarak verilere göre aşağıdaki sonuçlar çıkmaktadır:

İlk hatların uygulanmasından bu yana ve tüm dünya çapındaki uygulamalar ile 30 yıllık deneyimi olan UTO başarılı sonuçlar alınmış etkili bir çözümdür.

UTO'nun hat uzunluğu veya tren kapasitesi açısından çok farklı hatlar için kullanılabilmesini böylelikle ölçeklenebilir bir çözüm olacağını göstermektedir.

Çok farklı ulaşım ihtiyaçlarına ve demografik bağlamlara sahip kentlerde uygulaması, UTO'nun uyarlanabilirliğini göstermektedir.

Otomatik bir metro hattının sunduğu tüm avantajlarının, ancak projenin bütüncül olarak değerlendirilmesi durumunda elde edilebileceği vurgulanmalıdır. Bir UTO projesini sadece teknolojik açıdan değerlendirmek yanlış olacaktır. Organizasyon ve tabii ki yolcu odaklı yaklaşım gibi diğer temel faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Özetle, UTO ile iř modelinin yeniden tanımlanması gerektiğini söylemek mümkündür.

Kapasite sınırına erişmiş olan birçok konvansiyonel hat, makinistsiz işletmeye geçişi bu problemin üstesinden gelmede çözüm olarak görmektedir. Önümüzdeki yıllarda bu durum, metro hatlarının otomasyonunda birçok sebepten biri olacaktır.

4. RAYLI SİSTEMLERDE KAPASİTE KAVRAMI

Raylı sistemlerde kapasite hesapları, karayolu sistemlerindeki hesaplamalar gibi kolay olmayıp sektöründe uzun yıllar önemli bir konu olarak değerlendirildi. Karayolunda yol kapasitesi saatte geçen araç sayısından hesaplanabilirken, raylı sistemlerde kapasite hesapları birçok parametreye bağlıdır. Kapasite kavramının tanımlanması zor bir problem olup zamanla birçok değişik tanım ve hesaplamalar geliştirilmiştir. Bu bölümde, kapasite kavramı hakkında genel bilgiler verilecek olup, raylı sistemlerde kapasite taleplerinin gün geçtikçe arttığı, sinyalizasyon sisteminin kapasite etkisi ve önümüzdeki yıllarda daha yüksek kapasite ihtiyaçlarının olacağı yolculuk değerleri ile gösterilecektir.

Şehir içi raylı ulaşım türlerini birbirinden ayıran; yolcu kapasitesi, araç niteliği ulaşılacak maksimum hız, sinyalizasyon sisteminin özellikleri, hemzemin geçit olup olmaması, hat uzunluğu, istasyonlar arası mesafe gibi özelliklerdir. En belirleyici olanı yolcu kapasitesidir. Yolcu kapasitesi, bir saatte tek yöne taşınabilecek maksimum yolcu sayısı olarak tanımlanmaktadır.

Yolcu kapasitesi, bir taşıtın taşıyabileceği oturan ve ayaktaki yolcu sayılarının toplamının, taşıt hızının, hızlanma ve frenleme ivmelerinin, hattı karayolu trafiğinden korunma oranının, ticari hızın, bir dizideki taşıt sayısının ve dizi / saat olarak sıklığın fonksiyonudur. Görüldüğü gibi kapasite kavramı şehir içi ulaşım türlerini birbirinden ayıran faktörlerin sentezi niteliğindedir. Bu nedenle şehir içi raylı ulaşım türlerinin sınıflandırılması için kapasite en tutarlı ölçüttür. Kapasite ölçütüne göre yapılacak bir sınıflandırmada, bir yöne bir saatte;

- a. 50.000 ve daha fazla yolcu taşıyan raylı ulaşım türü bölgesel tren,
- b. 30.000 ile 50.000 arası yolcu taşıyan raylı sistem türü metro,
- c. 15.000 ile 30.000 arası yolcu taşıyan raylı sistem türü hafif metro,
- d. 10.000 ile 15.000 arası yolcu taşıyan raylı sistem türü tramvay olarak adlandırılmaktadır. (Çolakkadı, M. 2013 s. 2-3)

4.1 KAPASİTE KAVRAMI

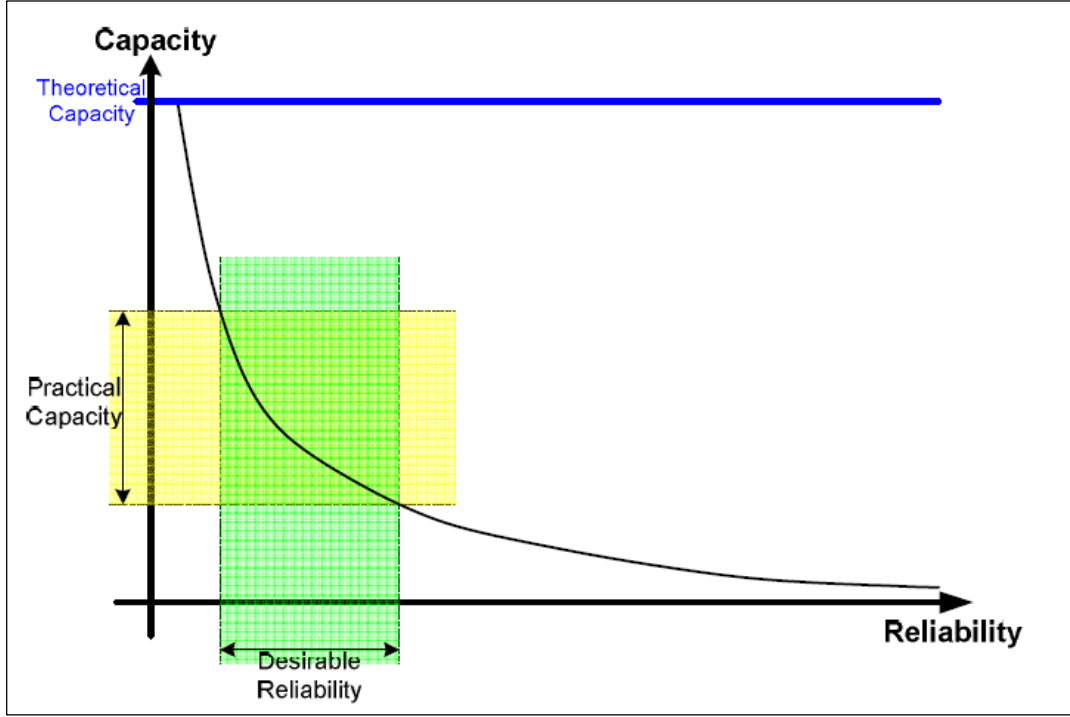
Kapasite analizinin temel amacı, belirli işletme şartları ve altyapı altında, belirli bir zaman aralığında işletilebilecek maksimum tren sayısını belirlemektir. Çeşitli yaklaşımlar ve araçlar bu problemi çözmek için geliştirildi. Yüksek kalitede bir ulaşım sağlamak için mevcut raylı sistem altyapısının verimli kullanılması, raylı sistem işletmecileri için en önemli görevleri haline geldi. Kapasite kavramı insanlar arasında kullanırken basitçe ve sübjektif olarak anlaşılabilir olduğu halde, objektif ve ölçülebilir halde bilimsel kullanımı birtakım zorluklar olduğunu ortaya çıkardı.

Kapasite; tanımlı bir raylı sistem hattında, belirli kaynaklar altında, belirli bir servis planı dâhilinde belirli bir trafik yükünün hareketinin ölçümüdür. (Krueger, 1999)
“Teorik kapasite”, “pratik kapasite”, “kullanılan gerçek kapasite”, “kullanılabilir kapasite” gibi bazı tanımlar sektörde kullanılmaktadır.

Teorik kapasite (Theoretical Capacity); tek bir yön doğrultusunda belirli bir zaman periyodunda seçilen bir noktadan geçen maksimum yolcu sayısı olarak tanımlanabilir. Formülle hesaplanır.

Pratik kapasite (Practical Capacity); makul bir güvenlik seviyesinde yapılan işletme şartlarında, aynı parametrelerin yanında yolcu çeşitliliği ve yoğun saatlerdeki talep farklılıkları da hesaplama dâhil edilerek yapılan bir kapasite hesap yöntemidir. Tren çeşitliliği ve önceliği, tren gecikmeleri hesaba dâhil edilir.

Şekil 4.1: Kapasite ve güvenilirlik ilişkisi



Kaynak: Abril, M. (2007, s.37)

Şekil 4.1 de görüldüğü gibi teorik kapasite, güzergâhın maksimum sınırını gösterirken, pratik kapasite daha uygun ve uygulanabilir bir ölçümü ifade eder. Pratik kapasite, altyapı parametrelerini, trafik ve işletme şartlarını hesaba dâhil eder. Kraft (1982), genelde pratik kapasitenin teorik kapasitenin yüzde 60-75'i arasında olduğunu ifade etmiştir.

Kullanılan gerçek kapasite (Used Capacity) ise, raylı sistem ağının mevcut servis kapasitedir ve birçok raylı sistemde pratik kapasiteden de düşüktür.

Kullanılabilir kapasite (Available Capacity) ise pratik kapasite ile kullanılan kapasite arasındaki farktır. Bu boşluk ilave tren artırımları için değerlendirilebilir. Kullanılamazsa kayıp kapasite olarak adlandırılır.

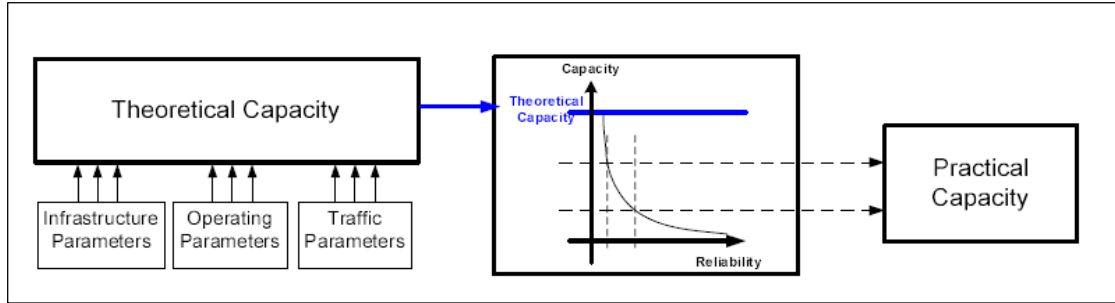
Aşağıdaki parametreler kapasite 'ye etki eden parametrelerdir.

- a. Altyapı parametreleri; blok ve sinyalizasyon sistemi, hattın yapısı, hız sınırlamaları, rota ve döngülerin tanımı vb.

- b. Trafik parametreleri; tren önceliği, trenlerin çeşitliliği, uygulanan tarife vb.
- c. İşletme parametreleri; hat kesintileri, trenin istasyonda bekleme süresi, servis kalitesi vb.

Görüldüğü gibi, kapasiteye etki eden altyapı parametrelerinden bir tanesi en önemlilerinden sayılan sinyalizasyon sistemidir. Sinyalizasyon sistemindeki, sabit blok sistemi, hareketli blok sistemi *CBTC*, *UTO* gibi kontrol teknolojileri kapasiteyi etkiler. Aşağıdaki şekil 4.2, teorik kapasite 'ye etki eden parametreleri ve teorik kapasite ile pratik kapasite arasındaki ilişkiyi anlatmaktadır.

Şekil 4.2: Teorik ve pratik kapasite ilişkisi



Kaynak: Abril, M. (2007, s.23)

4.2 KAPASİTE HESAPLAMALARI

Raylı sistemlerde kapasiteyi belirleyebilmek için değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler aşağıdaki üç başlıkta özetlenebilir;

- a. Analitik yöntemler; matematik formülleri ve cebirsel çözümlere dayanan yöntemdir. Genel olarak; kapasite hesaplamasının ilk adımıdır, pratik metotlarla ve simülasyon çalışmalarıyla doğrulanması için çalışmalar yapılır. Analitik modellerin değişikliklerine göre sonuçlar farklılık gösterebilir. Modellerde ki farklı giriş parametreleri sonucu etkiler. Giriş parametrelerinin değişimi, tren çeşitliliği gibi faktörler sonucu kolaylıkla etkiler.
- b. Optimizasyon yöntemleri; kapasite hesaplamaları ve analizleri için stratejik ve kritik metotlar geliştirilmesinde kullanılır. Sadece matematik ve cebirsel formülleri dikkate almaz, bunların yanında tarife (timetable) stratejileri de

değerlendirilir. Bu metodun amacı, optimum maksimum kapasiteyi yakalayabilmek için tarifeye ilave yeni trenler dahil etmektir.

- c. Simülasyon yöntemleri; bilgisayar yazılımları aracılığıyla, gerçek durumu sanal ortamda modelleyerek dinamik davranışları gözlemleyebilmeyi ve sonuçları karşılaştırabilmeyi sağlayan çok yararlı programlardan oluşur. Özellikle tasarım aşamasında veya mevcut durumda yapılması düşünülen bir değişiklik öncesi sonuçları görebilmeyi ve tahmin edebilmeyi sağlar. Bu yüzden tasarım aşamasında kullanılması çok kritik bir öneme sahiptir. Railsim, Railsys, Opentrack vb. gibi ticari programlar Dünya genelinde kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında Railsim programı ile simülasyonlar yapılmıştır.

Birçok önemli çalışmada dizayn kapasitesi tanımı, teorik kapasite veya maksimum teorik kapasite gibi farklı başlıklar altında sunulmuştur. Dizayn kapasitesi, tek bir yön doğrultusunda bir saat içinde seçilen bir noktadan geçen maksimum yolcu sayısı olarak tanımlanabilir.

Gerçek kapasite tanımı ise, dizayn ve inşaat aşamalarını tamamlayan ve işletmeye açılan bir hattın veya ağın işleme başladıktan sonraki dönemde, aynı parametrelerin yanında (1 saat, tek yön), yolcu çeşitliliği ve pik saatlerdeki talep farklılıkları da hesaplama dahil edilerek yapılan bir kapasite hesap yöntemidir. Kısaca, tek yönde sistemin ve talebin çeşitliliğinin izin verdiği ölçüde bir saat içinde taşınan maximum sayıda yolcu sayısı gerçek kapasiteyi verir. (Candemir ve Tanyel, 2005)

Dizayn kapasitesi = Hat kapasitesi (max. tren/saat)* Tren Kapasitesi

Gerçek Kapasite = Dizayn Kapasitesi * Pik saat değişkenlik faktörü

$$\text{Dizayn kapasitesi} = \frac{3600}{\text{trenler arası mesafe(sn)} + \text{istasyonda bekleme süresi(sn)}} * \frac{\text{Tren}}{\text{araç}} * \frac{\text{araç}}{\text{yolcu}}$$

Saniye cinsinden tren aralıklarının hesaplanmasında aşağıdaki parametreler dikkate alınır:

- a. Trenler minimum takip mesafesi takip aralıkları
- b. Sinyalizasyon sistemleri

- c. Tren uzunlukları
- d. Hattın geometrik özellikleri
- e. Kavşaklar, kesişimler, dönüşler (cadde içinde giden raylı sistemlerde geçerlidir.).

Saniye cinsinden istasyonda bekleme süreleri hesaplanırken dikkate alınan faktörler aşağıda sıralanmıştır:

- a. Platform tipleri
- b. Araç kapı sayıları ve genişlikleri
- c. Ücret toplama sistemleri
- d. Tekerlekli sandalyeli yolcular ve bu kişilerin iniş-biniş imkânları/standartları

Dizayn kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan temel faktörler şunlardır:

- a. Araçlardaki koltuk sayısı,
- b. Araçlardaki ayakta yolculuk yapan yolcu sayısı, (ayakta durulacak boş alan, m²' ye düşen yolcu yoğunluğu)
- c. Treni oluşturan araç sayısı,
- d. Tren aralıkları (sinyalizasyon sisteminin trenlerin birbiri ardına tek yöndeki seferlerini etkilemeleri, istasyon durma zamanları, baş istasyonlardaki bekleme süreleri).

Yukarıdaki 4 maddenin hesaplamaları somut sayısal sonuçlardan oluşur ve detaylı matematiksel yaklaşımlarla ile bulunur. Örneğin herhangi bir şehirde kurulacak olan bir metro hattı için hangi sinyalizasyon sisteminin kurulacağı ve hangi istasyonda trenin daha fazla veya daha az bekleyeceği o şehrin ulaşım etüdü ve karakteristik özellikleri ile ilgilidir. Fakat gerçek kapasiteyi oluşturan faktörler daha çok insana, dolayısıyla o kentteki yaşam biçimine dayalıdır. (Candemir ve Tanyel, 2004).

5. RAILSİM PROGRAMI VE SİMULASYONLAR

Railsim, raylı sistemleri modellemek için geliştirilmiş bir analitik yazılım programıdır. Karmaşık raylı sistemleri simülasyon yapabilmek ve trenler, fiziksel saha, kontrol sistemleri, tek trenlerin işletmesi gibi unsurlar arasında etkileşimleri görebilmek için tasarlanmıştır. İlk olarak 1990 yılında kullanılmaya başlanmış ve gelişerek birçok raylı sistem projelerinde kullanılmıştır. Hafif metro, metro, şehirlerarası raylı sistemler vb. gibi birçok sistemi doğrulukla modelleyerek simule edebilir, performans sonuçlarını gösterebilir. Bu bölümde railsim program kısaca tanıtılacak, hattın modellenmesi ve simülasyonu aşamalarından özetle bahsedilecektir.

Bu bölümde Sanayi Mahallesi Seyrantepe istasyonları arasında railsim programında gerçekleştirilen 5 farklı simülasyon çalışması gösterilecektir. İlk olarak mevcut işletme modellenmiş ve herhangi bir inşaat faaliyeti yapılmadan mevcut yapı ile sefer sıklığının ne kadar azaltılabileceğine dair çalışma yapılmıştır. İkinci olarak üçüncü ilave tünel (bağlantı hat 4) inşaatı ile mekik işletme modellenmesi yapılmış ve sefer sıklığının azaltılmasına dair simülasyon yapılmıştır. Son olarak ise bağlantı hattı 2’de eklenerek mekik işletme yerine 4. Levent İstasyonundan gelen trenlerin bir kısmının Sanayi Mahallesi istasyonunda makas aracılığı ile saparak Seyrantepe istasyonuna ulaşması ve tekrar 1 ve 2 numaralı bağlantı hattını kullanarak Sanayi Mahallesi istasyonu üzerinden 4. Levent istasyonuna varışı şeklindeki bir döngü işletmesi modellenmiştir. Bu modelde bütün trenlerin Seyrantepe İstasyonu’nun 1. peronunu kullanması, 2. peronunu kullanması ve peronların karışık kullanılması olmak üzere 3 farklı simülasyon yapılmıştır.

Şekil 5.1’ de görüldüğü üzere altı adet modülü bulunmaktadır.

Railsim Editör; raylı sistem altyapısını ve işletme veri tabanının oluşturulmasını sağlar. Sinyalizasyon tasarım optimizasyonu, sinyal güvenli frenleme mesafesi ve headway hesaplamaları gibi raylı sistemin önemli konularına destek sağlar.

Railsim Network Simülatör; belirlenmiş bir işletme planı üzerine tanımlanmış zaman periyotlarında gerçek raylı sistem modelini çalıştırır.

Railsim Load Flow Analyzer (LFA); enerji sistemlerinin güç ve yük analizlerini yapar.

Railsim Train Performans Calculator (TPC); tek bir tren için simülasyon yapar ve tren performans hesaplamasına yardımcı olur.

Şekil 5.1: Railsim başlangıç menüsü



Kaynak: Railsim 8 programı

Railsim Report Generator; yapılan simülasyonların sonuçlarını detaylı olarak istenilen formatlarda yazı grafik olarak üretilmesini sağlar.

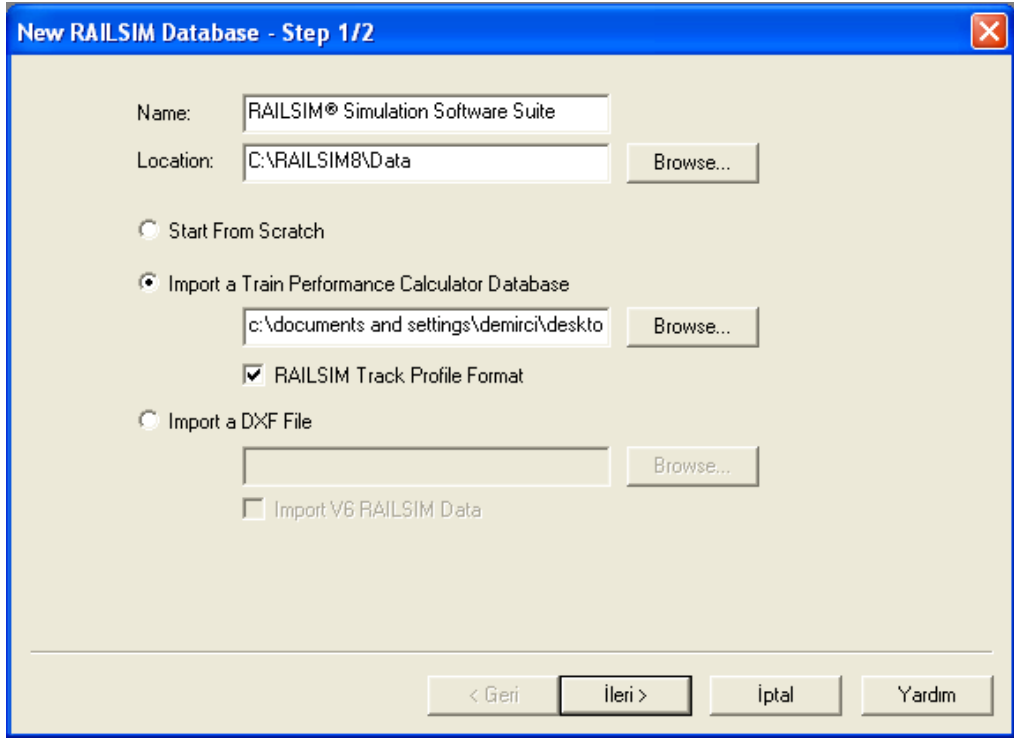
Railsim Timetable Designer; İşletme için tarife tasarım programıdır.

5.1 RAILSİM EDİTÖRDE HATTIN MODELLENMESİ

Railsim Editör de Şekil 5.2' de görüldüğü üzere üç farklı şekilde proje oluşturulabilir.

- Editörde çizim yaparak
- TPC için uygun formatta oluşturulmuş veritabanı dosyasını import ederek
- Hat veri tabanını içeren DXF (Drawing Exchange Format) dosyasını import ederek

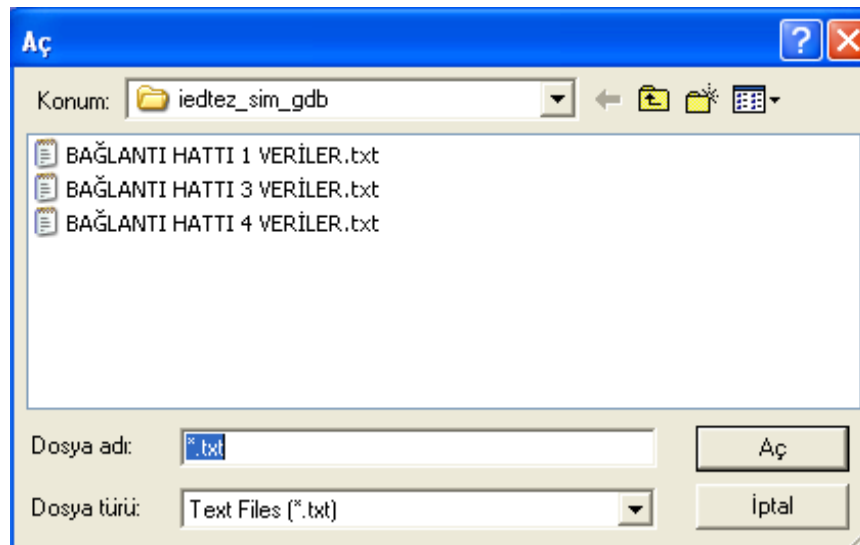
Şekil 5.2: Railsim editörde proje oluşturma



Kaynak: Railsim 8 programı

Bu çalışmada, TPC veritabanı dosyasının import edilmesi metodu kullanılmıştır. Şekil 5.3’ de görüldüğü üzere “Import a Train Performance Calculator Database” seçeneği tıklanarak ilgili txt uzantılı dosyalar seçilir.

Şekil 5.3: Veritabanı dosyası yükleme



Kaynak: Railsim 8 programı

Dosyalar seçildikten sonra bazı ayarların yapılması gerekmektedir. İlk olarak süreler, kullanılacak birimler, çalışılacak sayfanın x y koordinatları vb. ayarlanır. Daha sonra ikinci adımda Şekil 5.4’ de görüldüğü üzere sinyalizasyon sistemi için gerekli bilgiler seçilir.

Şekil 5.4: Sinyalizasyon sistemi için parametre girişi

Import Track Profile - Step 2/2

If signal Braking Location (BL data) information is included in the TPC data selected for import, you can specify the default values for all signals:

Direction: East West Both

Signal Type: Configuration:

Number of Heads: Control:

Display Location: Type of Signaling:

Signal Located: Offset Distance: meters

Trip Stop: Trip Stop Offset: meters

Circuit Boundary: Insulated Joint Bond

Pre-Shunt

East: meters

West: meters

Post-Shunt

East: meters

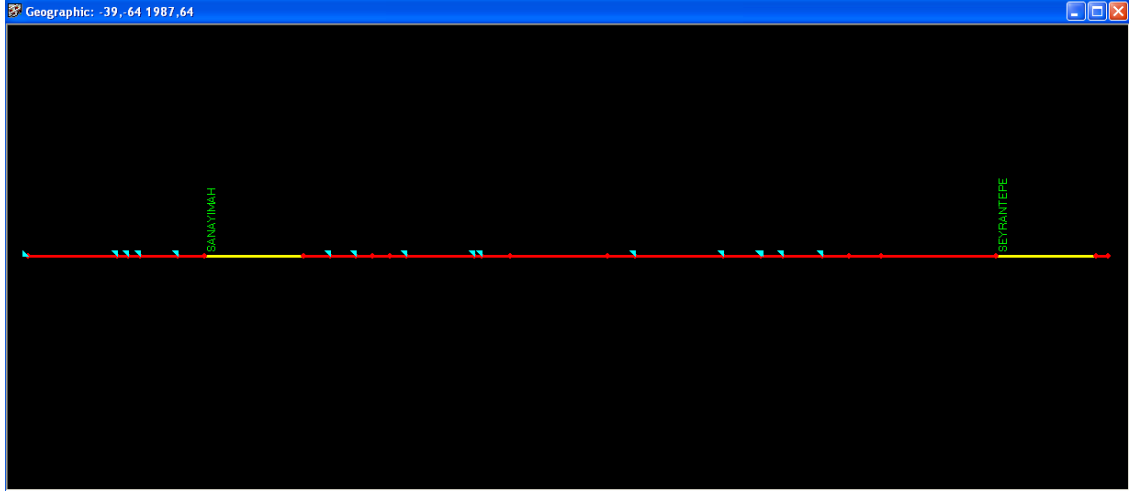
West: meters

< Geri Son İptal Yardım

Kaynak: RAILSIM 8 programı

Böylelikle ilgili hat yapısı editörde oluşturulmuş olur. Şekil 5.5’ de görüldüğü üzere hat yapısında sarı renkli yerler peronlar olup mavi noktalar hattın özelliğinin değiştiği yerlerdir. Örnek; hat eğimi, kurp özellikleri gibi.

Şekil 5.5: Editörde oluşturulan örnek bir hat



Kaynak: RailSim 8 programı

TPC veri tabanı dosyasının oluşturulması için Şekil 5.6' da görülen excel şablonu kullanır. Bu şablonda

- a. Segment Data; hattın kesim bilgileri
- b. Grade Data; hattın eğim bilgileri
- c. Curve Data; hattın kurp bilgileri
- d. Platform Data; peronların başlama bitiş metrik bilgileri
- e. Speed Data; hattın hız kısıtlamalarının bilgileri
- f. Tunnel Data; tünel yapılarının bilgileri

İstenen formatta girildikten sonra çalıştırılan bir excel makro programı sonucu railsim programının kabul edeceği formatta Şekil 5.7'de görüldüğü gibi txt dosyası üretilir.

Şekil 5.6: Hat bilgilerinin girildiği excel şablonu

RAILSIM® - TPC Track Data Template						
** Segment Data						
Data Type	Units (M,I)	Track SG ID	Location of Start (x100)	Location of End (x100)		
SG	M	11	0	194800		
** Grade Data						
Data Type	Units (M,I)	Track SG ID	Location of Start (x100)	Grade (%x1000)		
GR	M	11	0	-2500		
GR	M	11	18100	0		
GR	M	11	54500	2500		
GR	M	11	80500	-3000		
GR	M	11	132200	0		
GR	M	11	194800	0		
** Curve Data						
Data Type	Units (M,I)	Track SG ID	Location of Curve/Tangent Start (x100)	D (Degree of Curvature) or R (Radius)	Curvature (degree x 1000) or Radius	Superelevation of curve (feet/metersx1000)
CV	M	11	0	R	-333	
CV	M	11	16100	R	0	
CV	M	11	20200	R	1000	
CV	M	11	27100	R	0	

Kaynak: Railsim 8 programı

TPC için kullanılan excel formatında uzunluk bilgileri cm cinsinden girilmektedir.

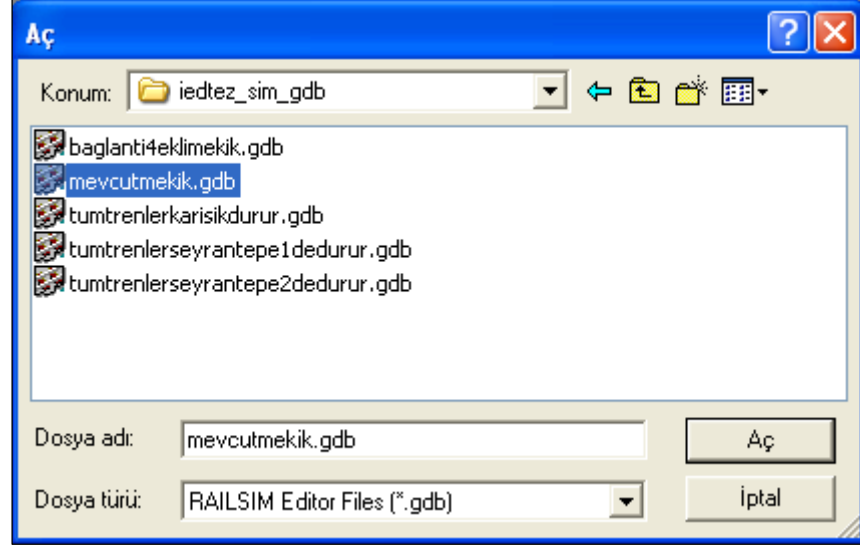
Şekil 5.7: Excelde girilen verilerin txt uzantılı dosya formatı

BAĞLANTI HATTI 1 VERİLER.txt - Not Defteri						
Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım		
**BAĞLANTI HATTI 1 DATA						
SGM11	0	194800				
**						
GRM11	0	-2500				
GRM11	18100	0				
GRM11	54500	2500				
GRM11	80500	-3000				
GRM11	132200	0				
GRM11	194800	0				
**						
CVM11	0	R	-363			
CVM11	16100	R	0			
CVM11	20200	R	1000			
CVM11	27100	R	0			
CVM11	59200	R	300	S		
CVM11	62200	R	300			
CVM11	65300	R	300			
CVM11	68300	R	0			
CVM11	81900	R	200	E		
CVM11	86900	R	200			
CVM11	104500	R	200			
CVM11	109500	R	0	E		
CVM11	125400	R	1000			
CVM11	132500	R	0			
CVM11	136200	R	300			
CVM11	143300	R	0			
CVM11	148000	R	0			
CVM11	194800	R	0			
**						
PLM11	31800	49800	SAN	SANAYIMAH		
PLM11	174500	192500	SEY	SEYRANTEPE		
**						
CSM11	0	16100	60	C		

Kaynak: Railsim 8 programı

Oluşturulan projeler. gdb uzantısı ile kaydedilir. Daha sonra Şekil 5.8’de görüldüğü üzere editör programı aracılığıyla açılarak üzerinde gerekli çalışmalar yapılabilir.

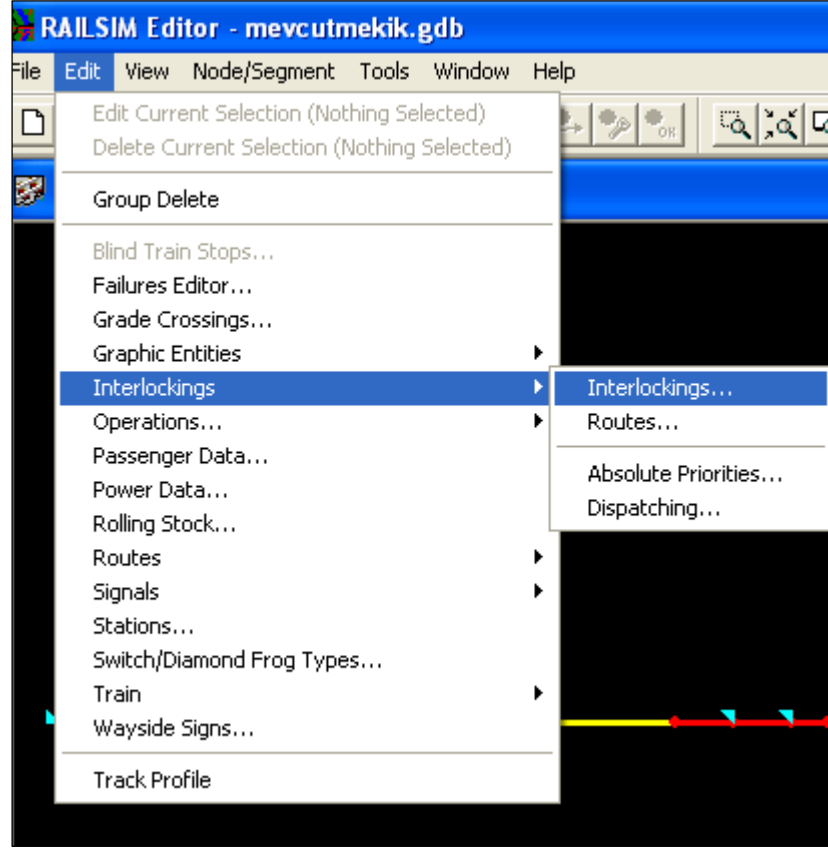
Şekil 5.8: Editörde gdb uzantılı modelin açılması



Kaynak: Railsim 8 programı

Oluşturulan hat modelinde çalışabilmek için rotaların belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için de interlock (anlaşman) sisteminin tanımlı olması gerekmektedir. Şekil 5.9’da görüldüğü üzere Edit > Interlockings > Interlockings kısmından anlaşman tanımlaması yapılır.

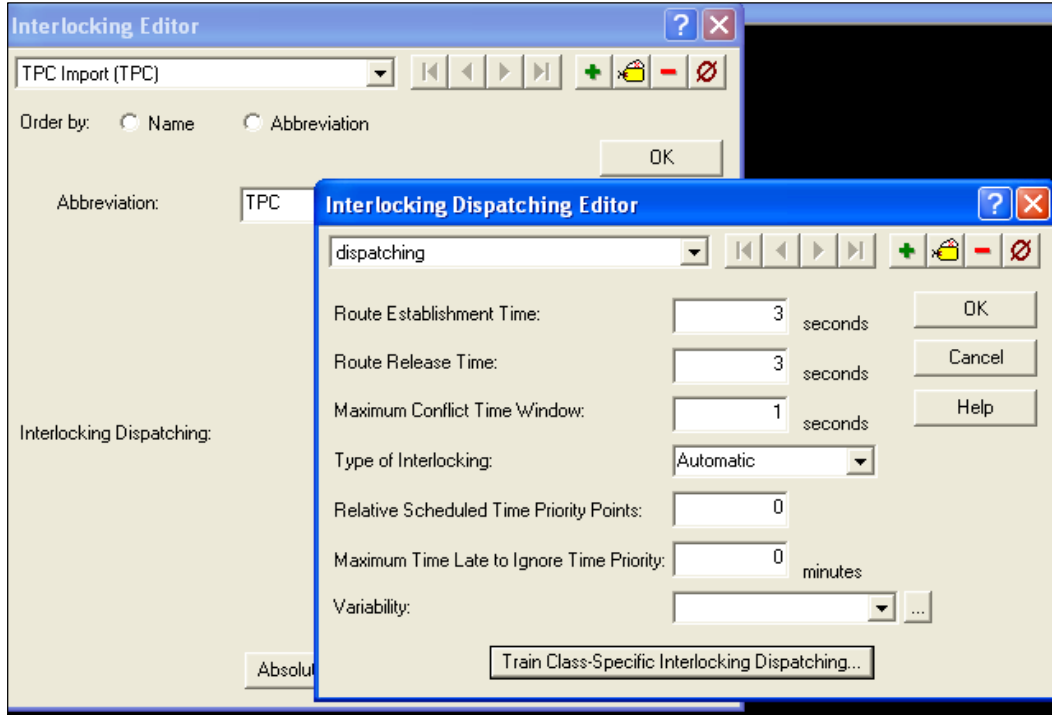
Şekil 5.9: Anlaşman tanımı yapılması



Kaynak: Railsim 8 programı

Şekil 5.10'da görüldüğü üzere interlock editör kısmında dispatching sekmesinde rota tanımlama süresi, rota iptal süreleri, maksimum çıkışma süre pencereleri gibi zaman detayları tanımlanır.

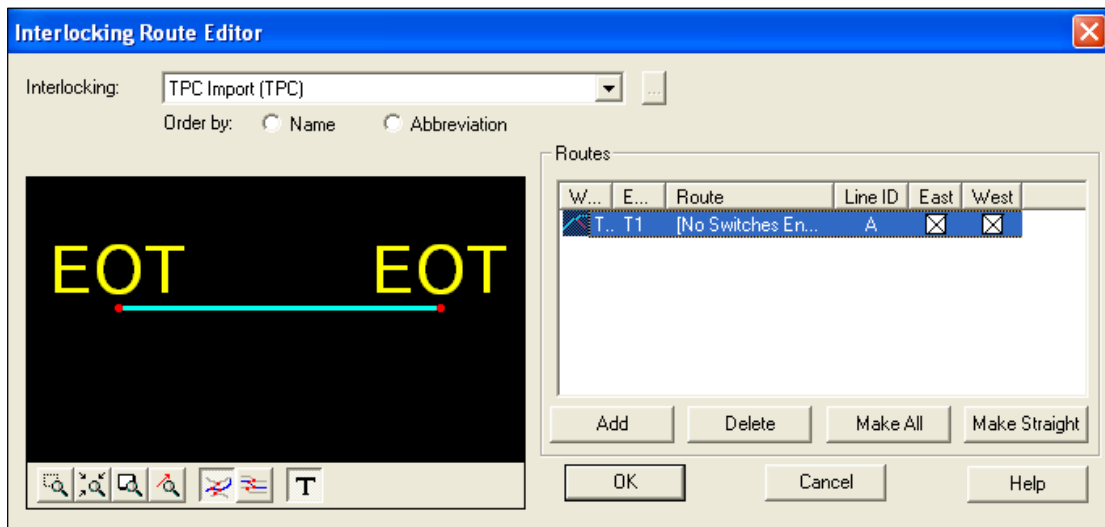
Şekil 5.10: Anlaşman parametrelerinin girilmesi



Kaynak: Railsim 8 programı

Interlock route editör penceresinden gerekli rotalar tanımlanır. Program otomatik olarak tüm rotaları üretebilecek düzeydedir ve kendi otomatik olarak tanımlar. Şekil 5.11' de görüldüğü üzere tanzim edilebilir rotalar listelenir.

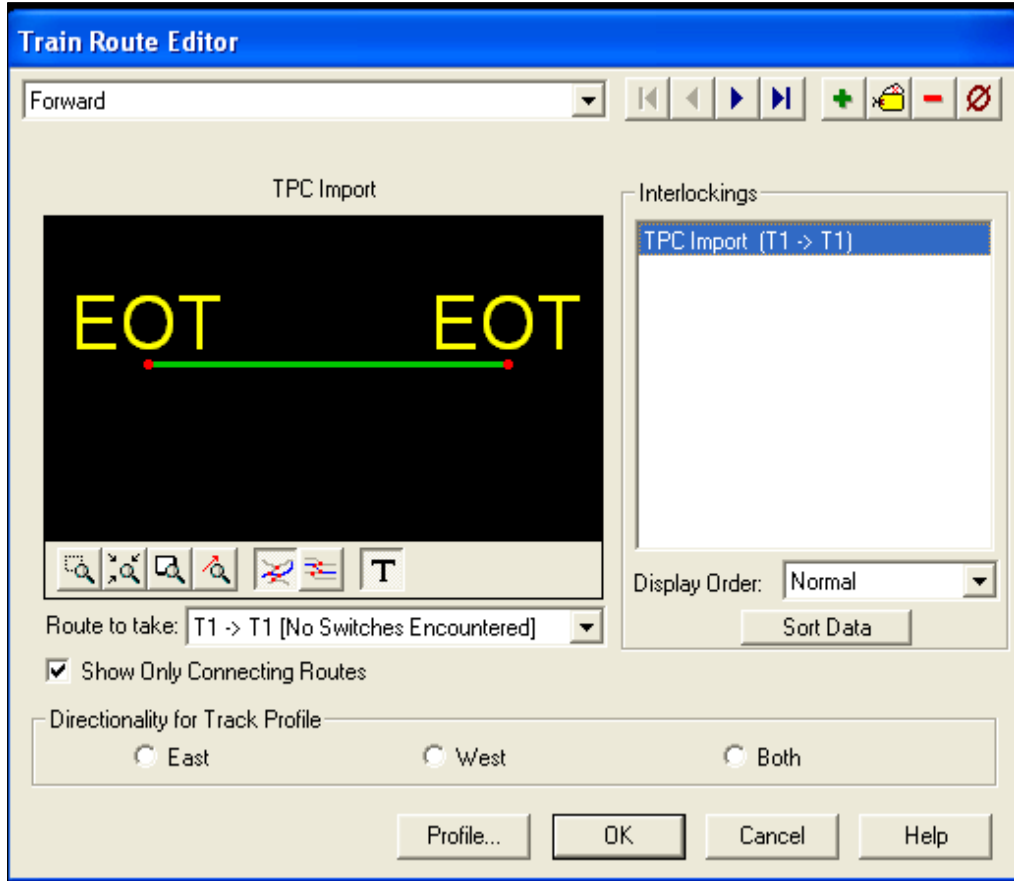
Şekil 5.11: Anlaşman da rota tanımlama



Kaynak: Railsim 8 programı

Bir de Şekil 5.12’de görülen “Train route editör” sekmesinden tren için ilerleyeceği güzergâh tanımlanır. Bir noktadan bir noktaya yolculuk gibi düşünülebilir. Düz ters, doğu batı gibi özellikleri belirtilir.

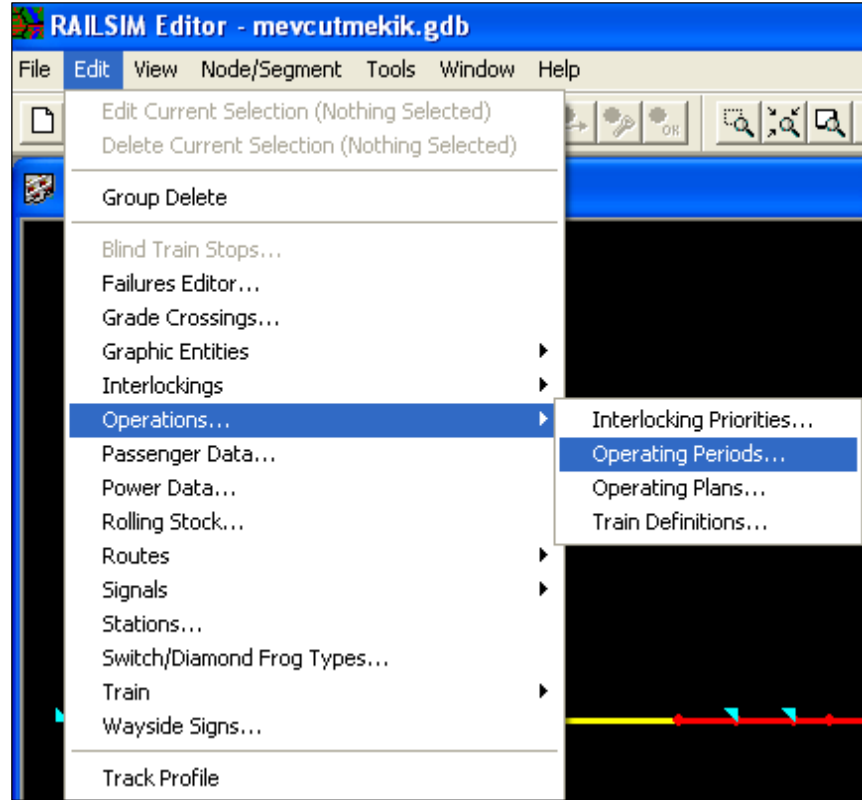
Şekil 5.12: Tren rota tanımlama



Kaynak: RAILSIM 8 programı

Daha sonra Şekil 5.13’de görüldüğü üzere Edit > Operation > Operation Periods kısmından işletme periyodu tanımlanmalıdır. Bu periyotların dışında simülasyon yapılması durumunda program hata vermektedir.

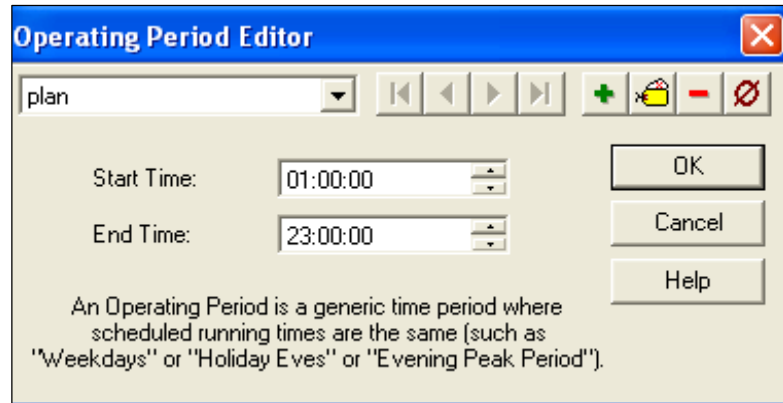
Şekil 5.13: İşletme periyodu tanımlama



Kaynak: Railsim 8 programı

Eğer uzun süreli işletme periyotları tanımlanacaksa örneğin; haftaiçi haftasonu tarifesi, yaz kış tarifeleri gibi burada belirtilmelidir. Şekil 5.14’de görüldüğü üzere gün içindeki başlama ve bitiş zamanı belirtilir.

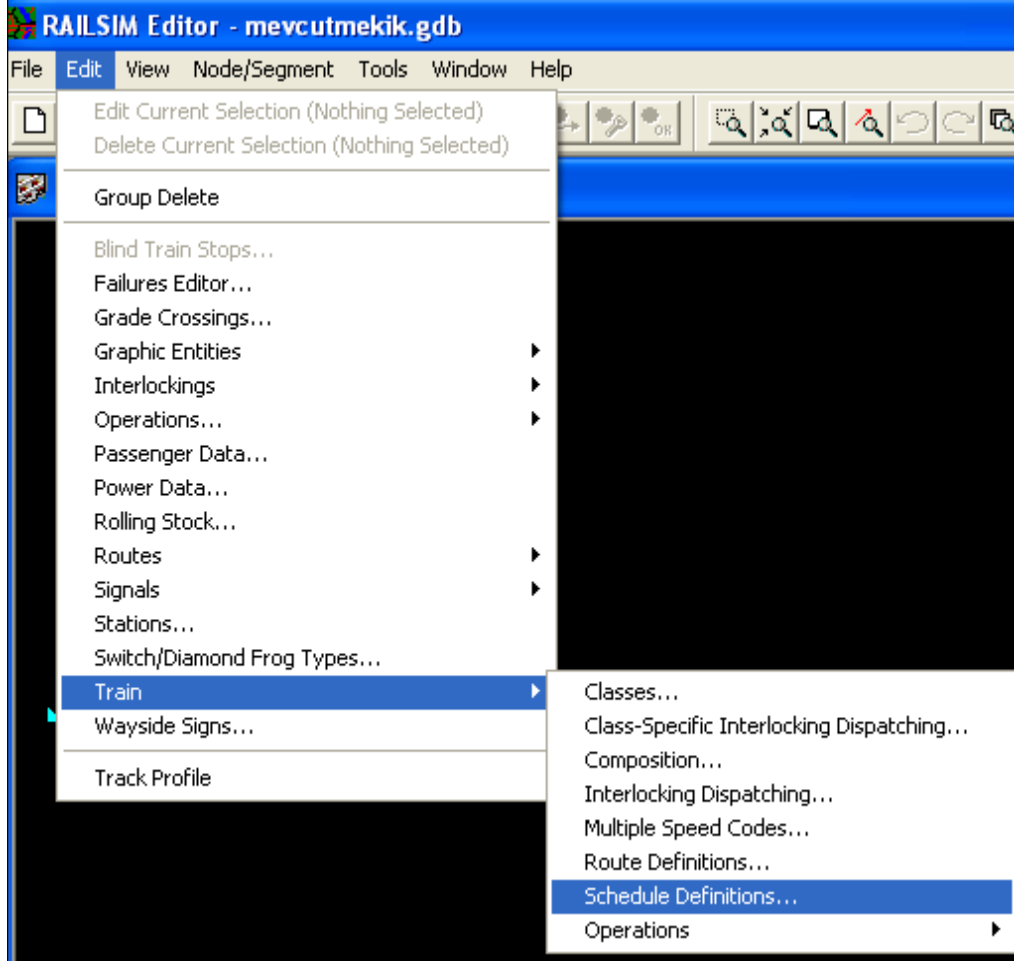
Şekil 5.14: İşletme periyodu editörü



Kaynak: Railsim 8 programı

İşletme periyotları tanımlandıktan Şekil 5.15’de görüldüğü üzere sonra Edit > Train > Schedule Definitons kısımlarından tarifeler tanımlanır.

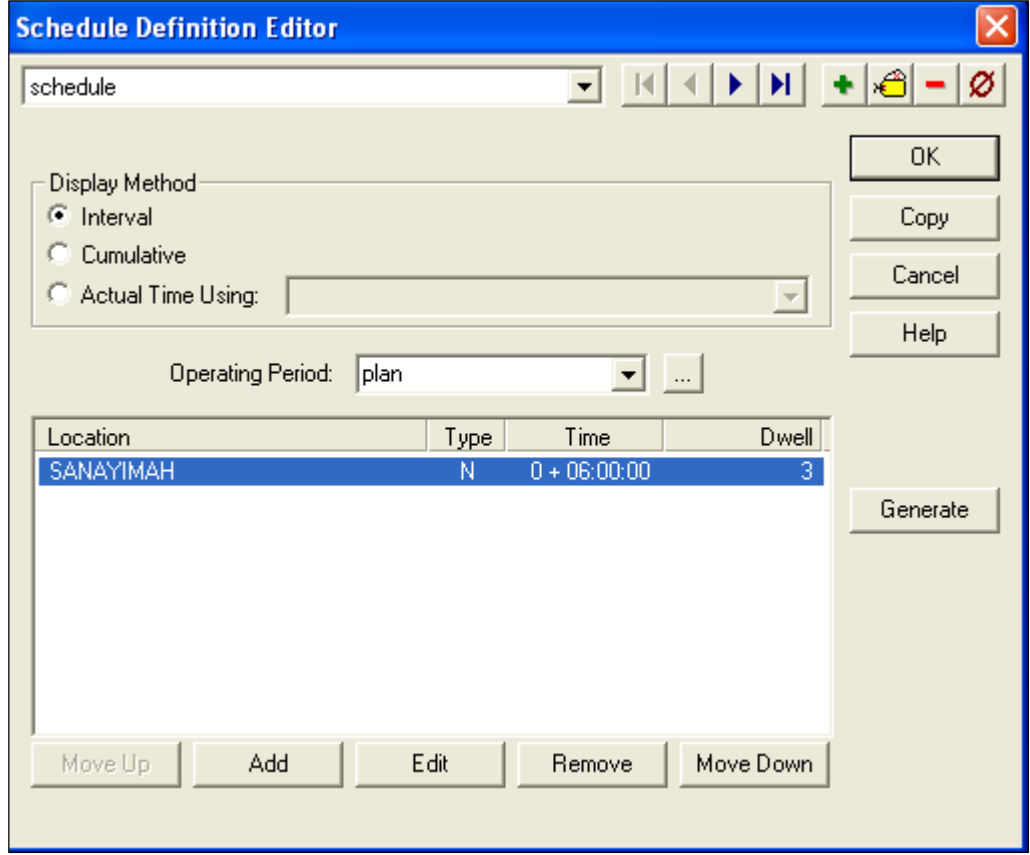
Şekil 5.15: Tarife tanımlama



Kaynak: Railsim 8 programı

Tarifelerde döngü yapan trenler için Şekil 5.16’da görüldüğü üzere zamanlama programı yapılır. Burada tren tipleri, bekleme süreleri, istasyona giriş ve ayrılış sürelerinin özellikleri girilir. İstasyondan hemen mi ayrılacağı, kaç dakika gecikme ile ayrılacağı, durmadan mı ilerleyeceği vb. özellikler belirtilir.

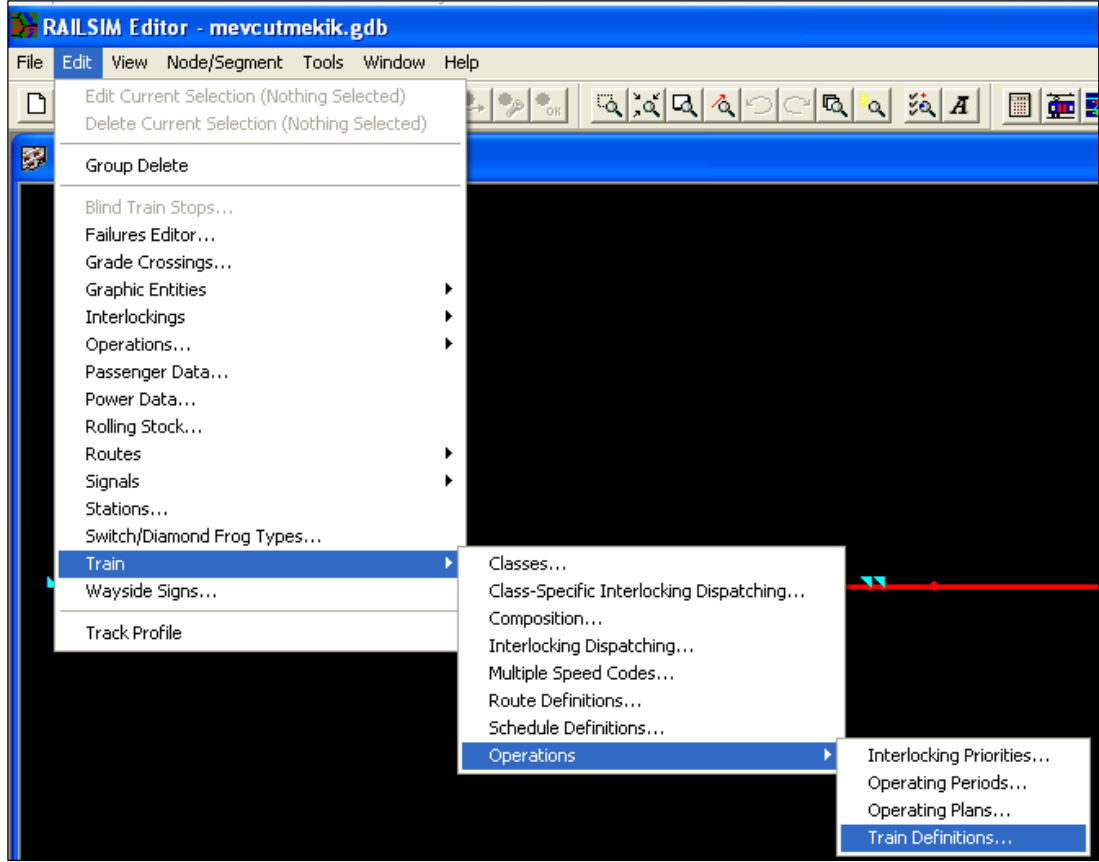
Şekil 5.16: Tarife ayarlarının tanımlanması



Kaynak: Railsim 8 programı

İlgili tarifeler oluşturulduktan sonra, bu tarifeler ışığında tren için de tarifeler de yapılır. Şekil 5.17' de görüldüğü üzere Edit > Train > Operations > Train Definitons sekmesinden bir noktadan bir noktaya yapılan yolculuk tipleri belirtilir.

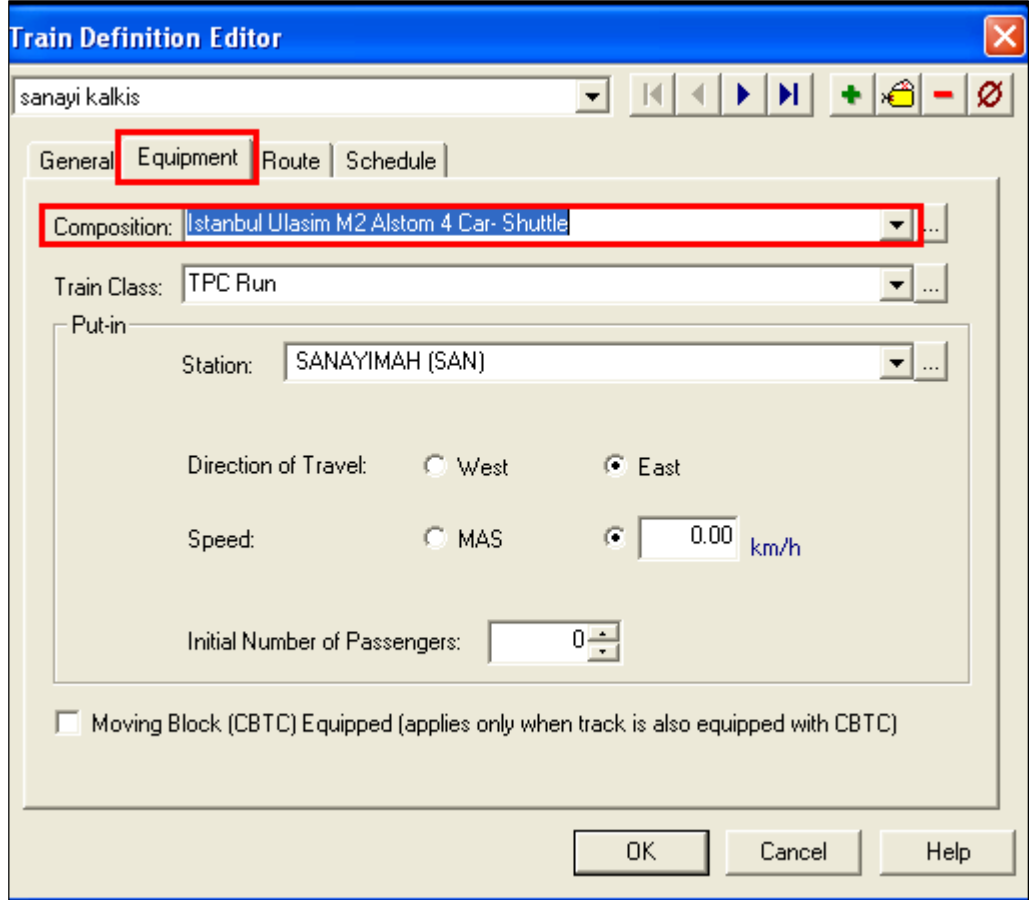
Şekil 5.17: Tren tarifelerinin yapılması



Kaynak: Railsim 8 programı

“Equipment” sekmesinde hangi tren tipi kullanılıyorsa o belirtilir. Şekil 5.18’de görüldüğü üzere daha önce programda detaylarını tanımladığımız tren modeli seçilir. Bu çalışmada Alstom 4 dizili tren tipi kullanılmıştır. Burada yolculuğun hangi istasyondan başlayacağı, batıdan doğu’ya doğru mu yoksa tersi mi olacağı belirtilir. Bu çalışmada batıda bulunan sanayi mah. istasyonundan doğuya doğru Seyrantepe istasyonuna hareket olacaktır.

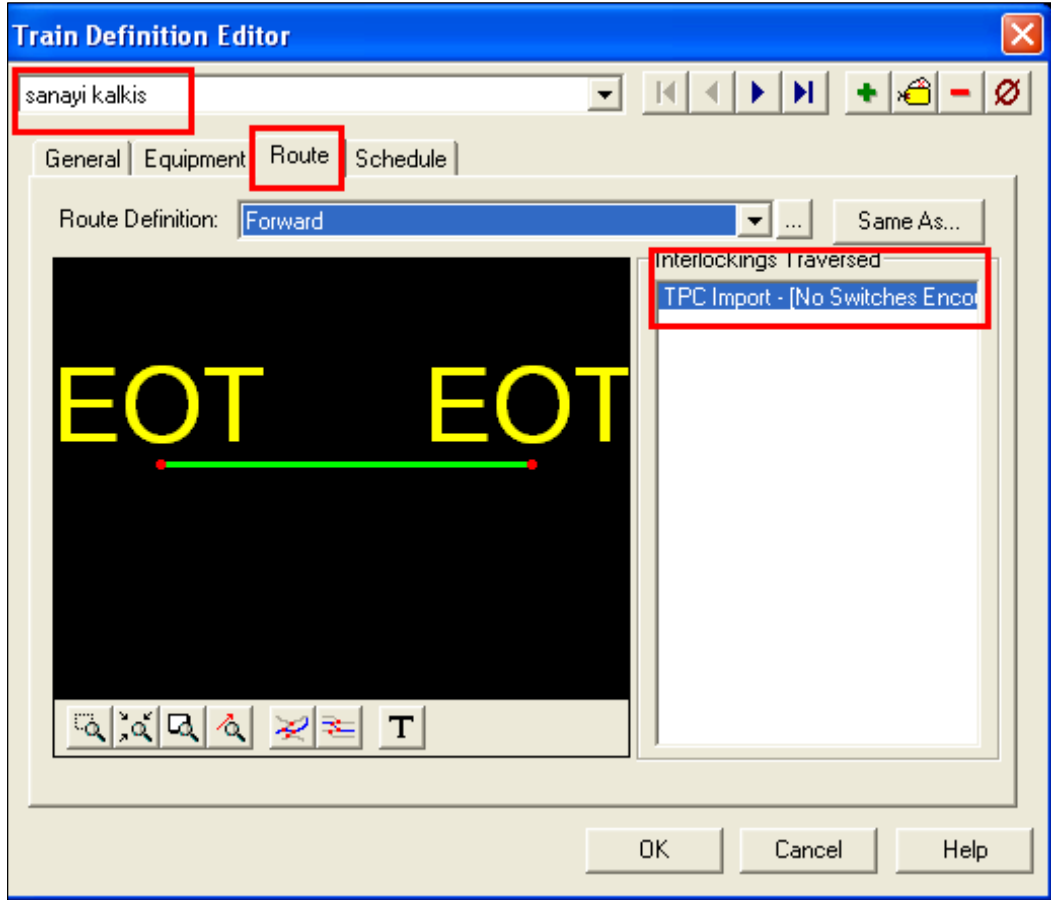
Şekil 5.18: Tren tipinin seçilmesi



Kaynak: Railsim 8 programı

Ayrıca simülasyona başlangıç hızı da seçilir. Belirtmek istenilen değer varsa “Speed” kısmına yazılır. Ya da MAS ; (Maksimum available speed) ulaşılabilen maksimum hızda tren simülasyona başlar. Bu çalışmada tren sıfır hızında başlamaktadır. Simülasyonda trende olacak yolcu sayısı gibi değerler girilebilir. Hareketli blok varsa belirtilir.

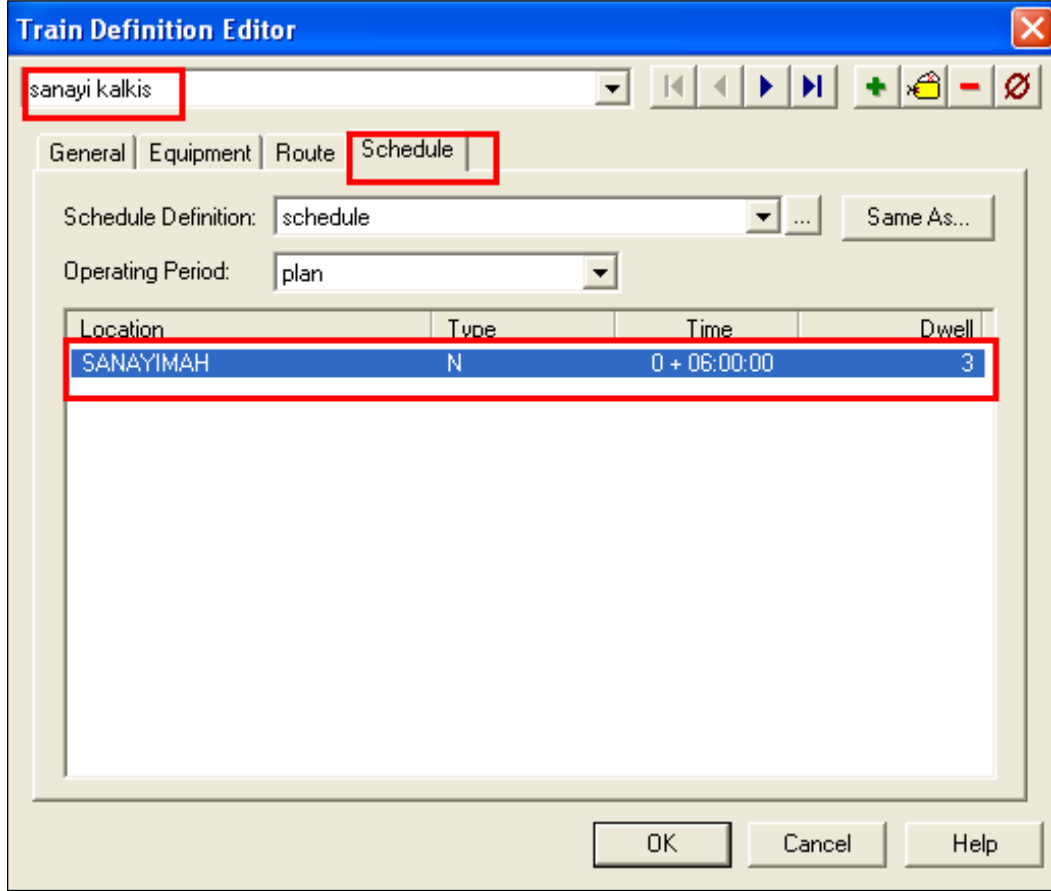
Şekil 5.19: Tren güzergâhının belirlenmesi



Kaynak: Railsim 8 programı

Şekil 5.19’ da görüldüğü üzere “Route” sekmesinden tren nereden nereye gidecekse o güzergâh tanımlanır. Bu anlaşılan rotası değil tren rotasıdır. Daha sonra Şekil 5.20’ de görüldüğü üzere “schedule” kısmından daha önce tanımlanan tarifelerden biri seçilir.

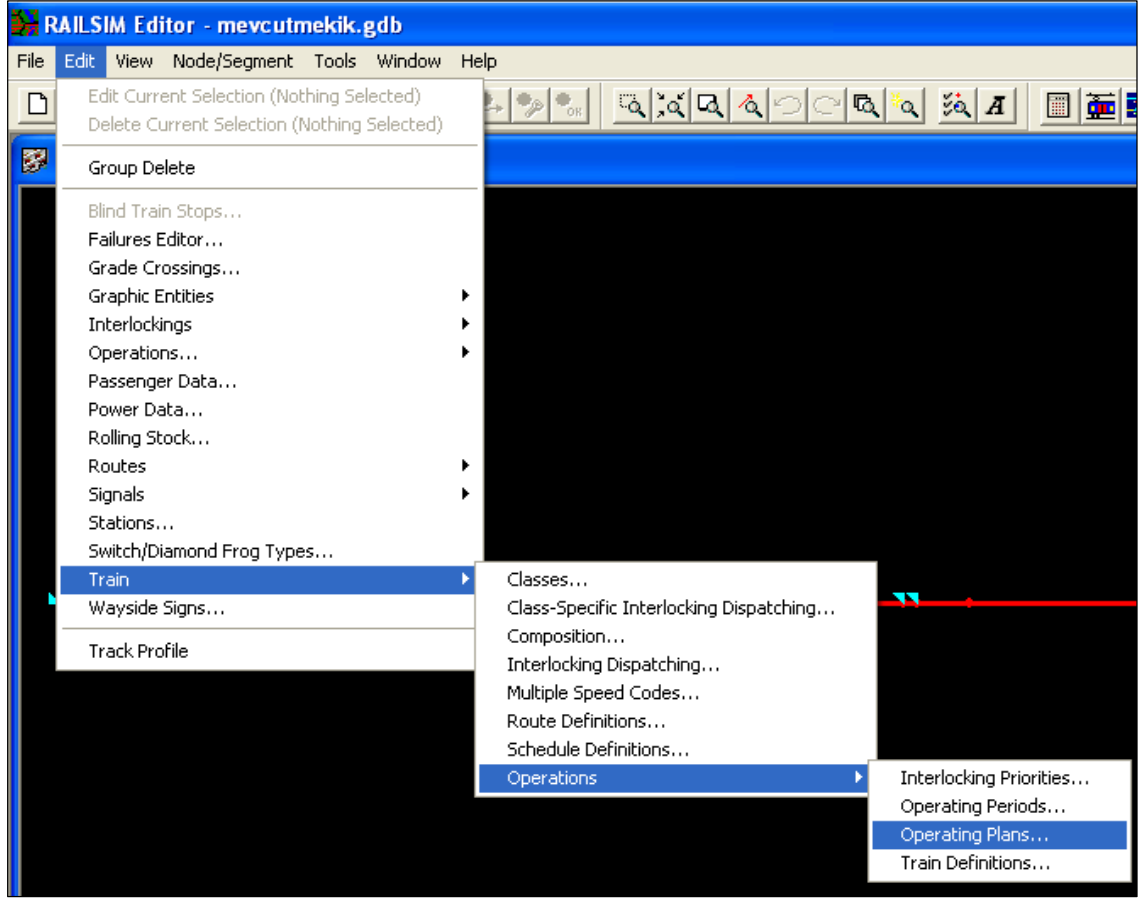
Şekil 5.20: Tren için tarifinin belirlenmesi



Kaynak: Railsim 8 programı

Böylelikle simülasyonda kullanılmak üzere bir tren için gerekli tanımlamalar yapılmış oldu. Sanayi mah. istasyonu ile Seyrantepe istasyonu arasında çalışan bir tren için günlük işletme planını da tanımlamak gerekmektedir. Bunun için Şekil 5.21’de görüldüğü üzere Edit > Train > Operations > Operating Plans kısmından “operating plan editör” penceresi açılır.

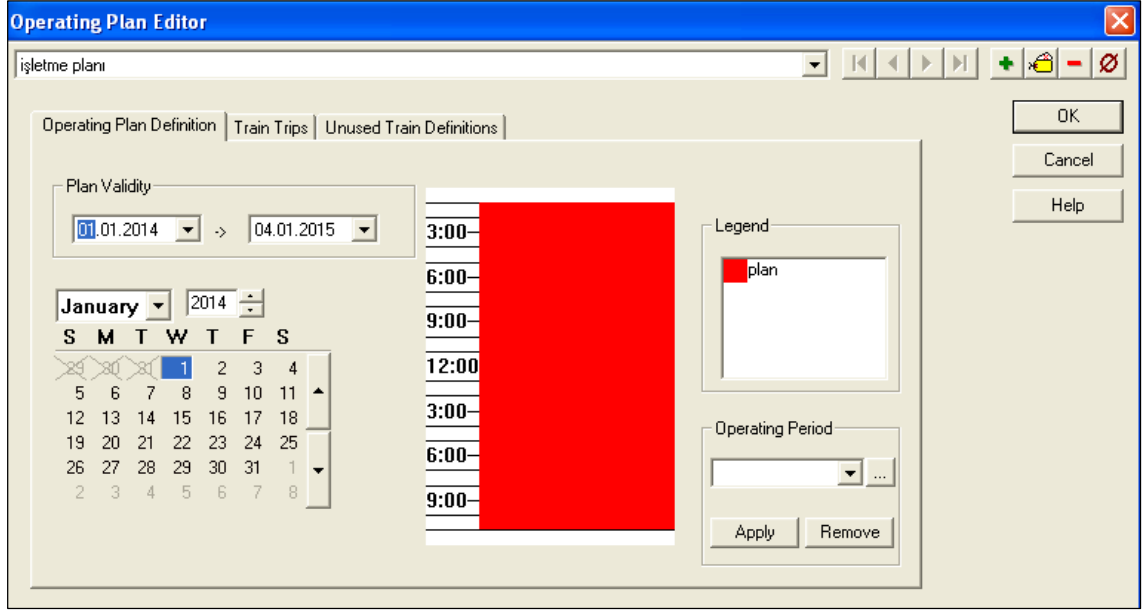
Şekil 5.21: Tren için günlük işletme planı oluşturma



Kaynak: Railsim 8 programı

“operating plan editör” penceresinde işletme planı tanımlanır ve o plan için gerekli periyot tanımlanır. Şekil 5.22’de görüldüğü üzere kırmızı bölgeyi yer belirlenen periyotta işletmenin planlandığını gösterir.

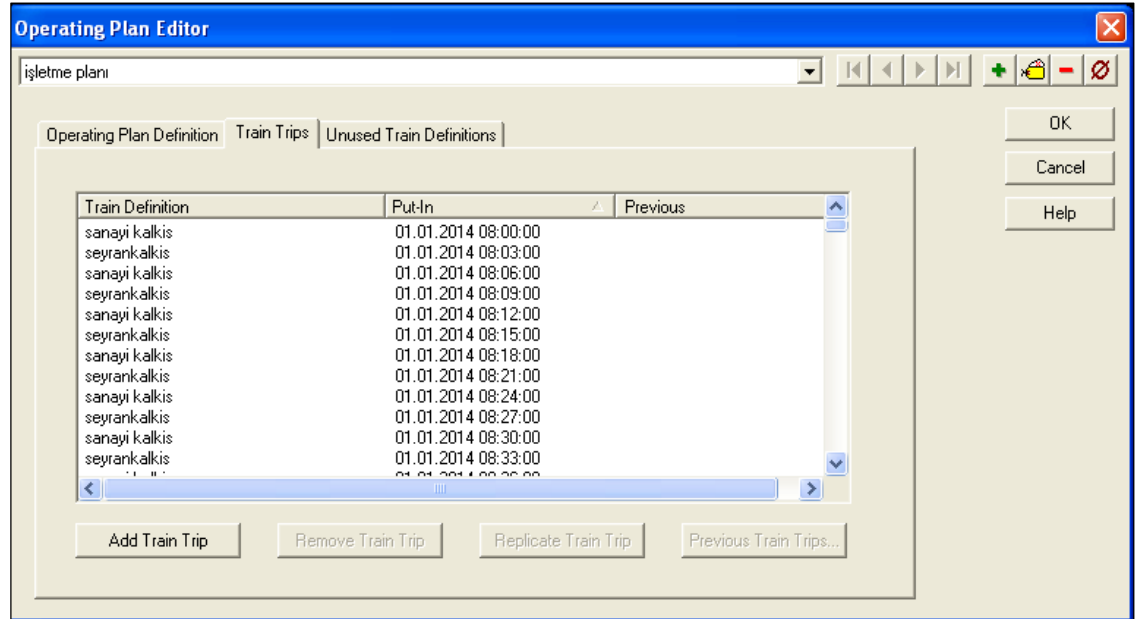
Şekil 5.22: İşletme planlarının tanımlanması



Kaynak: Railsim 8 programı

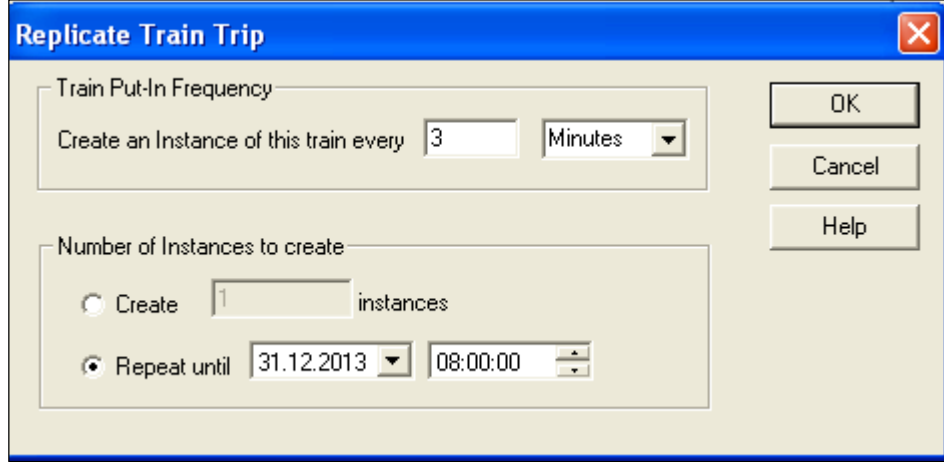
Daha sonra Şekil 5.23’de görüldüğü üzere “Train Trips” kısmından istenen zaman aralıklarına göre çalışılacak tren bilgileri girilir.

Şekil 5.23: Tren seferlerinin belirlenmesi



Kaynak: Railsim 8 programı

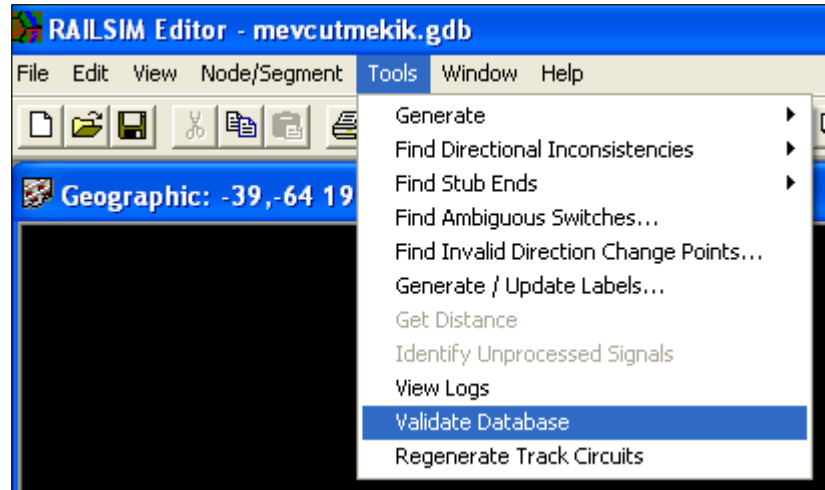
Şekil 5.24: Tren seferlerini çoğullama



Kaynak: Railsim 8 programı

Birden fazla tren eklemek için Şekil 5.24’de görüldüğü üzere “Replicate Train Trip” butonu kullanılarak belirli bir zaman diliminde istenen aralıklarda trenler tanımlanır. Bu tanımlamaları bitirdikten sonra oluşturduğumuz modelin geçerli kılınması gerekmektedir. Bunun için Şekil 5.25’de görüldüğü üzere Tools > Validate Database > kısmından geçerliliği yapılacak nesnelere seçilir ve onaylanır.

Şekil 5.25: Model veri tabanının geçerli kılınması

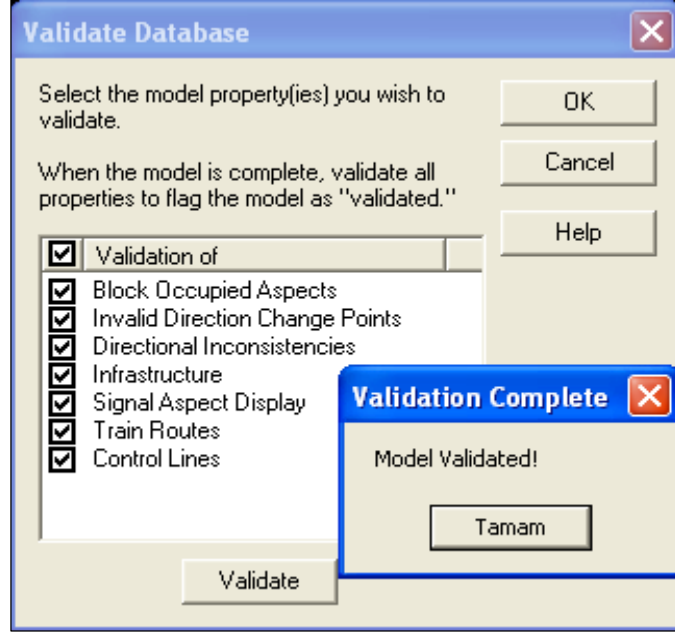


Kaynak: Railsim 8 programı

Model veritabanı başarılı ise Şekil 5.26’da görüldüğü üzere “validation” geçerli kılma tamamlanır. Burada çıkacak bir hata durumunda simülasyon sonuçları yanlış değerler

gösterecektir Bu nedenle railsim editörde oluşturulan modelin “network simülatör” de çalıştırılmadan önce başarılı şekilde geçerli kılındığı teyit edilmelidir.

Şekil 5.26: Modelin geçerli kılınması



Kaynak: Railsim 8 programı

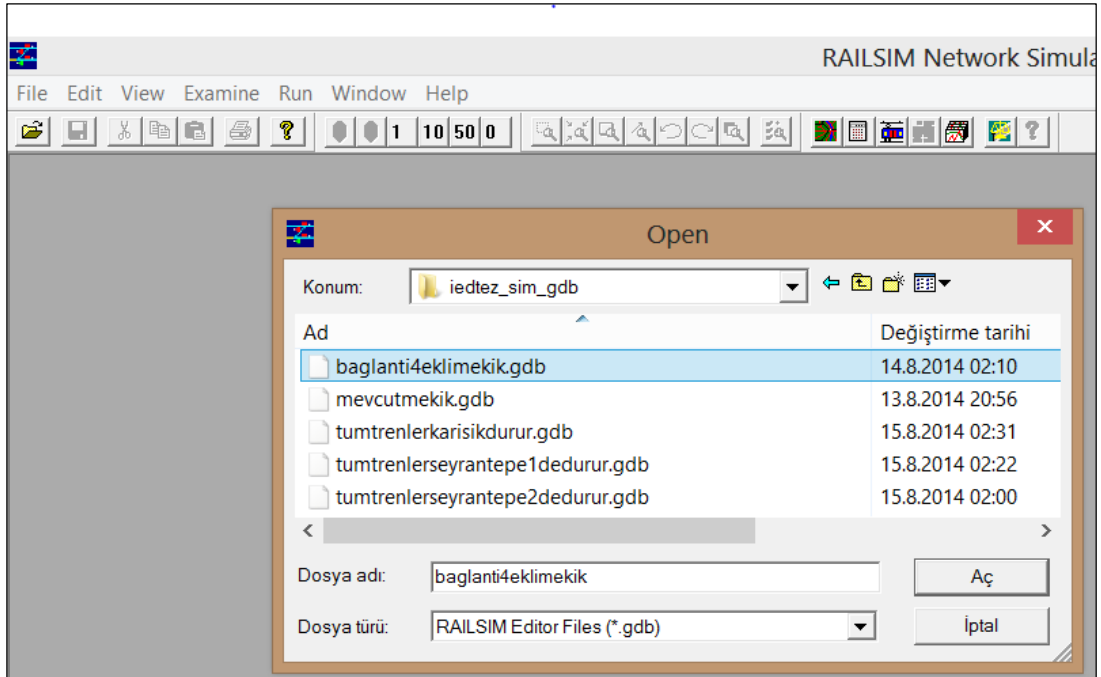
5.2 NETWORK SIMULATORDE MODELLERİN SİMULASYONU

Yukarıda railsim editör de bir hattın modellenmesini ve üzerinde tren koşturacak şekilde tanımlanması anlatıldı. Bu bölümde modellerin Network Simulatörde çalıştırılarak performans sonuçlarının gözlemlenmesi sağlanacaktır. Seyrantepe istasyonu için aşağıdaki beş ayrı model oluşturulmuş ve simülasyonu yapılmıştır.

- Mevcut Sanayi-Seyrantepe mekik hattı modeli
- İlave bağlantı tünelli mekik çalışma modeli
- Döngü işletmesinde Seyrantepe istasyonu 1. peronunu kullandığı senaryo
- Döngü işletmesinde Seyrantepe istasyonu 2. peronunun kullanıldığı senaryo
- Döngü işletmesinde Seyrantepe istasyonunun her iki peronunun da sırası ile kullanıldığı senaryo

Network Simulator başlangıç menüsünden ya da editör açıkken File > Start Network Simulator kısmından ya da editör araç çubuğundaki sembolünden başlatılabilir. Network simülator başlatıldıktan sonra Şekil 5.27’ de görüldüğü üzere open kısmından ilgili .gdb uzantılı dosya seçilerek başlatılır.

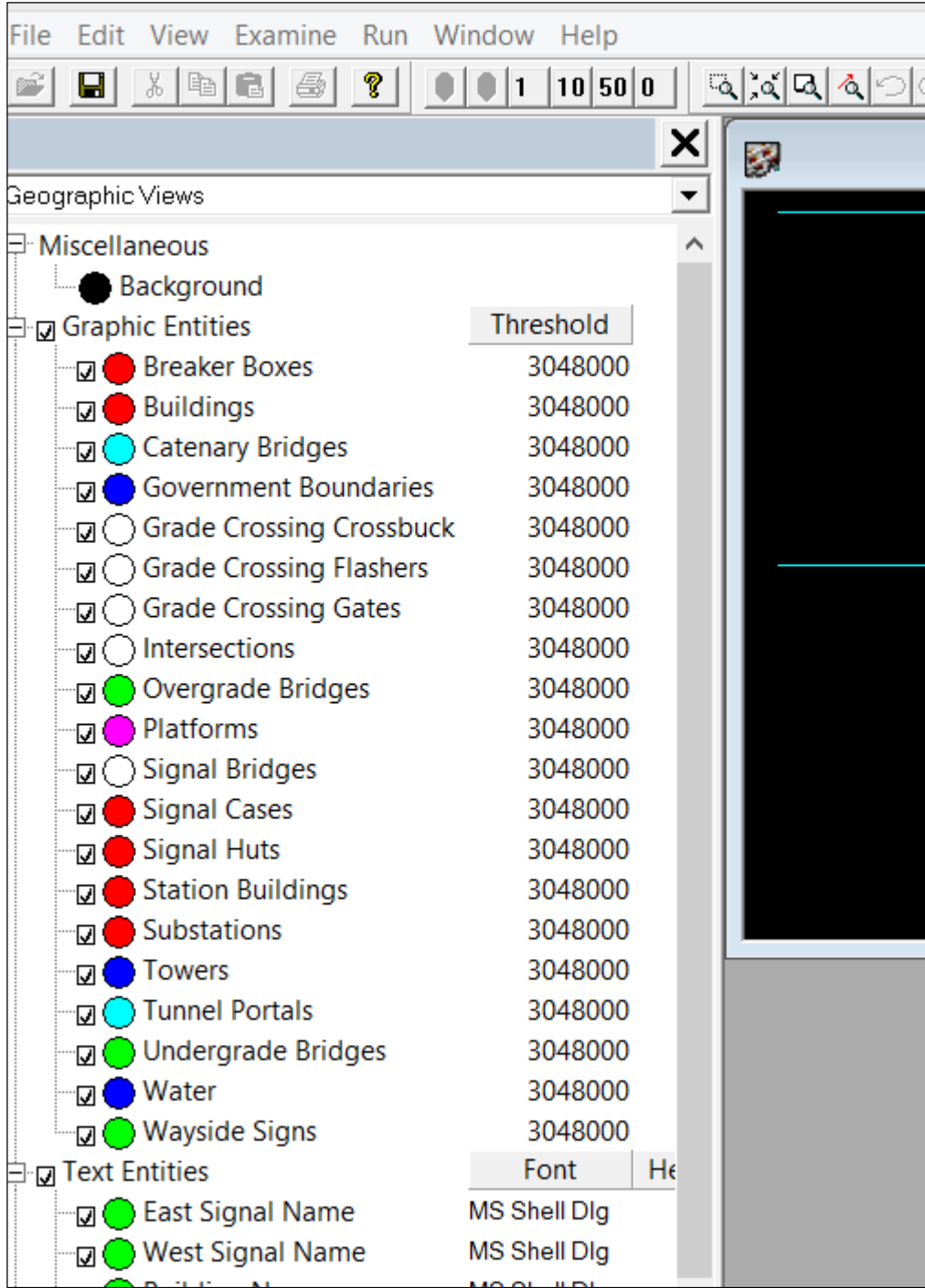
Şekil 5.27: Network simülatorde proje açma



Kaynak: Railsim 8 programı

Simülasyonda bazı değerleri fark edilebilir renklerde görebilmek için Şekil 5.28’ de görüldüğü üzere view > display options sekmesinden renk ayarlamaları yapılır.

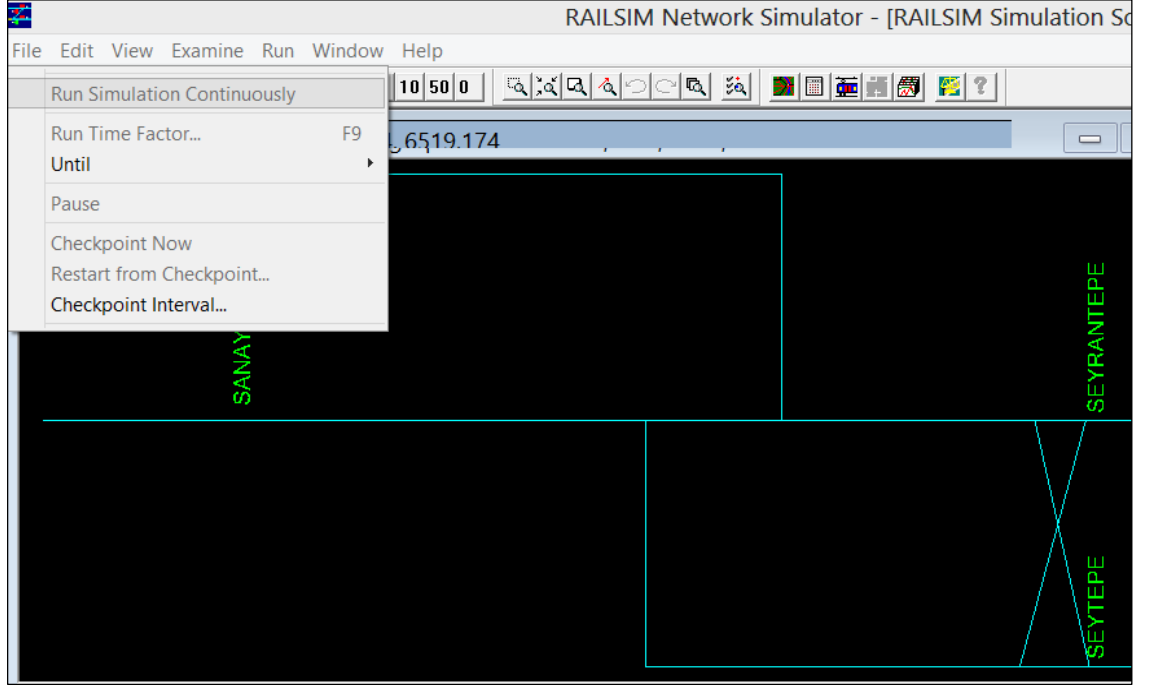
Şekil 5.28: Görüntü ayarlarının yapılması



Kaynak: RAILSİM 8 programı

Simülasyonu çalıştırmadan önce hangi işletme planında çalıştırılacaksa o planın seçilmiş olması gerekmektedir. Ayrıca benzetim yapılacak tarifenin başlama ve bitiş tarihleri de belirtilmelidir. Daha sonra Şekil 5.29’da görüldüğü üzere “Run Simulation Continuously” sekmesinden simülasyon çalıştırılır.

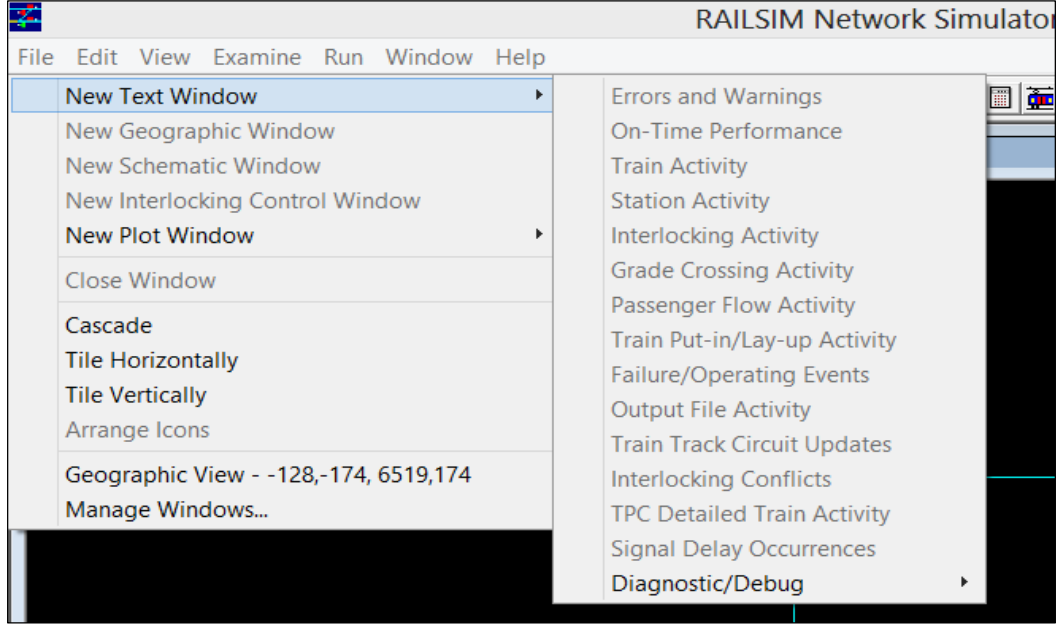
Şekil 5.29: Simülasyonu çalıştırma



Kaynak: Railsim 8 programı

Simülasyonun hangi hızda çalıştırılacağı da ayarlanır. Ekrandan simülasyon durdurulabilir, tekrar başlatılabilir. İşletme planına göre servisteki tren sayıları izlenebilir. Yine Şekil 5.30'da görüldüğü üzere simülasyon çalışırken canlı olarak gözlemlemek istenilen parametreler Window > New Text Window kısmından seçilebilir. Bu pencerede simülasyona giren ve çıkan trenler, hata ve uyarılar, interlock çakışmaları vb. özellikler izlenebilir.

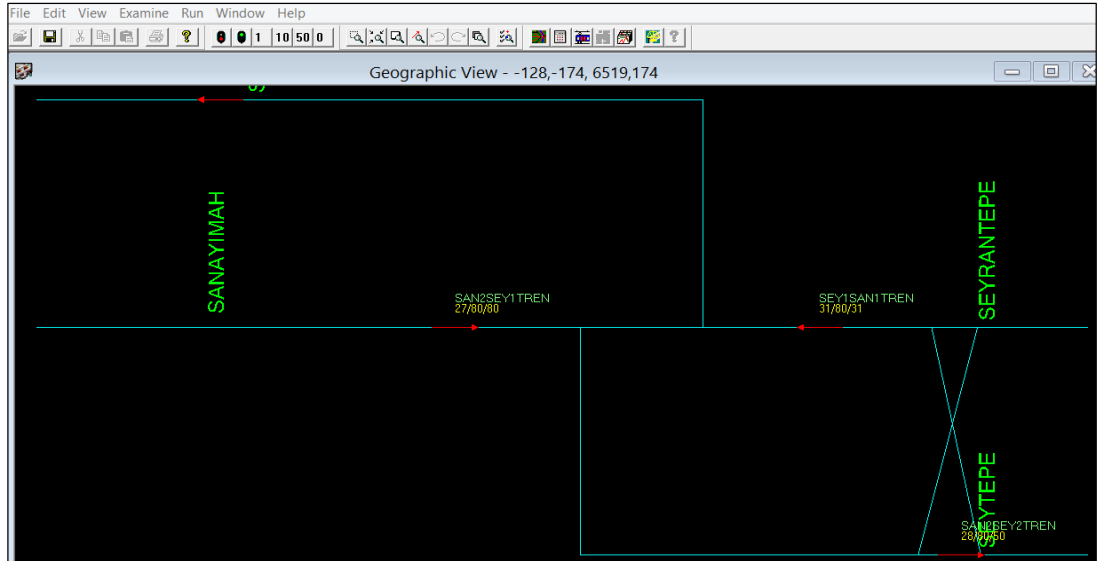
Şekil 5.30: Gözlemlenecek parametrelerin seçimi



Kaynak: Railsim 8 programı

Simülasyon belirlenen işletme planındaki tüm trenler çalışmasını tamamlayana kadar devam eder. Örneğin aşağıdaki Şekil 5.31’de çift peron döngülü model de hareket eden trenler işletme hızları, gerçek hızları, maksimum yapabilecekleri hızları gerçek zamanlı görülmekte eğer bir çakışma varsa hata üretilerek bildirilmektedir.

Şekil 5.31: Simülasyonda anlık görünüm



Kaynak: Railsim 8 programı

Daha sonra sonuçları alabilmek için “Report generator” başlatılır. Raporlamada yazı grafik şeklinde sonuçlar alınabilir. Tren özet sonucunda trenin o döngüyü ne kadar sürede tamamladığı görülebilmektedir. Örneğin Şekil 5.32’ de görüldüğü üzere tren 2 dakika 56 saniyelik bir sürede belirlenen yolculuğu tamamlamıştır.

Şekil 5.32: Report generatör menüsü

Train Report: C:\RAILSIM8\Sample Data\Freight Boston to the Bronx\sim\simhst010.xml													
Station or Interlocking	Scheduled Time	Simulated Time	Time Difference	Scheduled Dwell	Simulated Dwell	Run Time Interval	Total Run Time	Passenger Count Change	Traint Number of Passengers	Route or Track	Event Description		
TPC Import	6:02:00	6:02:00	0:00:00				0:00:00		0	T1	Put-in		
SEYRANTE...		6:02:00				0:00:00	0:00:00		0	MS8RSwitc...	Interlocking...		
		6:04:56				0:02:56	0:02:56		0	T1	No Stop		
		6:04:56			0:02:56	0:00:00	0:02:56		0	T1	Lay-up		
TPC Import		6:04:56				0:00:00	0:02:56		0	MS8RSwitc...	Interlocking...		

Kaynak: Railsim 8 programı

Tren detay raporunda çok detaylı bilgiler görülebilmektedir. Örneğin Şekil 5.33’de görüldüğü üzere trenin nerede ivmelendiği, frenleme yaptığı, anlık hızları tükettiği güç ve enerji bilgileri vb. belirlenen örnekleme zamanı üzerinden (0.5 sn ~50 sn arası) alınabilir.

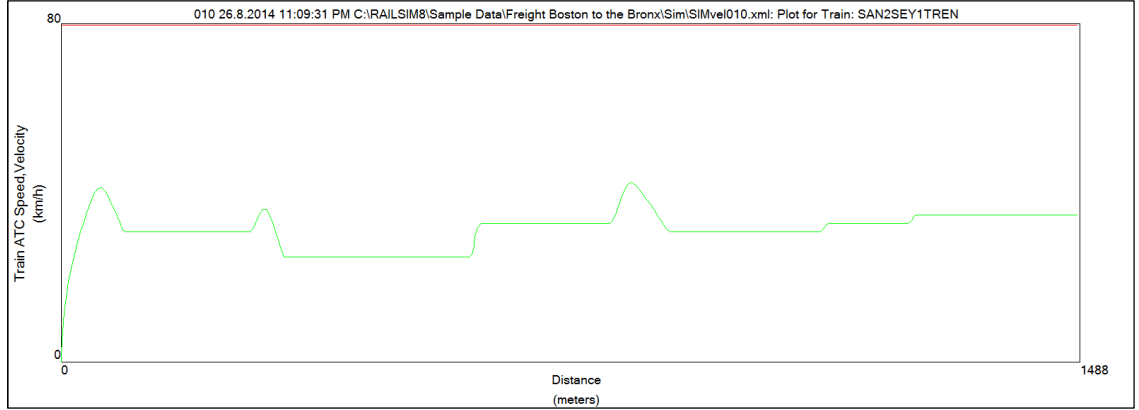
Şekil 5.33: Detaylı tren raporu

Simulation ...	Train	Distance	Segment	Chainage...	Velocity	Accelerat...	Civil Spe...	Train AT...	Grade	Radius	Curve	Resistance	Grade Ac...
(Hrs.Min.S...	Mode	(meters)	Identifier	(meters)	(km/h)	(m/s/s)	(km/h)	(km/h)	(percent)	(meters)	(degrees)	Accel. (m...	(m/s/s)
6:02:00	Tractive Eff...	0.00	11	0 + 498.00	0.00	0.00	95.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00
6:02:01	Tractive Eff...	0.04	11	0 + 498.04	0.60	0.67	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00
6:02:01	Tractive Eff...	0.25	11	0 + 498.25	2.40	1.33	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00
6:02:02	Tractive Eff...	0.75	11	0 + 498.75	4.79	1.33	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00
6:02:02	Tractive Eff...	1.58	11	0 + 499.58	7.17	1.33	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00
6:02:03	Tractive Eff...	2.74	11	0 + 500.74	9.56	1.32	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00
6:02:03	Tractive Eff...	4.24	11	0 + 502.23	11.94	1.32	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00
6:02:04	Tractive Eff...	6.06	11	0 + 504.06	14.33	1.32	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00
6:02:04	Tractive Eff...	8.21	11	0 + 506.21	16.71	1.32	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00
6:02:05	Tractive Eff...	10.70	11	0 + 508.70	19.09	1.32	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00
6:02:05	Tractive Eff...	13.52	11	0 + 511.51	21.47	1.32	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00
6:02:06	Tractive Eff...	16.66	11	0 + 514.66	23.85	1.32	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.00

Kaynak: Railsim 8 programı

Grafik bir sonuç alınmak istenirse Simulate graphics > train sekmesinden istenilen grafik seçilir. Örneğin aşağıdaki Şekil 5.34’de hız ve uzaklık eğrisi üretilmiştir.

Şekil 5.34: Tren için hız ve mesafe grafiği

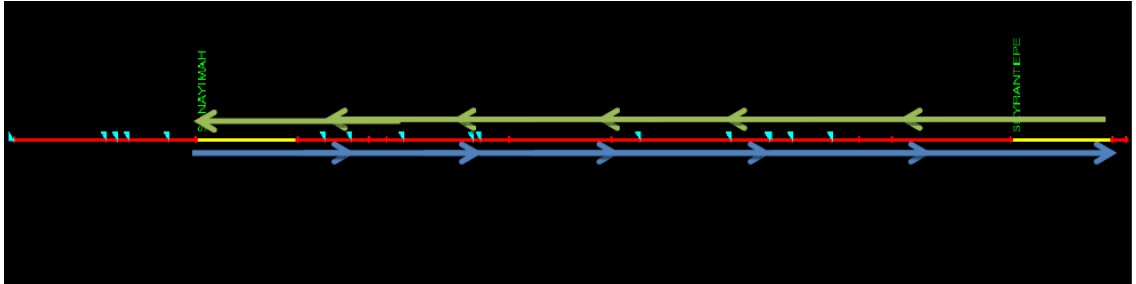


Kaynak: Railsim 8 programı

5.2.1 Mevcut Mekik İşletmesinin Modellenmesi

Şekil 5.35’ de görüldüğü gibi mevcut işletme tek bir hat üzerinden yapılabilmekte ve sürekli tek tren kullanılarak yapılabilmektedir. Hat üzerinde çeşitli makaslar bulunmakla beraber bu makaslar, depo hattına erişim amaçlıdır. Bu yüzden model düz bir hat gibi oluşturulmuş ve makaslı bölgelerde bölgenin tamamına hız sınırı uygulanmıştır.

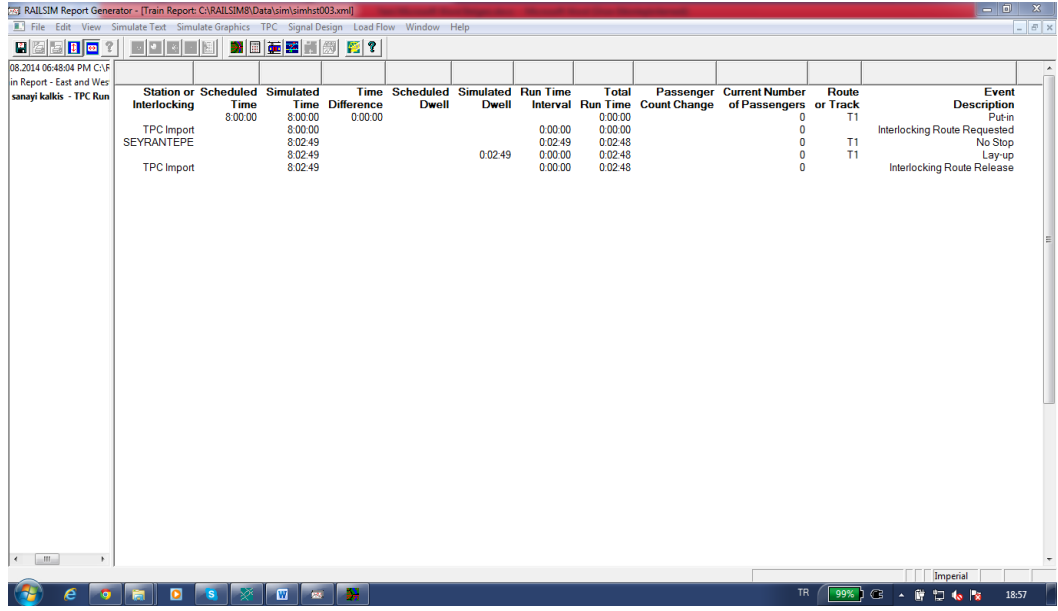
Şekil 5.35: Mevcut mekik işletmenin modellenmesi



Kaynak: Railsim 8 programı

Şekil 5.36’da simülasyon sonuçlarından da görüldüğü gibi bir trenin Sanayi Mahallesi istasyonundan kalkarak Seyrantepe istasyonuna varması 2dk 49sn de gerçekleşmektedir. Trenin aynı yol üzerinden tekrar Sanayi Mahallesine dönüşü de 2dk 49sn olmak üzere toplamda 5dk 38sn sürmektedir. Ayrıca her iki istasyonda da 90 sn makinistin kabin değiştirmesi için beklendiği düşünülürse 8dk 38sn sefer sıklığı elde edilebilir. Bu sefer sıklığı sistemin teknik sefer sıklığı olup; işletme koşulları, tecrübeler ve genel aksaklıklar da göz önüne alındığında bu sürenin ortalama 9 dakika olacağı düşünülmektedir.

Şekil 5.36: Mekik modelin simülasyon raporu



Station or Interlocking	Scheduled Time	Simulated Time	Time Difference	Scheduled Dwell	Simulated Dwell	Run Time Interval	Total Run Time	Passenger Count Change	Current Number of Passengers	Route or Track	Event Description
TPC Import	8:00:00	8:00:00	0:00:00			0:00:00	0:00:00	0	0	T1	Put-in
SEYRANTEPE	8:02:49	8:02:49			0:02:49	0:02:49	0:02:48	0	0	T1	Interlocking Route Requested No Stop
TPC Import	8:02:49	8:02:49			0:00:00	0:00:00	0:02:48	0	0	T1	Lay-up Interlocking Route Release

Kaynak: Railsim 8 programı

Herhangi bir altyapı (inşaat) değişikliği yapmadan sefer sıklığını geliştirebilmenin yöntemi istasyon bekleme sürelerini (dwell time) azaltıcı çözümlerin üretilmesidir. Bunun için iki farklı çözüm bulunmaktadır. İlk olarak istasyonlarda treni hemen devreye alacak yedek makinistlerin bulunması (step driver uygulaması) ya da trenlerin sürekli olarak çift makinistle işletilmesi çözümdür. İkinci olarak ise sinyalizasyon sisteminde modernizasyona giderek yapılabilecek iyileştirme. UTO (Unattended Train Operation) sistemi ile makinist olmadan işletme yapılacak ve bekleme süreleri azaltılabilecektir.

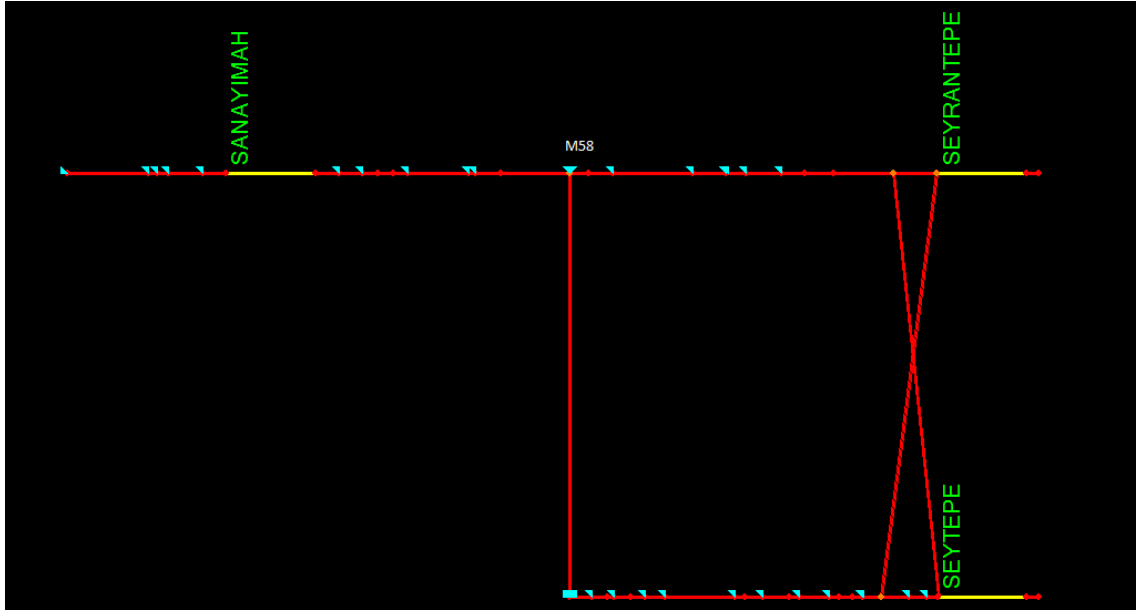
İlk örnekte 90 sn'lik bekleme süresi yolcuların inip binme süreleri kadar azaltılabilecek olup, bu da şimdiye kadar edinilen tecrübeler ile 30 sn'ye kadar düşebileceğidir. Bu şekilde sefer sıklığı teknik olarak 6dk 38sn olmakta genel tecrübeler ile bu sürenin gerçek işletmede 7dk olacağı düşünülmektedir. Bu şekilde saatte 8600 yolcu taşınabilmektedir. İkinci uygulama ile (UTO) yine aynı sonuçlar elde edilecek olup, makinist olmadığı için sistemdeki insan faktörü etkisi azaltılmış olacaktır.

Sonuç olarak mevcut yapı ile ileride oluşacak talebin karşılanabilmesi mümkün olmamaktadır. Ayrıca tek bir tren ve tek bir yol kullanılıyor olması nedeniyle trende ya da hat boyunca oluşacak bir arıza durumunda alternatif işletme yapılamayacak olup ilgili arıza giderilene kadar işletmeye ara verilmesi söz konusu olacaktır.

5.2.2 İlave Bağlantı Tüneli Mekik Çalışma Modeli

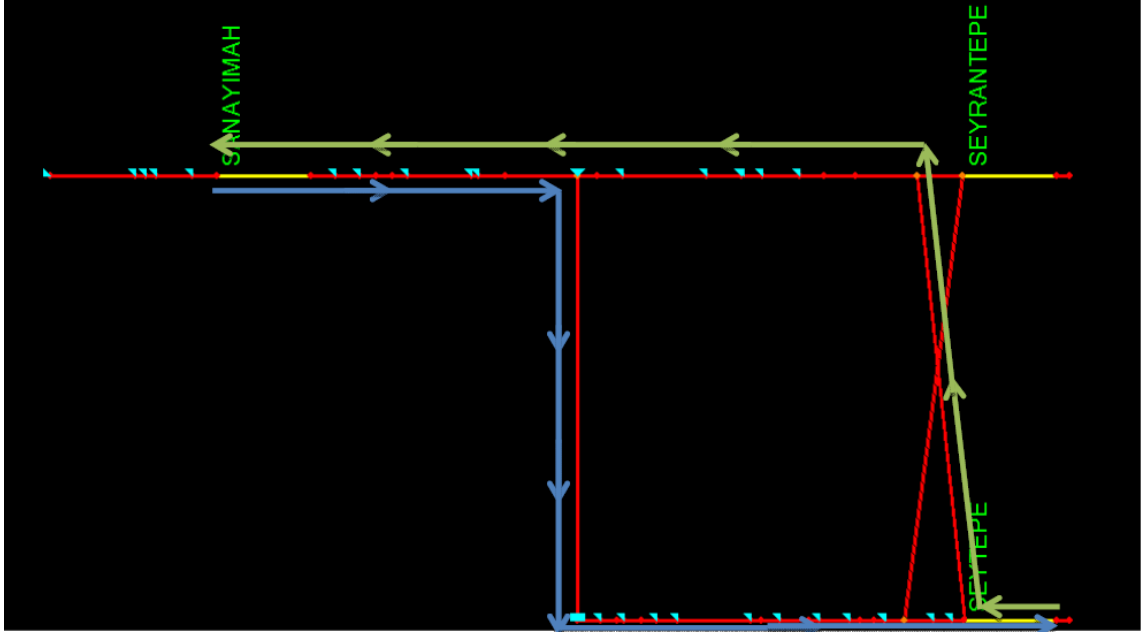
İkinci simülasyon uygulamasında Şekil 5.37’de görüldüğü gibi M58 makas yardımı ile 3. tünel mevcut hatta bağlanmıştır. Bu yapı ile iki farklı işletme güzergâhı uygulanabilecek olup bu güzergâhlar sırasıyla Şekil 5.38 ve Şekil 5.39’ da sunulduğu gibi Seyrantepe istasyonunun 1. peronunu ya da 2. peronunu kullanan mekik işletmesidir.

Şekil 5.37: İlave bağlantı tüneli mekik çalışma modeli



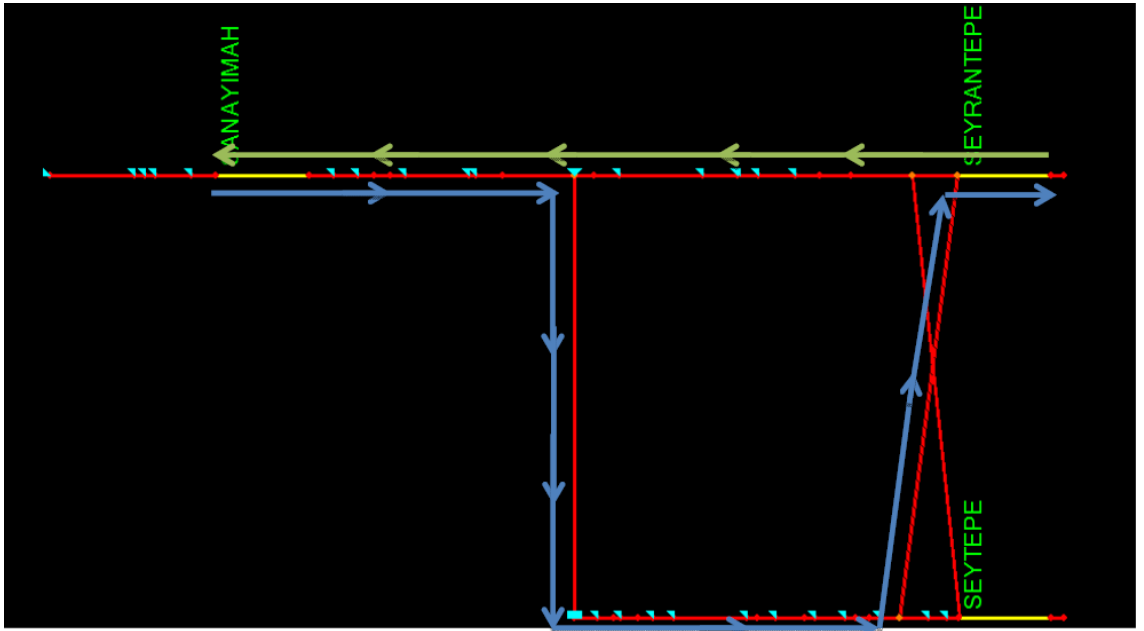
Kaynak: Railsim 8 programı

Şekil 5.38: İlave bağlantı tünelli mekik modeli- peron 1 kullanımı



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Şekil 5.39: İlave bağlantı tünelli mekik modeli- peron 2 kullanımı

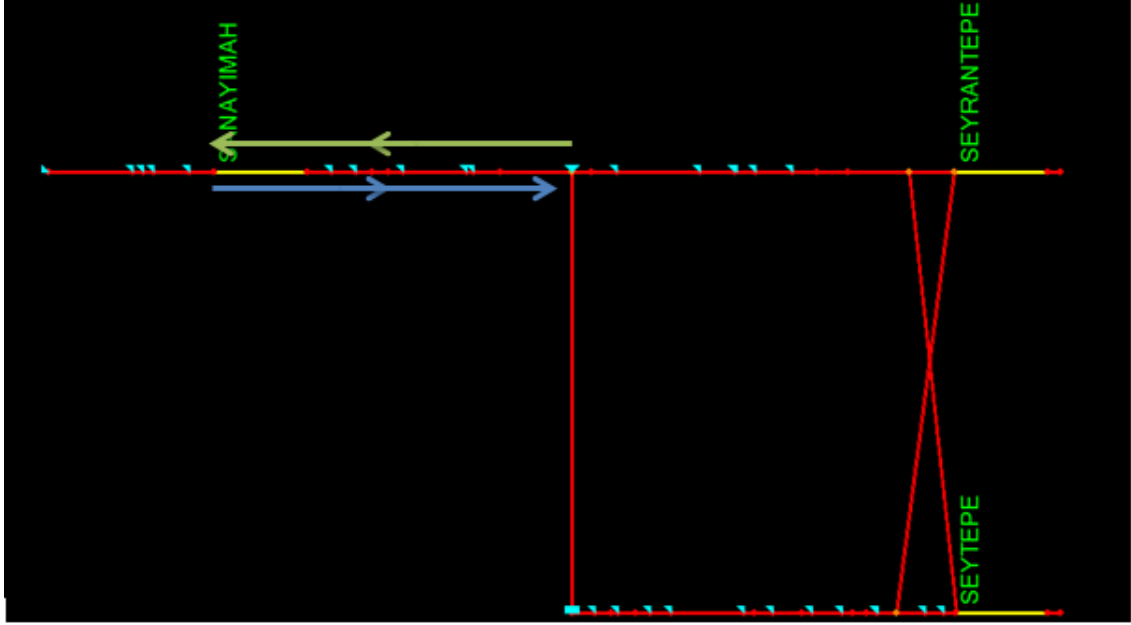


Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Şekil 5.40'da görüldüğü gibi M58 makası ile Sanayi Mahallesi istasyonu arasında tek hat mevcuttur. Bu yüzden bu bölgede darboğaz mevcut olup işletmenin sefer aralığını trenin bu bölgeye giriş ve çıkış süresi etkilemektedir. Trenin ayrıntılı simülasyon sonuçları report generator aracılığı ile incelendiğinde sanayi mahallesinden kalkan trenin arka

ucunun M58 makası kurtarması için 1dk 20sn'lik bir süreye ihtiyaç bulunmaktadır. Aynı şekilde Seyrantepe istasyonundan gelen bir trenin ise makastan geçip Sanayi Mahallesi istasyonuna ulaşabilmesi için 1dk 21sn süreye ihtiyaç bulunmaktadır.

Şekil 5.40: M58 makası ve sanayi istasyonu arası tek yol durumu



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Makinistin kabin değiştirme süresi olarak 90 sn de eklenecek olursa 4dk 11sn'lik bir sefer sıklığı ortaya çıkacaktır. Mevcut tecrübeler ile bu sürenin 4dk 30sn civarında olması öngörülmektedir. Bu sefer sıklığı ile saatte 13500 yolcu taşınabilecek olup bu şekilde özellikle maç saatlerinde sistem ihtiyacı karşılayamayacaktır.

Çift makinist uygulaması ile ya da sinyalizasyon sisteminin UTO destekler şekilde güncellenmesi ile 30sn'lik istasyon duruş sürelerine ulaşılabilir. Bu şekilde ortalama sefer sıklığı pratik olarak 3dk 45sn ye kadar düşürülebilecek olup böylece saatte 16000 yolcu taşınabilmesi mümkün hale gelecektir. Ancak bu şekilde de sistem istenilen yolcu kapasitesine ulaşamayacaktır.

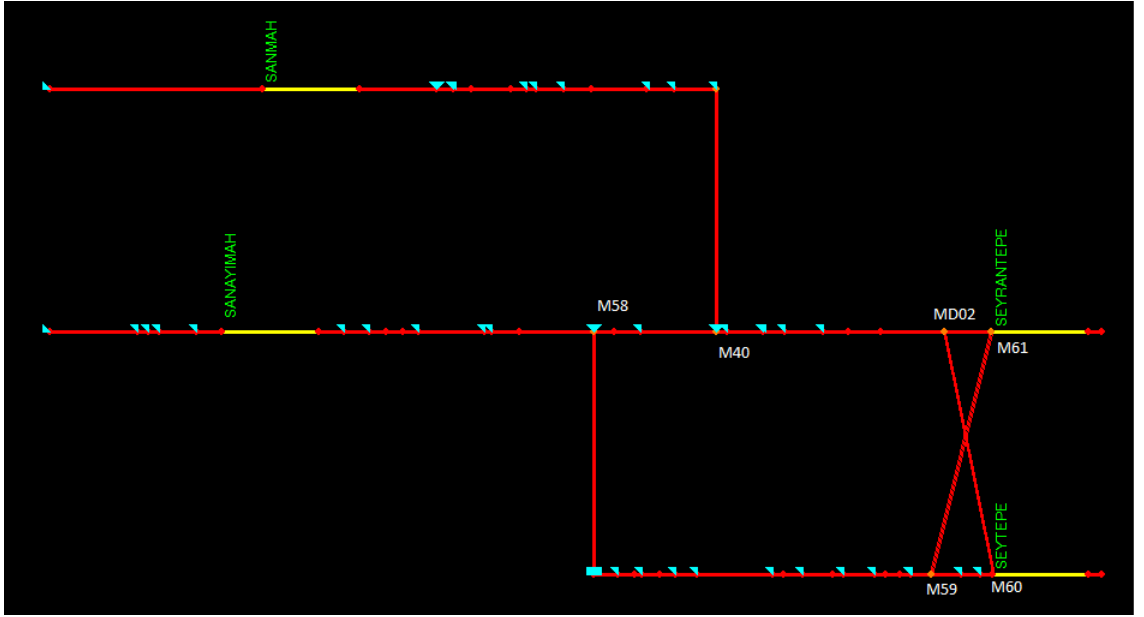
Bu işletme modeli ile ilk modelden daha esnek ve daha fazla kapasiteye sahip bir işletme yapılabilecek olmakla beraber, Sanayi Mahallesi ile M58 makas arasında herhangi bir tren arızası ya da hat boyu arızası durumunda tren seferleri duracaktır. Arızanın giderilene kadar işletme yapılabilmesi mümkün olmayacaktır. Ancak M58 makasın dışında meydana gelen bir arıza durumunda tek hat ile mekik işletmesine devam edilebilecek durumdadır. Ayrıca Seyrantepe istasyonunun her iki platformu da isteğe bağlı olarak

kullanılabilecek durumdadır. Bu özelliği ile bir önceki mekik işletmeye oranla bu işletme modeli daha esnektir.

5.2.3 Bağlantı Hattı 2 ile Beraber Döngü İşletmesi

Diğer bir işletme modeli olarak ise Şekil 5.41’ de görüldüğü gibi M40 makas yardımı ile bağlantı hattı2 bağlantı hattı1’e bağlanarak Sanayi Mahallesi istasyonu’nun 1. peronuna erişim sağlanmıştır. Böylece mekik işletme mecburiyeti ortadan kalkmış olup trenler döngü içerisinde Seyrantepe istasyonuna varabilmiştir.

Şekil 5.41: Bağlantı hattı 2 ile beraber döngü işletmesi modeli



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

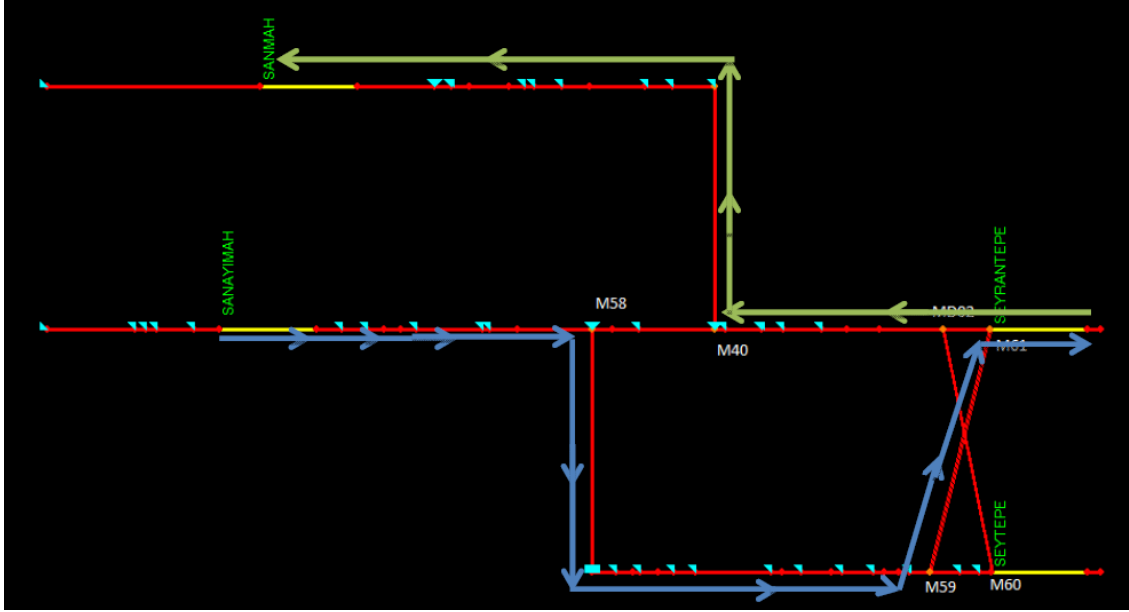
Bu işletme modelinde 3 farklı işletme senaryosu simüle edilmiştir. Bunlar;

- Gelen bütün trenlerin sadece Seyrantepe 1. peronunda son bulduğu senaryo,
- Gelen bütün trenlerin sadece Seyrantepe 2. peronunda son bulduğu senaryo,
- Gelen trenlerin Seyrantepe istasyon platformlarını sıra ile kullandığı senaryodur.

5.2.4 Döngü İşletmesinde Seyrantepe Peron 1 Senaryosu

Bu işletme modelinde Taksim yönünden gelen trenler M24 makastan saparak Sanayi Mahallesi İstasyonu 3. peronunda durmakta ve buradan Seyrantepe istasyonu 1. Peronuna ilerlemektedir. Şekil 5.42’de gösterildiği gibi Sanayi Mahallesi istasyonunda çıkan trenler M58 makas yardımı ile saparak bağlantı hattı 4 ve M59, M61 makasları üzerinden Seyrantepe istasyonu 1. perona ulaşmaktadır. Geri dönüşte ise M40 makastan saparak bağlantı hattı 2 üzerinden Sanayi Mahallesi istasyonu 1. perona ulaşmakta ve Taksim yönüne devam etmektedir. Hattın simülasyon bölümünde Sanayi Mahallesi istasyonu ile Seyrantepe istasyonu arasındaki işletme modellenmiştir.

Şekil 5.42: Döngü işletmesinde Seyrantepe peron 1 kullanımı



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Bu işletme modelinde trenlerin M59 makasa varmadan önce güzergâhın kurulmuş olması, daha sonra trenin makaslardan geçerek istasyon peronunda durması ve hareket ederek M61 makasını serbest bırakması gerekmektedir. İşletme senaryosunun en kısıtlayıcı bölümü (darboğazı) bu bölgedir. Ayrıntılı simülasyon sonuçları incelendiğinde bu sürenin toplamda 58 sn olduğu gözlemlenmiştir. Peronda duran tren için makinistin kabin değiştirme süresi 90 sn eklendiğinde 2dk28sn sefer sıklığı teknik olarak elde edilmiş olur. Genel işletme tecrübeleri dikkate alındığında bu işletmenin 2dk45sn’lik sefer aralığı ile

sağlıklı bir şekilde yapılabileceği öngörülmektedir. Bu şekilde saatte tek yönde 24 sefer düzenlenebilecek olup toplamda 21800 yolcu taşınabilir hale gelecektir.

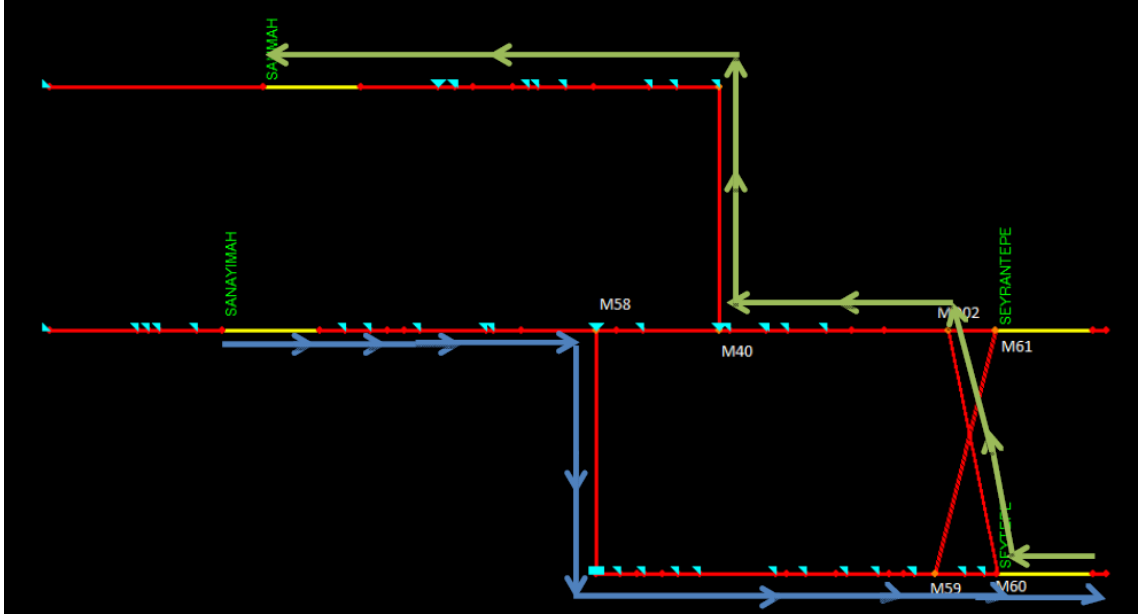
Çift makinist ile işletme ya da sinyalizasyon sisteminin UTO'yu destekler şekilde güncelleştirilmesi durumunda 90 sn olan istasyonda bekleme süresi 30sn'ye kadar indirilebilecektir. Böylece sefer sıklığı 1dk45sn'ye kadar düşürülebilecektir. Simülasyon çalışmasında 2dk'lık sefer sıklığı ile modellemeler yapılmış olup, bu şekilde saatte 30 tren hareketi sağlanmıştır. Bu sefer sıklığı ile saatte 30000 yolcu taşınabilecek olup, tahmin edilen kapasite ihtiyacını sistem karşılayabilecek durumdadır.

Bu işletme modelinde Seyrantepe istasyonu'nun sadece 1. peronu kullanılmakta olup diğer peronu kurtarma araçları, ilkyardım araçları vs. için park alanı olarak kullanılabilir durumdadır. Ayrıca 1. peron ya da makaslarda bir arıza olması durumunda diğer peronda kullanılabilir durumdadır. Hattın diğer bölümlerinde arıza olması durumunda ise sistem geçici olarak mekik operasyonu ile işletilebilecektir. Bu şekilde işletme kesintiye uğramadan daha düşük bir kapasiteli bir uygulama ile devamlılık sağlanmış olacaktır.

5.2.5 Döngü İşletmesinde Seyrantepe Peron 2 Senaryosu

Bu işletme senaryosunda ise Taksim yönünden gelen trenler M24 makastan saparak Sanayi Mahallesi istasyonu 3. peronunda durmakta ve buradan Seyrantepe istasyonu 2. peronuna ilerlemektedir. Şekil 5.43'de görüldüğü gibi Sanayi Mahallesi istasyonundan gelen trenler M58 makastan saparak ilerlemekte ve Seyrantepe istasyonu 2. peronunda durmaktadır. İstasyonda yolcu iniş binişlerinden sonra hareket edip, M60 ve MD02 makasları üzerinden bağlantı hattı 1'e geçmekte oradan da M40 makası yardımı ile Sanayi Mahallesi istasyonu 2. peronuna ulaşmaktadır.

Şekil 5.43: Döngü işletmesinde Seyrantepe peron 2 kullanımı



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Bu işletme senaryosunda trenin M59 makasa gelmeden güzergâhının kurulmuş olması ve bu şekilde Seyrantepe istasyonuna giriş yapmış olması gerekir. Bir sonraki trenin aynı perona alınabilmesi için istasyonda duran trenin M60 ve MD02 makastan geçtikten sonra yeni güzergâh kurulması için M60 makası serbest bırakması gerekmektedir. Detaylı simülasyon sonuçları incelendiğinde bu hareketin sağlanabilmesi için minimum 56sn'nin gerekli olduğu tespit edilmiştir. 90sn'lik makinistin kabin değiştirme süresi de göz önüne alındığında teknik olarak 2dk26sn lik bir sefer sıklığı elde edilir. Genel işletme tecrübeleri dikkate alındığında bu işletmenin 2dk45sn'lik sefer aralığı ile sağlıklı bir şekilde yapılabileceği öngörülmektedir. Bu şekilde saatte tek yönde 24 sefer düzenlenebilecek olup toplamda 21800 yolcu taşınabilir hale gelecektir.

Çift makinist uygulaması ya da sinyalizasyon sistemindeki iyileştirmeler ile istasyonda bekleme süresi 30sn'ye kadar indirilerek sefer sıklığı için 1dk45sn'ye düşürülebilecektir. Simülasyon çalışmasında 2dk sefer sıklığı ile işletme denemeleri gerçekleştirilmiş olup herhangi bir olumsuzluk olmadan işletmenin devam ettiği gözlemlenmiştir. Böylece saatte 30 tren hareketi sağlanacak ve toplamda 30000 yolcu taşınabilecektir.

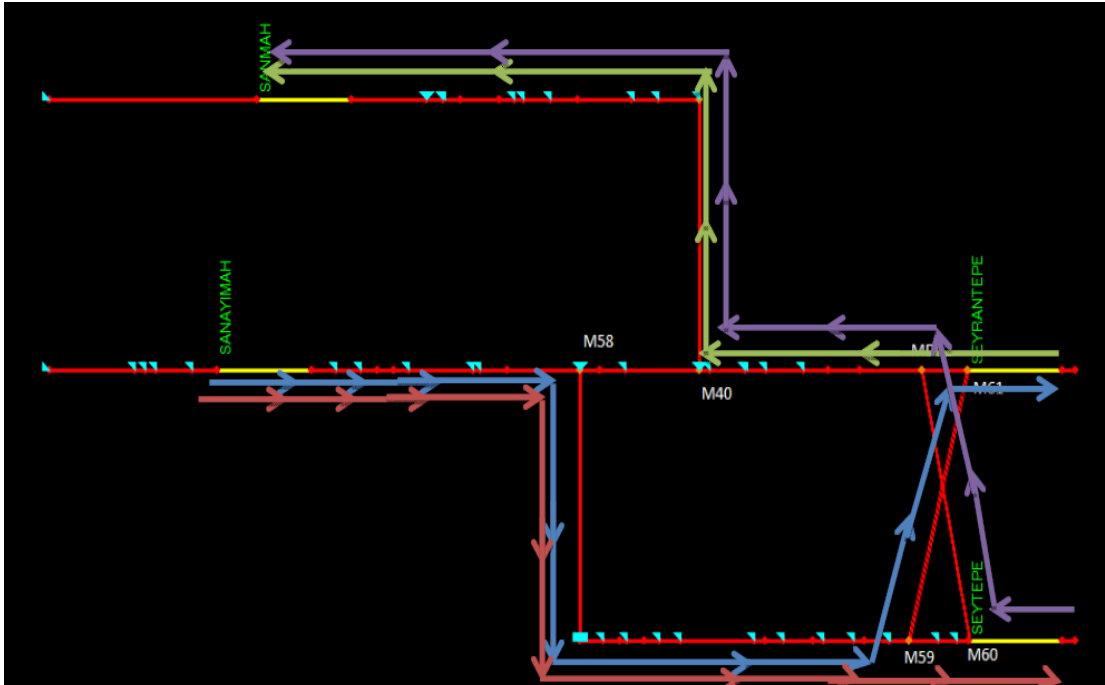
İşletme modelinde Seyrantepe istasyonunun sadece 2. peron'u kullanılmakta olup, 1. peronda acil durum ve kurtarma araçları park edilebilecektir. Ayrıca 2. peronda ya da M60 makasta bir sorun olması durumunda bir önceki işletme senaryosu devreye alınarak

1. peron üzerinden döngü işletmesine devam edilebilecektir. Hattın diğer bölümlerinde ya da herhangi bir trende arıza olması durumunda sistem mekik işletmesi ile düşük kapasiteli olarak çalıştırılabilecektir.

5.2.6 Döngü İşletmesinde Seyrantepe Çift Peron Senaryosu

Son işletme senaryosunda ise Taksim yönünden gelen trenlerin M24 makas aracılığı ile Sanayi Mahallesi istasyonu 3. peronundan geçerek sırası ile Seyrantepe istasyonu platformunu kullandığı durumdur. Şekil 5.44’de görüldüğü gibi gelen ilk tren Seyrantepe istasyonu 1. peronunda ikinci tren ise Seyrantepe istasyonu 2. peronunda duracaktır. Ardından gelen ilk tren Seyrantepe istasyonu 1. peronundan hareket ederek Sanayi Mahallesi istasyonuna gidecek, daha sonra da Seyrantepe istasyonu 2. peronunda bulunan tren hareket ederek Sanayi Mahallesi istasyonu’na varacaktır. Bu işletme modelinde en kısıtlayıcı bölüm yine makaslar bölgesinde oluşacaktır. Ancak trenlerin sadece tek yönlü geçişi ile makaslar serbest kalabileceğinden bu süre 30sn’yi geçmeyecektir.

Şekil 5.44: Döngü işletmesinde Seyrantepe çift peron kullanımı



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

2dk'lık sefer sıklığı ile oluşturulan tarife simüle edildiğinde trenlerin Seyrantepe İstasyonu'nun her iki platformunu da sorunsuz kullandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sistem belirli aralıklar içerisinde kalmak koşulu ile istasyon bekleme süresinde de esneklik göstermektedir. Bu şekli ile işletme tek makinist ile ve sinyalizasyon sistemi iyileştirmesine ihtiyaç kalmadan işletilebilir durumdadır. Ayrıca sistem 4 vagonlu konfigürasyonda saatte 30 tren işletimi ile toplamda tek yönde 30000 yolcu taşınmasına izin verecek olup bu da ileride ihtiyaç duyulması beklenen kapasitenin sorunsuz sağlanacağını göstermektedir. Herhangi bir makas arızası ya da peron peronda meydana arıza durumunda mekik işletmeleri de dâhil olmak üzere yukarıda ele alınan işletme senaryolarına geçiş sağlanabilecektir.

6. ÖRNEK ÇALIŞMA: SEYRANTEPE İSTASYONU KAPASİTE ARTIRMA OPTİMİZASYONU

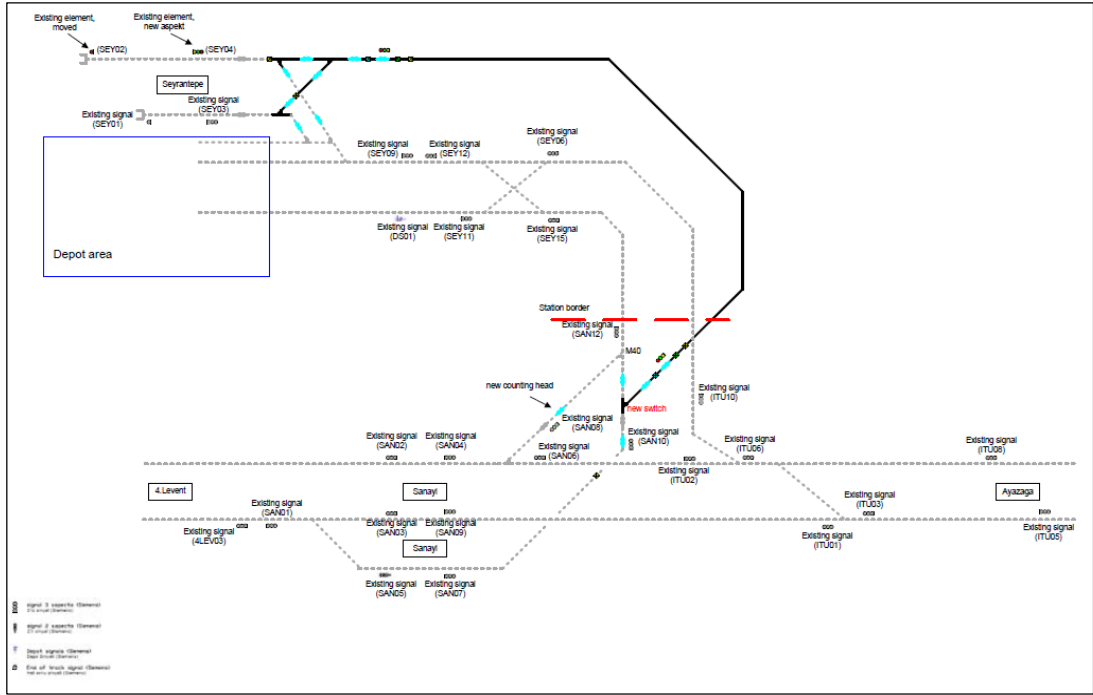
İstanbul Metrosu M2 hattında, Seyrantepe Metro İstasyonu, Türk Telekom Arena stadyumuna yakın bir konumda bulunmaktadır (Şekil 6.1). Stadyum 52652 izleyiciyi ağırlayacak bir kapasiteye sahiptir ve 70000 kişiden fazla kapasiteye sahip bir konser alanına dönüştürülebilmektedir. Spor karşılaşmaları veya konser gibi etkinlikler çok kısa bir süre içinde metro istasyonunda çok büyük yolcu talepleri oluşturmaktadır. Örneğin, etkinliklerden önceki iki saat ve etkinlikten sonraki iki saat içinde istasyonun peronlarında büyük miktarda yolcu birikmesi oluşabilmektedir. Bu güzergâhtaki kapasiteyi artırmak için altyapının müsaade ettiği kısıtlarda ilave bir tünel yapılması durumunda Seyrantepe istasyonundaki işletme senaryoları bir önceki bölümde simülasyonlarla değerlendirilmişti. Bu bölümde ise alternatif ve normal senaryolarda sunulan kapasiteler karşılaştırılarak yoğunluk yaşanan etkinlik günlerinde en yüksek kapasiteyi sunacak hat geneli işletme senaryoları belirlenecektir.

Şekil 6.1: Seyrantepe istasyonu ve Türk Telekom Arena stadı



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Şekil 6.3: İlave bağlantı tüneli ile Sanayi-Seyrantepe hat yerleşimi

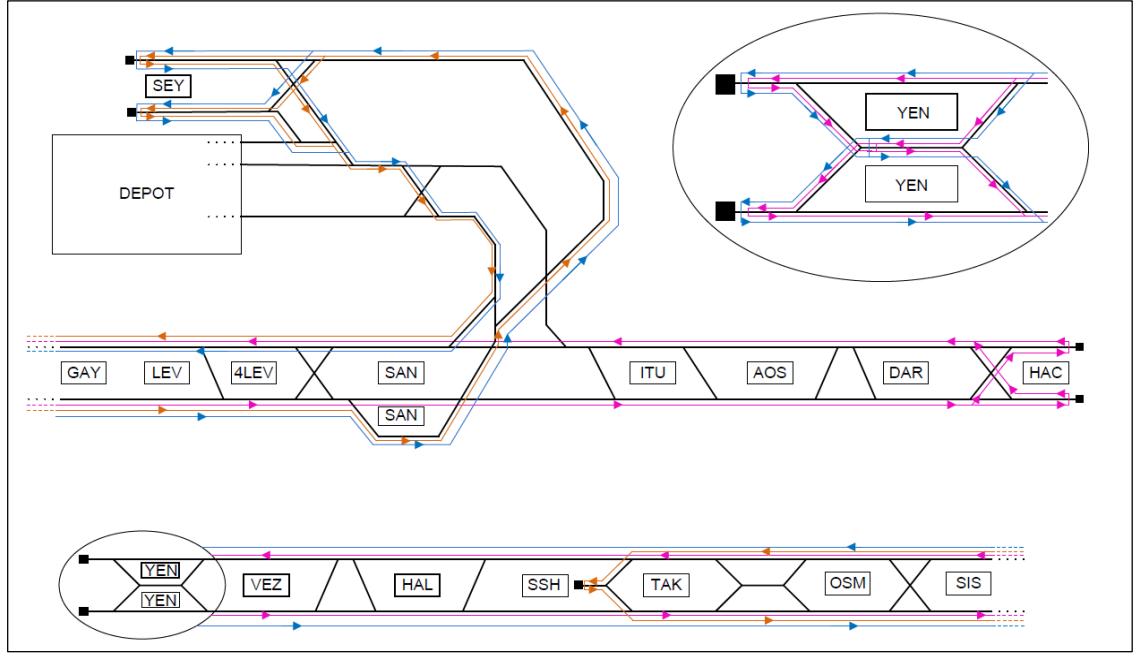


Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Bu bölümde değerlendirilecek alternatif işletme döngüleri Şekil 6.4' te gösterilmiştir. Aşağıdaki döngülerin eşzamanlı olarak uygulanması yoluyla gerçekleştirilebilir:

- Şekil 6.4' te mor renkle gösterilen, Yenikapı – Hacıosman arasındaki döngü;
- Şekil 6.4' te kahverengi olarak gösterilen, Taksim – Seyrantepe arasındaki döngü;
- Şekil 6.4' te mavi olarak gösterilen, Yenikapı – Seyrantepe arasındaki döngü.

Şekil 6.4: Alternatif işletme senaryosu



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

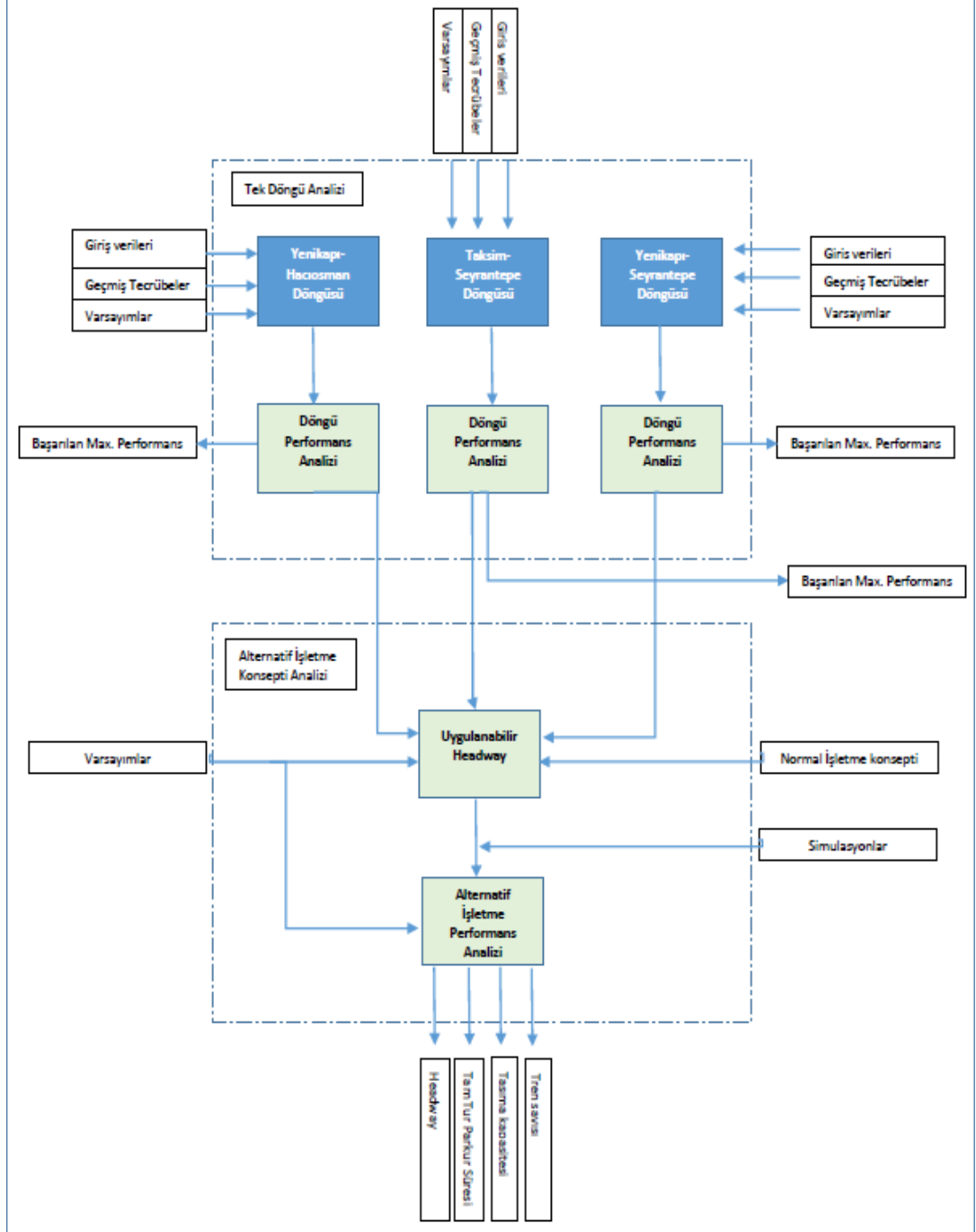
Aşağıdaki temel varsayımlar bu bölümde incelenen alternatif işletim konseptine uygulanacaktır.

- Servisteki trenler her istasyonda duracaktır; hâlbuki servis dışı olan bir tren istasyonu durmadan geçecektir;
- Servisteki trenler planlanan tarifelere göre düzenlenecek ve *ARS (Automatic Route System)* sistemi güzergâhları otomatik olarak belirleyecektir;
- Yolculu servis için gereken trenler normalde Seyrantepe Depo 'da park hâlinde tutulacak ve uygulanan yolculu servis seviyesine göre gereken şekilde buradan M2 hattına sevk edilecektir;
- Trenler, sinyalizasyon sisteminden trene gönderilen talimat veya kodlara uyulmasını devamlı surette kontrole imkân veren *CTC* otomatik modda (*CTC/AM* modu) işletilecektir.

6.1 METODOLOJİK YAKLAŞIM VE GİRİDİ VERİLERİ

Alternatif işletme konseptinin ve ilişkili gerçekleştirilebilir servis seviyelerinin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, sistemi oluşturan her bir döngünün uygulamasıyla başlayan bir alt-üst prosesidir. Metodolojik yaklaşım Şekil 6.5' te anlatılmaktadır.

Şekil 6.5: Alternatif işletme konsepti ve metodolojik yaklaşım



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Alternatif işletimsel konseptin performanslarını tanımlamak için takip edilen metodolojik adımlar aşağıda sunulmaktadır:

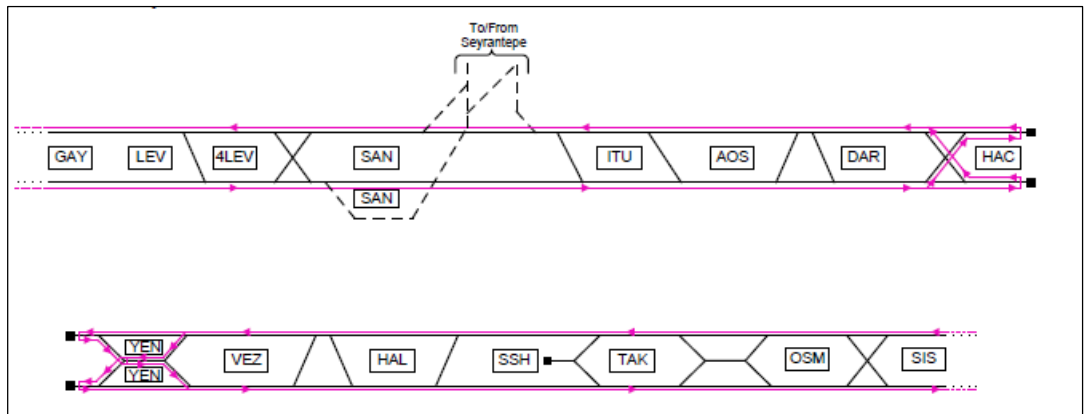
1. Adım 1: Alternatif işletimi oluşturan her bir döngünün performanslarının aşağıdaki bakımlardan değerlendirilmesi:
 - a. Minimum gerçekleştirilebilir sefer aralığı;
 - b. Gidiş-dönüş sefer süresi;
 - c. Maksimum tren sayısı;
2. Adım 2: Adım 1'in sonuçlarına dayalı olarak, genel alternatif işletim stratejisine uygulanabilecek minimum uygulanabilir sefer aralığının değerlendirilmesi;
3. Adım 3: Önceki adımların sonuçlarına dayalı olarak, alternatif işletim stratejisinin performansının aşağıdakiler bakımından değerlendirilmesi:
 - a. Gidiş-dönüş sefer süresi;
 - b. Maksimum tren sayısı;
 - c. Maksimum yolcu taşıma kapasitesi.

Genel sonuçlar, gerçekleştirilen simülasyonun sonuçlarıyla desteklenecektir.

6.2 YENİKAPI – HACIOSMAN DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Yenikapı – Hacıosman döngüsü, trenlerin seyahat yönünün oklarla tanımlandığı Şekil 6.6'da sunulmuştur.

Şekil 6.6: Yenikapı – Hacıosman döngüsü



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

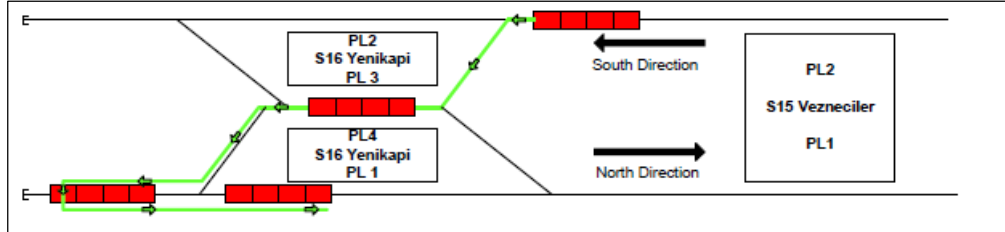
6.2.1 Minimum Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı

Bu döngüye ilişkin gerçekleştirilebilir sefer aralığı, terminal istasyonlarında geri dönüş işletmesiyle belirlenir. Aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

- 40 saniye, treni başlatmak için gereken minimum teknik süredir; buna göre, minimum kabin değiştirme süresi 60 saniyedir. Bu durumda, iki makinist gereklidir.
- 90 saniye, tek makinistli 4 vagonlu bir tren setinin kabin değişikliğini gerçekleştirmek için gereken minimum süredir;
- 140 saniye, tek makinistli 8 vagonlu bir tren setinin kabin değişikliğini gerçekleştirmek için gereken minimum süredir;

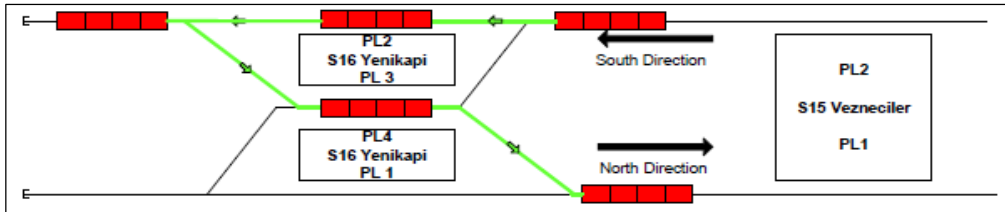
Aşağıdaki geri dönüş stratejileri (Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9), normal işletim sırasında Yenikapı istasyonuna uygulanabilir:

Şekil 6.7: Yenikapı istasyonu'nda geri dönüş – örnek olay A



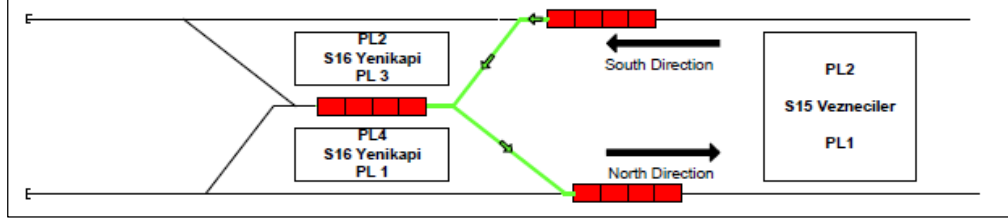
Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Şekil 6.8: Yenikapı istasyonu'nda geri dönüş – örnek olay B



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Şekil 6.9: Yenikapı istasyonu'nda geri dönüş – örnek olay C



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Aşağıdaki gerçekleştirilebilir sefer aralığı değerleri, Yenikapı istasyonu'nda yapılacak analitik hesaplama göre elde edilebilir:

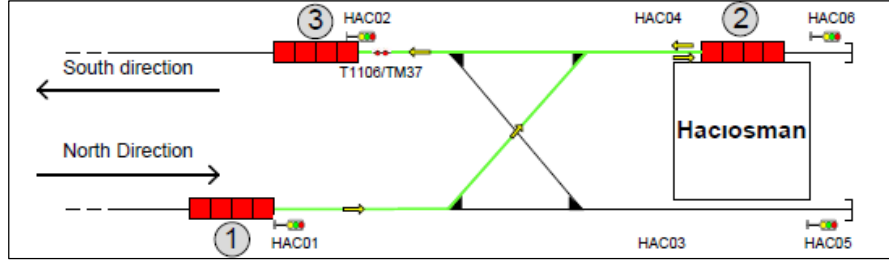
Tablo 6.1: Yenikapı istasyonu – gerçekleştirilebilir sefer aralığı

Terminal istasyonunda Durma süresi	Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı	
	4 vagonlu tren seti	8 vagonlu tren seti
Yenikapı – Örnek Olay A		
40	149 (2'29")	153 (2'33")
60	151 (2'31")	158 (2'38")
90	181 (3'01")	188 (3'08")
140	-	238 (3'58")
Yenikapı – Örnek Olay B		
40	160 (2'40")	161 (2'41")
60	180 (3'00")	181 (3'01")
90	210 (3'30")	211 (3'31")
140	-	261 (4'21")
Yenikapı – Örnek Olay C		
40	151 (2'31")	164 (2'44")
60	171 (2'51")	184 (3'04")
90	201 (3'21")	214 (3'34")
140	-	264 (4'24")

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

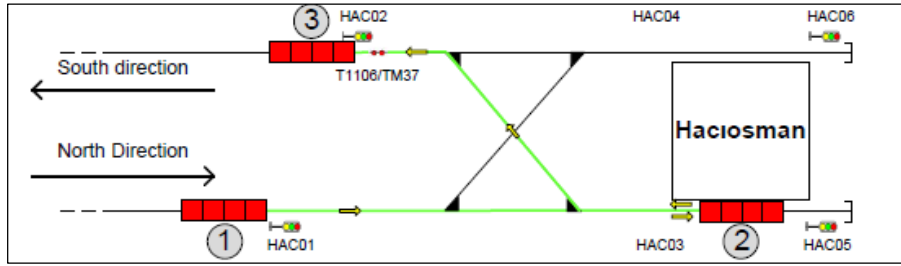
Aşağıdaki geri dönüş stratejileri (Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12) Hacıosman istasyonu'na uygulanabilir:

Şekil 6.10: Haciosman istasyonu'nda geri dönüş - peron 2



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Şekil 6.11: Haciosman istasyonu'nda geri dönüş - peron 1



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Gerçekleştirilebilir sefer aralığı, aşağıdaki girdi verileri dikkate kullanılabilir verilere (hat yerleşimi, güzergâh tablosu, işletim hızı) dayalı olarak belirtilmiştir.

- Tren ivmelenmesi: 0,9 m/s²;
- Çapraz makas boyunca tren seyir hızı: 25 km/saat
- Azami izin verilen çalışma hızı 50 km/saat;
- Seyahat sürelerine yüzde 10 işletim süresi yedeği uygulanmıştır

Yukarıdaki Şekil 6.10 ve Şekil 6.11 referansla, gerçekleştirilebilir sefer Aralığı şöyledir:

$$\text{Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı} = \text{Seyahat Süresi (1-2)} + \text{Durma Süresi} + \text{Seyahat Süresi (2+3)} \quad (6.1)$$

Burada:

- i. Seyahat Süresi (1-2) = HAC01'den Hacıosman Peron 1/2'ye olan güzergâh takip edildiğinde geçen süre (hedef hız 0);
- ii. Durma Süresi = Hacıosman Peron 1/2'de durma süresi.
- iii. Seyahat Süresi (2-3) = Hacıosman Peronu 1/2'den (hedef hız 0) aks sayıcı T1106/TM37'ye kadar güzergâh takip edildiğinde geçen süre (trenin kuyruğu aks sayıcıdan geçmelidir).

Her iki örnek olay da, aşağıdaki tabloda sunulan aynı sonuçları vermiştir:

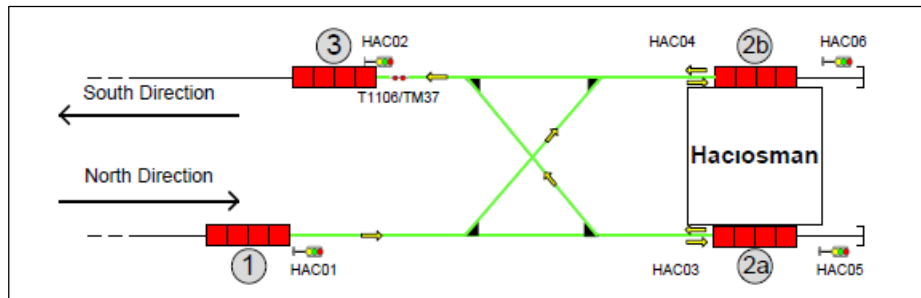
Tablo 6.2: Hacıosman istasyonu'nda geri dönüş - gerçekleştirilebilir sefer aralığı

Durma Süresi	Sefer Aralığı (s /dk)	
	4 Vagonlu Tren Seti	8 Vagonlu Tren Seti
40	160 (2'40")	170 (2'50")
60	180 (3'00")	190 (3'10")
90	210 (3'30")	220 (3'40")
140	-	270 (4'30")

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Bu terminal her iki peronun da alternatifli olarak kullanılması yoluyla da yönetilebilir; bu durumda, aşağıda Şekil 6.12'de gösterildiği gibi, bir tren üst perona yönlendirilirken, takip eden tren aşağıdaki perona yönlendirilir.

Şekil 6.12: Hacıosman istasyonu'nda geri dönüş – çift peron



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Çift peron geri dönüş yönetimi, terminal istasyonlarındaki geri dönüş işlemlerinin neden olduğu darboğazı olası maksimum ölçüde sınırlandırmaya izin verir. Bu işletimsel konsept bu nedenle, yüksek taşıma kapasitesi talebi olması durumunda uygundur. Hacıosman terminal istasyonu çift peron kullanımı yoluyla 150 saniyelik (2’30’’) sefer aralığını destekleyebilmektedir. Bu sefer aralığı değeri 4 vagonlu trenlerle ilişkiliyken, 8 vagonlu tren seti için 150 saniyelik sefer aralığı uygulanabilirliğinin doğrulanacağı belirtilmiştir.

6.2.2 Gidiş Dönüş Sefer Süresi

Gidiş dönüş süreleriyle ilişkili sonuçlar aşağıdaki Tablo 6.3 de özetlenmiştir.

Tablo 6.3: Yenikapı – Hacıosman döngüsü – gidiş dönüş süreleri

Terminal istasyonunda Durma süresi	Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı	
	4 vagonlu tren seti	8 vagonlu tren seti
Yenikapı – Örnek Olay A		
40	01:02:43	01:03:59
60	01:03:23	01:04:39
90	01:04:23	01:05:39
140	-	01:07:19
Yenikapı – Örnek Olay B		
40	01:02:52	01:04:14
60	01:03:32	01:04:54
90	01:04:32	01:05:54
140	-	01:07:34
Yenikapı – Örnek Olay C		
40	01:00:40	01:01:59
60	01:01:20	01:02:39
90	01:02:20	01:03:39
140	-	01:05:19

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

6.2.3 Trenlerin Sayısı

Gidiş-Dönüş Süreleriyle ilişkili sonuçlar aşağıdaki tablolarda (Tablo 6.4 ve Tablo 6.5) özetlenmiştir.

Tablo 6.4: Yenikapı – Haciosman döngüsü - tren sayısı – 4 vagon

Gidiş Dönüş Süresi (ss:dd:ss)	Terminal istasyonu/tampon durdurucu(lar)da Durma Süresi	Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı (dd:ss)	Trenlerin sayısı
Örnek Olay A			
01:02:43	40	02:29	25,26 ~ 25
01:03:23	60	02:31	25,19 ~ 25
01:04:23	90	03:01	21,34 ~ 21
Örnek Olay B			
01:02:52	40	02:41	23,58 ~ 23 - 24
01:03:32	60	03:01	21,18 ~ 21
01:04:32	90	03:31	18,44 ~ 18
Örnek Olay C			
01:00:40	40	02:31	24,10 ~ 24
01:01:20	60	02:51	21,52 ~ 21
01:02:20	90	03:21	18,61 ~ 18 - 19

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Tablo 6.5: Yenikapı – Haciosman döngüsü - tren sayısı – 8 vagon

Gidiş-Dönüş Sefer Süresi (ss:dd:ss)	Terminal istasyonu/ Durma Süresi	Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı (dd:ss)	Trenlerin Sayısı
Örnek Olay A			
01:03:59	40	02:33	25,09 ~ 25
01:04:39	60	02:38	24,55 ~ 24
01:05:39	90	03:08	20,95 ~ 21
01:07:19	140	03:58	16,97 ~ 17
Örnek Olay B			
01:04:14	40	02:41	23,94~ 24
01:04:54	60	03:01	21,51 ~21 - 22
01:05:54	90	03:31	18,74 ~ 18 - 19
01:07:34	140	04:21	15,53 ~ 15 - 16
Örnek Olay C			
01:01:59	40	02:44	22,68 ~ 22 - 23
01:02:39	60	03:04	20,43 ~ 20
01:03:39	90	03:34	17,85 ~ 18
01:05:19	140	04:24	14,84 ~ 15

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Döngünün performansı, en yaygın olarak kullanılan servis seviyesine (3 dakikadan 10 dakikaya kadar) göre yeniden hesaplanmıştır.

Sonuçlar, sırasıyla 4 vagonlu ve 8 vagonlu trenler için Tablo 6.6 ve Tablo 6.7'de bildirilmiştir. Her bir servis seviyesi için aşağıdaki bilgiler sunulmaktadır:

- Tren sayısı: döngü üzerinden işletilebilecek trenlerin sayısını tanımlar;
- Programlanan gidiş-dönüş sefer süresi bu değer, sefer aralığı tren sayısı ile çarpılarak hesaplanır;
- Tampon Süre: programlanan gidiş-dönüş sefer süresi ve minimum gidiş-dönüş sefer süresi arasındaki fark olarak tanımlanır.

Tablo 6.6: Yenikapı – Hacıosman döngü – 4 vagonlu tren için servis seviyesi

İşletimsel Servis Seviyeleri (dk)	Trenlerin sayısı	Programlanan Gidiş-Dönüş Sefer Süresi	Tampon Süre
3'00''	22	1:06:00	00:02:37
4'00''	16	1:04:00	00:00:37
	17	1:08:00	00:04:37
5'00''	13	1:05:00	00:01:37
	14	1:10:00	00:06:37
6'00''	11	1:06:00	00:02:37
	12	1:12:00	00:08:37
7'00''	10	1:10:00	00:06:37
	11	1:17:00	00:13:37
8'00''	8	1:04:00	00:00:37
	9	1:12:00	00:08:37
9'00''	8	1:12:00	00:08:37
	9	1:21:00	00:17:37
10'00''	7	1:10:00	00:06:37
	8	1:20:00	00:16:37

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Tablo 6.7: Yenikapı – Hacıosman döngü – 8 vagonlu tren için servis seviyesi

İşletimsel Servis Seviyeleri (dk)	Trenlerin sayısı	Programlanan Gidiş-Dönüş Sefer Süresi	Tampon Süre
3'00''	23	1:09'00	00:02:21
4'00''	17	1:08'00	00:01:21
	18	1:12'00	00:05:21
5'00''	14	1:10'00	00:03:21
	15	1:15'00	00:08:21
6'00''	12	1:12'00	00:05:21
	13	1:18'00	00:11:21
7'00''	10	1:10'00	00:03:21
	11	1:17'00	00:10:21
8'00''	9	1:12'00	00:05:21
	10	1:20'00	00:13:21
9'00''	8	1:12'00	00:05:21
	9	1:21'00	00:14:21
10'00''	7	1:10'00	00:03:21
	8	1:20'00	00:13:21

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Tampon süre, tarifinin hazırlanması ve doğrulanması sırasında terminal istasyonlarına veya bir ara istasyona eklenebilecek bir işletim sınırını temsil eder. Bu nedenle, işletimsel bakış açısından, tampon sürenin önemli miktarda olması servis senkronizasyonunu iyileştirir ve uygulanabilir bir tarife oluşturulmasına izin verir. Ek olarak, aşağıdaki işletimsel özellikler tampon süresinin doğrudan sonucudur:

- a. Geciken bir trenin tarifeyi yakalayabilmesini sağlar;
- b. Geri dönüş yönetimi için kullanılabilir süreyi artırır ve sonuç olarak yedek makinist gereğini ortadan kaldırabilir.

Trenler terminal istasyonlarında uygulanacak sefer aralığından uzun bir durma süresi uyguladıklarında, bunun çift peronlu işletim gerektirdiği de ayrıca bilinmelidir. Bu tip işletim, terminal istasyonları geri dönüş işlemlerinin neden olduğu darboğazın mümkün olan maksimum ölçüde sınırlanmasına izin verir ve sonuç olarak, yüksek taşıma kapasitesi olması durumunda bu işletimsel konsept uygun olur.

6.2.4 Kapasite Analizi

Analiz edilen her bir servis seviyesiyle ilişkili taşıma kapasitesi aşağıda Tablo 6.8' de bildirilmiştir.

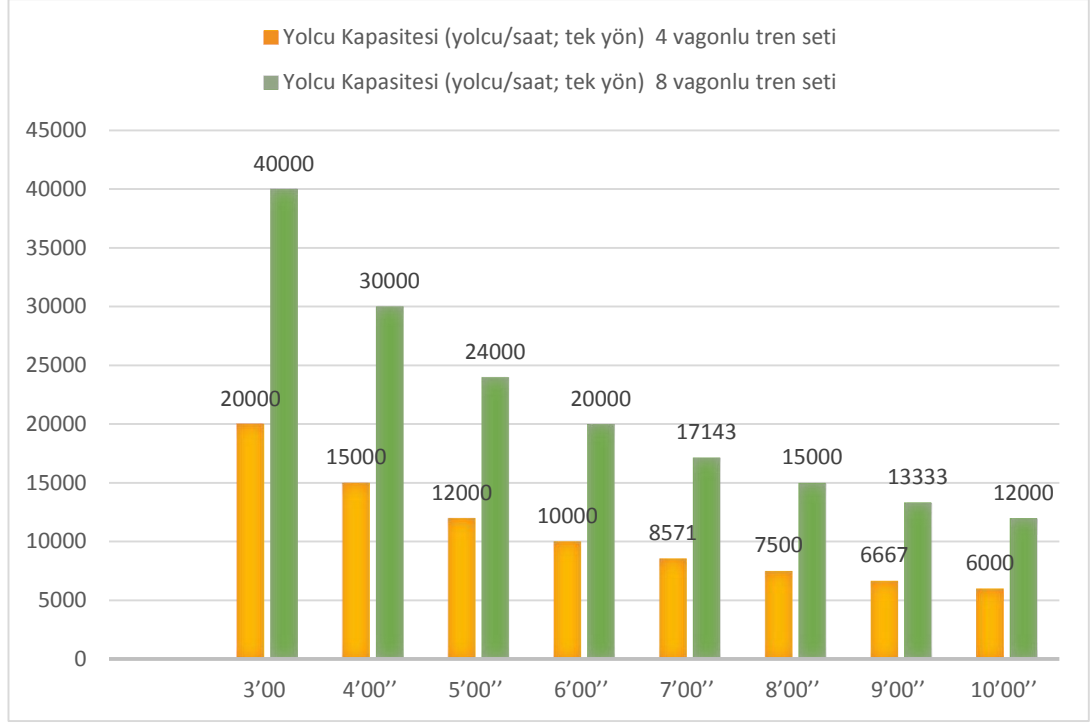
Tablo 6.8: Yenikapı – Hacıosman döngüsü servis seviyesine göre taşıma kapasitesi

İşletimsel Servis Seviyeleri (dk)	Saat Başı Seferler	Yolcu Kapasitesi (yolcu/saat)	
		4 vagonlu tren seti	8 vagonlu tren seti
3'00	20	20000	40000
4'00''	15	15000	30000
5'00''	12	12000	24000
6'00''	10	10000	20000
7'00''	8,57	8571	17143
8'00''	7,5	7500	15000
9'00''	6,67	6667	13333
10'00''	6	6000	12000

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Taşıma kapasitesi aşağıdaki grafikte özetlenmiştir.

Şekil 6.13: Yenikapı – Hacıosman döngüsü servis seviyesine göre taşıma kapasitesi

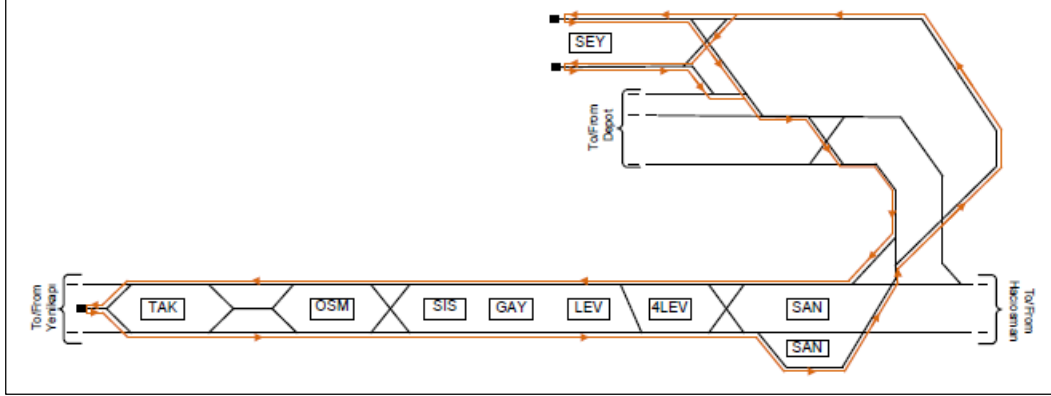


Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

6.3 TAKSİM – SEYRANTEPE DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Taksim – Seyrantepe döngüsü, trenlerin seyahat yönünün oklarla tanımlandığı Şekil 6.14'te gösterilmiştir.

Şekil 6.14: Taksim – Seyrantepe döngüsü



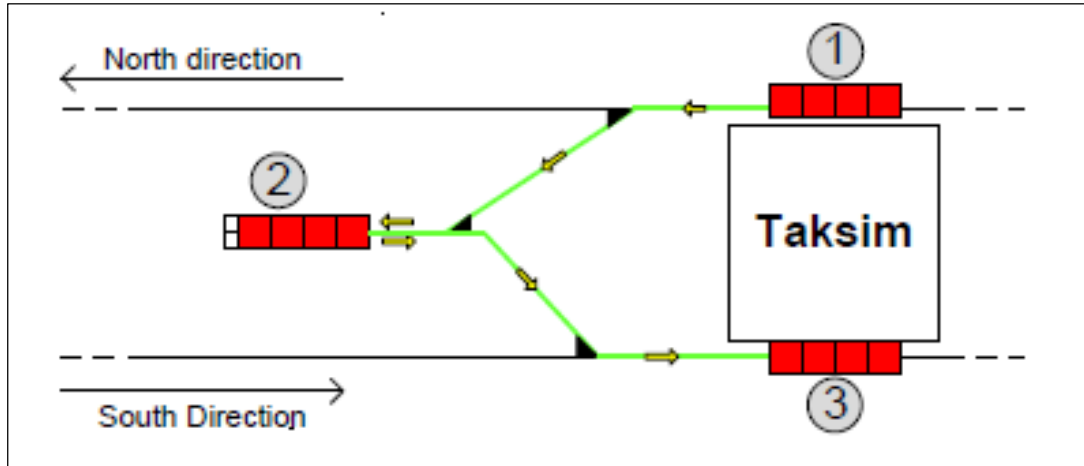
Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

6.3.1 Minimum Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı

Bu döngüye ilişkin gerçekleştirilebilir sefer aralığı, terminal istasyonlarında geri dönüş (geri dönme) işlemiyle belirlenir.

Aşağıdaki geri dönüş stratejisi Taksim istasyonu'na uygulanmaktadır:

Şekil 6.15: Taksim hat sonunda geri dönüş



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Yukarıdaki Şekil 6.15'e referansla, gerçekleştirilebilir sefer aralığı şöyledir:

$$\text{Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı} = \text{seyahat süresi (1-2)} + \text{durma süresi} + \text{seyahat süresi (2+3)} \quad (6.2)$$

Burada:

- a. Seyahat Süresi (1-2) = Taksim Peron 2'den (hedef hız 0) Taksim Hat sonuna (hedef hız 0) kadar olan güzergâh takip edildiğinde geçen süre.
- b. Durma Süresi = Taksim Ray Hattında durma süresi;
- c. Seyahat Süresi (2-3) = Taksim hat sonundan (hedef hız 0) Taksim Peron 1'e (hedef hız 0) kadar olan güzergâh takip edildiğinde geçen süre.

Sonuçlar Tablo 6.9' da sunulmaktadır.

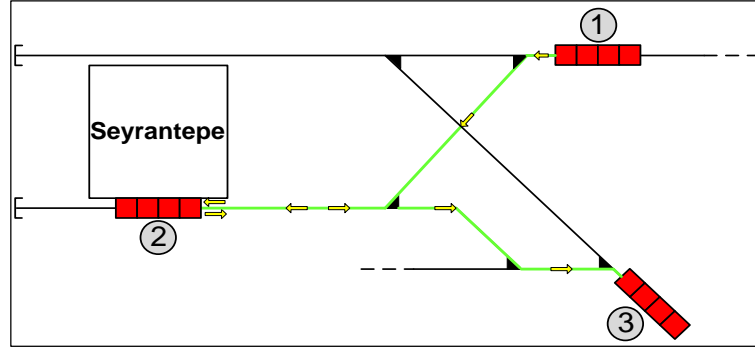
Tablo 6.9: Taksim istasyonu – gerçekleştirilebilir sefer aralığı

Durma Süresi (s)	Sefer Aralığı (san / dak)	
	4 Vagonlu Tren Seti	8 Vagonlu Tren Seti
40	194 (3'14")	198 (3'18")
60	214 (3'34")	218 (3'38")
90	244 (4'04")	248 (4'08")
140	-	298 (4'58")

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

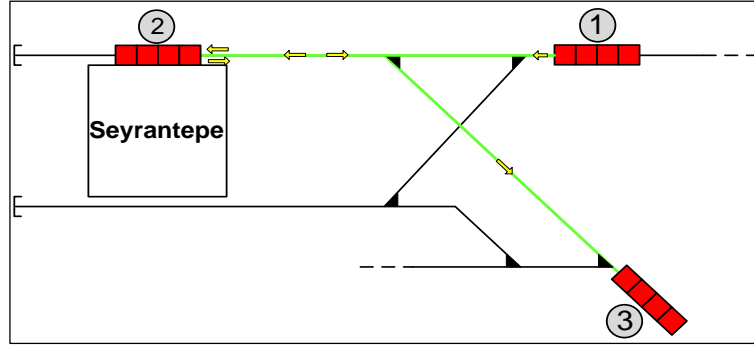
Seyrantepe istasyonunda geri dönüş peron 1 den olursa Şekil 6.16'daki gibi, peron 2 den olursa Şekil 6.17 de olduğu gibi dönüşler gerçekleşecektir.

Şekil 6.16: Seyrantepe istasyonu'nda geri dönüş - peron 1



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

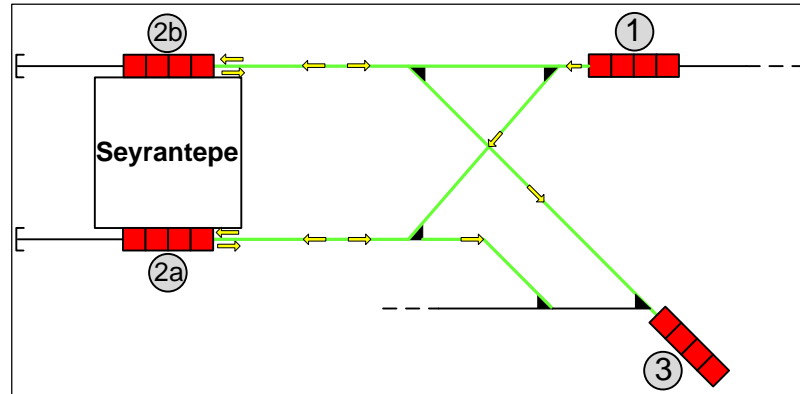
Şekil 6.17: Seyrantepe istasyonu'nda geri dönüş - peron 2



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Bu terminal her iki peronun alternatifli olarak kullanılması yoluyla da yönetilebilir; bu durumda, aşağıda Şekil 6.18'de gösterildiği gibi, bir tren üst perona yönlendirilirken, takip eden tren aşağıdaki perona yönlendirilir.

Şekil 6.18: Seyrantepe istasyonu'nda geri dönüş – çift peron



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Yukarıda sunulan işletimsel özellik, bu terminal istasyonu için maksimum gerçekleştirilebilir sefer aralığının iyileştirilmesine izin verir.

6.3.2 Gidiş Dönüş Sefer Süresi

Taksim – Yenikapı döngüsü için gidiş-dönüş süresi, simülasyonlarla sağlanan ve aşağıda Tablo 6.10 da özetlenen tarife tablosu girdi verisi olarak kabul edilerek hesaplanmıştır. Tabloda bildirilen girdi verilerinin 4 vagonlu bir tren setiyle ilişkili olduğuna dikkat edilmelidir.

Tablo 6.10: Seyrantepe – Taksim arasındaki döngü – tarife tablosu

Yol		Hareket Süresi	Varış Zamanı	Seyahat Süresi
Kalkış Yeri	Varış Yeri			
Taksim geri dönüş	Seyrantepe	08:02:00	08:18:10	00:16:10
Seyrantepe	Taksim geri dönüş	08:23:01	08:40:34	00:17:33

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Bir seyahat sınırlamasını dikkate almak ve sorunsuz bir işlemi garantilemek için yüzde 10'luk bir işletim süresi yedeği eklenmiştir.

Seyahat sürelerinin, her bir ara istasyonda uygulanan 20 saniyelik bir durma süresini de içerdiği bilinmelidir.

Değerlendirilen gidiş-dönüş sefer süreleri aşağıda bildirilmiştir:

Tablo 6.11: Taksim – Seyrantepe döngü – gidiş-dönüş sefer süreleri

Terminal İstasyonunda Durma Süresi	Gidiş-Dönüş Sefer Süreleri	
	4 vagonlu tren seti	8 vagonlu tren seti
40	00:35:03	00:36:04
60	00:35:43	00:36:44
90	00:36:43	00:37:44
140	-	00:39:24

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

8 vagonlu tren setleri için seyahat Süreleri, 4 ve 8 vagonlu konfigürasyonlardaki CTC seyahat süreleriyle ilişkili önceki deneyime dayalı olarak varsayılan yüzde 3'lük bir işletim süresi yedeği dikkate alınarak 4 vagonlu seyahat sürelerinden başlanarak tahmin edilmiştir.

6.3.3 Trenlerin Sayısı

İşletimsel bir bakış açısından tahmini sefer yolları ve tahmini gidiş dönüş süreleri dikkate alınarak, Taksim – Seyrantepe döngüsünde çalışacak maksimum tren sayısını tahmin etmek mümkündür.

Sonuçlar aşağıda Tablo 6.12’de sunulmaktadır.

Tablo 6.12: Taksim – Seyrantepe arasındaki döngü – tren sayısı

Gidiş-Dönüş Sefer Süresi	Her Bir Terminalde Durma Süresi	Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı	Trenlerin Sayısı
4 Vagonlu Tren Seti			
00:35:03	00:00:40	00:03:14	10,84 → 10
00:35:43	00:01:00	00:03:34	10,01 → 10
00:36:43	00:01:30	00:04:04	9,03 → 9
8 Vagonlu Tren Seti			
00:36:04	00:00:40	00:03:18	10,93 → 10
00:36:44	00:01:00	00:03:38	10,11 → 10
00:37:44	00:01:30	00:04:04	9,28 → 9
00:39:24	00:02:20	00:04:58	7,93 → 7

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Döngünün performansı, en yaygın olarak kullanılan servis seviyesine (4 dakikadan 10 dakikaya kadar) göre yeniden hesaplanmıştır.

Sonuçlar, sırasıyla 4 vagonlu ve 8 vagonlu trenler için Tablo 6.13 ve Tablo 6.14'te bildirilmiştir.

Tablo 6.13: Taksim – Seyrantepe döngü – 4 vagonlu tren için servis seviyesi

İşletimsel Servis Seviyeleri (dk)	Trenlerin Sayısı	Programlanan Gidiş-Dönüş Sefer Süresi	Tampon Süre
4'00''	9	00:36:00	00: 00:17
	10	00:40:00	00:04:17
5'00''	8	00:40:00	00:04:17
6'00''	6	00:36:00	00: 00:17
	7	00:42:00	00:06:17
7'00''	6	00:42:00	00:06:17
	7	00:49:00	00:13:17
8'00''	5	00:40:00	00:04:17
	6	00:48:00	00:12:17
9'00''	4	00:36:00	00: 00:17
	5	00:45:00	00:09:17
10'00''	4	00:40:00	00:04:17
	5	00:50:00	00:14:17

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Tablo 6.14: Taksim – Seyrantepe döngü – 8 vagonlu tren için servis seviyesi

İşletimsel Servis Seviyeleri (dk)	Trenlerin sayısı	Programlanan Gidiş-Dönüş Sefer Süresi	Tampon Süre
4'00''	10	00:40:00	00:03:16
5'00''	8	00:40:00	00:03:16
6'00''	7	00:42:00	00:05:16
7'00''	6	00:42:00	00:05:16
	7	00:49:00	00:12:16
8'00''	5	00:40:00	00:03:16
	6	00:48:00	00:11:16
9'00''	5	00:45:00	00:08:16
	6	00:54:00	00:17:16
10'00''	4	00:40:00	00:03:16
	5	00:50:00	00:13:16

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

6.3.4 Kapasite Analizi

Analiz edilen her bir servis seviyesiyle ilgili taşıma kapasitesi aşağıda Tablo 6.15'de bildirilmiştir.

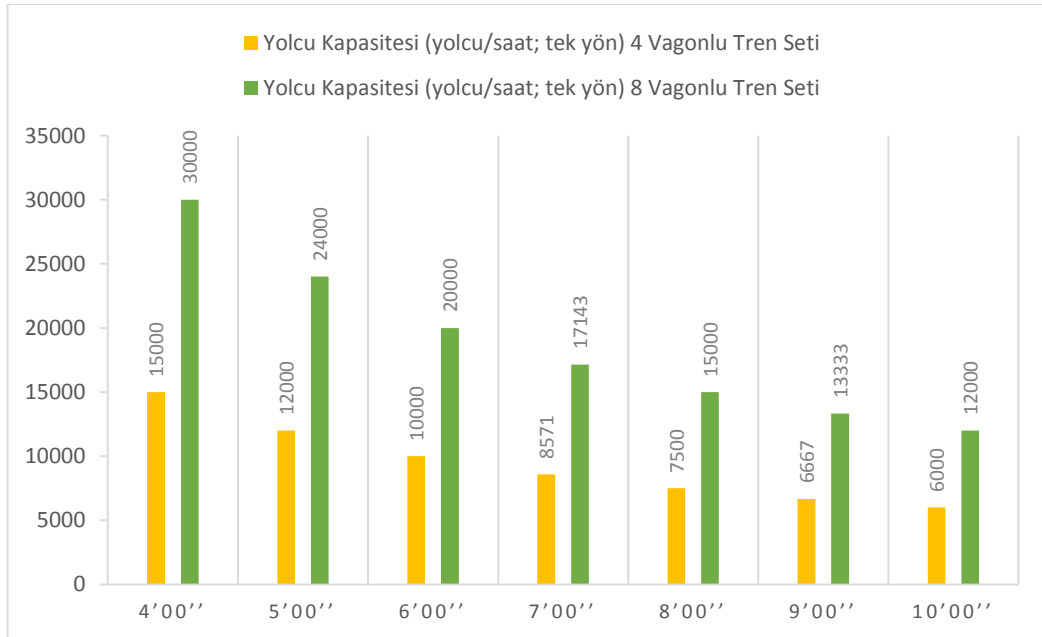
Tablo 6.15: Taksim – Seyrantepe döngü – servis seviyesine göre taşıma kapasitesi

İşletimsel Servis Seviyeleri (dk)	Saat Başı Seferler	Yolcu Kapasitesi (yolcu/saat; tek yön)	
		4 Vagonlu Tren Seti	8 Vagonlu Tren Seti
4'00''	15	15000	30000
5'00''	12	12000	24000
6'00''	10	10000	20000
7'00''	8,57	8571	17143
8'00''	7,5	7500	15000
9'00''	6,67	6667	13333
10'00''	6	6000	12000

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Taşıma kapasitesi aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

Şekil 6.19: Taksim – Seyrantepe döngü – servis seviyesine göre taşıma kapasitesi

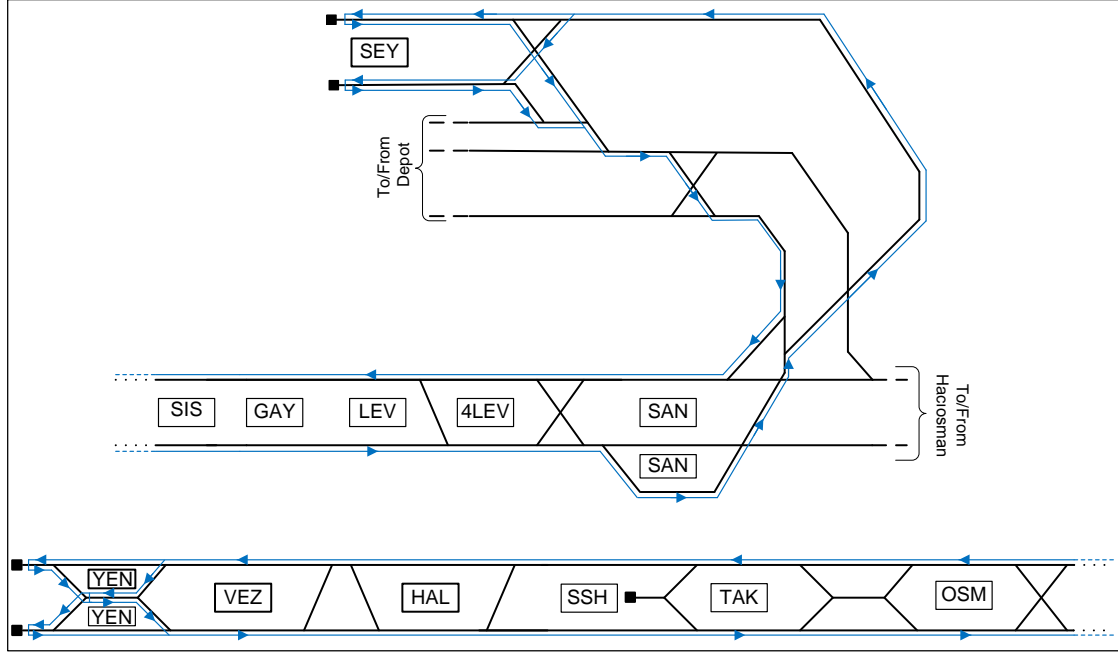


Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

6.4 YENİKAPI – SEYRANTEPE DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Yenikapı – Seyrantepe döngüsü, trenlerin seyahat yönünün oklarla tanımlandığı Şekil 6.20 'de gösterilmiştir.

Şekil 6.20: Yenikapı – Seyrantepe döngüsü



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

6.4.1 Minimum Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı

Bu döngü için dikkate alınan gerçekleştirilebilir sefer aralığı değerleri aşağıdaki tabloda bildirilmiştir. (Tablo 6.16)

Tablo 6.16: Yenikapı - Seyrantepe döngü – gerçekleştirilebilir sefer aralığı

Durma Süresi (s)	Sefer Aralığı (san / dak)	
	4 Vagonlu Tren Seti	8 Vagonlu Tren Seti
40	194 (3'14")	198 (3'18")
60	214 (3'34")	218 (3'38")
90	244 (4'04")	248 (4'08")
140	-	298 (4'58")

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Çift peronlu işletim düşünülürse, o durumda minimum gerçekleştirilebilir sefer aralığı optimize edilebilir. Beşinci bölümde yapılan simülasyonlarda sağlanan incelemelere göre, Seyrantepe istasyonu, çift peronlu geri dönüş stratejisinde, 120 saniyelik sefer aralığına göre işletmeye imkân verecektir.

6.4.2 Gidiş Dönüş Sefer Süresi

Yenikapı – Seyrantepe döngüsü için gidiş-dönüş sefer süresi, aşağıda Tablo 6.17' de özetlenen tarife tablosu girdi verisi olarak kabul edilerek hesaplanmıştır.

Tabloda bildirilen verilerin 4 vagonlu konfigürasyonla ilişkili olduğuna dikkat edilmelidir.

Tablo 6.17: Yenikapı - Seyrantepe arasındaki döngü – tarife tablosu

Yol		Hareket Süresi	Varış Zamanı	Seyahat Süresi
Kalkış Yeri	Varış Yeri			
Yenikapı dönüş	Seyrantepe	08:54:17	09:16:39	00:22:22
Seyrantepe	Yenikapı dönüş	09:18:24	09:41:45	00:23:21

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Bir seyahat marjını dikkate almak ve sorunsuz bir işlemi garantilemek için yüzde 8'lik bir işletim süresi yedeği eklenmiştir.

Seyahat süreleri, her bir ara istasyonda uygulanan 20 saniyelik bir durma süresini de içermektedir.

Değerlendirilen gidiş-dönüş sefer süreleri aşağıda bildirilmiştir:

Tablo 6.18: Yenikapı– Seyrantepe arasındaki döngü – gidiş-dönüş sefer süreleri

Terminal İstasyonunda Durma Süresi	Gidiş-Dönüş Sefer Süreleri	
	4 Vagonlu Tren Seti	8 Vagonlu Tren Seti
40	00:47:03	00:48:25
60	00:47:43	00:49:05
90	00:48:43	00:50:05
140	-	00:51:45

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

6.4.3 Trenlerin Sayısı

İşletimsel bir bakış açısından tahmini sefer yolları ve tahmini gidiş dönüş süreleri dikkate alınarak, Yenikapı – Seyrantepe döngüsünde çalışan maksimum tren sayısını gösteren sonuçlar Tablo 6.19’ da sunulmaktadır.

Tablo 6.19: Yenikapı – Seyrantepe arasındaki döngü – tren sayısı

Gidiş-Dönüş Sefer Süresi	Her Bir Terminalde Durma Süresi	Gerçekleştirilebilir Sefer Aralığı	Trenlerin Sayısı
4 Vagonlu Tren Seti			
00:47:03	00:00:40	00:03:14	10,84→10
00:47:43	00:01:00	00:03:34	10,01→10
00:48:43	00:01:30	00:04:04	9,03→9
8 Vagonlu Tren Seti			
00:48:25	00:00:40	00:03:18	10,93→10
00:49:05	00:01:00	00:03:38	10,11→10
00:50:05	00:01:30	00:04:04	9,28→9
00:51:45	00:02:20	00:04:58	7,93→7

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Bu bölümde, döngünün performansı, en yaygın olarak kullanılan servis seviyesine (4 dakikadan 10 dakikaya kadar) göre yeniden hesaplanmıştır.

Sonuçlar, sırasıyla 4 vagonlu ve 8 vagonlu trenler için Tablo 6.20 ve Tablo 6.21’ de bildirilmiştir.

Her bir servis seviyesi için aşağıdaki bilgiler sunulmaktadır:

- Tren sayısı: döngü üzerinden işletilebilecek trenlerin sayısını tanımlar;
- Programlanan gidiş-dönüş sefer süresi: bu değer, sefer aralığı tren sayısı ile çarpılarak hesaplanır;
- Tampon Süre: programlanan gidiş-dönüş sefer süresi ve minimum gidiş-dönüş sefer süresi arasındaki fark olarak tanımlanır.

Tablo 6.20: Yenikapı – Seyrantepe döngü – 4 vagonlu tren için servis seviyesi

İşletimsel Servis Seviyeleri (min)	Trenlerin sayısı	Programlanan Gidiş-Dönüş Sefer Süresi	Tampon Süre
4'00''	12	00:48:00	00:00:17
	13	00:52:00	00:04:17
5'00''	10	00:50:00	00:02:17
	11	00:55:00	00:07:17
6'00''	8	00:48:00	00:00:17
	9	00:54:00	00:06:17
7'00''	7	00:49:00	00:01:17
	8	00:56:00	00:08:17
8'00''	6	00:48:00	00:00:17
	7	00:56:00	00:08:17
9'00''	6	00:54:00	00:06:17
	7	01:03:00	00:15:17
10'00''	5	00:50:00	00:02:17
	6	01:00:00	00:12:17

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Tablo 6.21: Yenikapı – Seyrantepe döngü – 8 vagonlu tren için servis seviyesi

İşletimsel Servis Seviyeleri (min)	Trenlerin Sayısı	Gidiş-Dönüş Sefer Süresi	Tampon Süre
4'00''	13	00:52:00	00:02:55
5'00''	10	00:50:00	00:00:55
	11	00:55:00	00:05:55
6'00''	9	00:54:00	00:04:55
	10	01:00:00	00:10:55
7'00''	8	00:56:00	00:06:55
	9	01:03:00	00:13:55
8'00''	7	00:56:00	00:06:55
	8	01:04:00	00:14:55
9'00''	6	00:54:00	00:04:55
	7	01:03:00	00:13:55
10'00''	5	00:50:00	00:00:55
	6	01:00:00	00:10:55

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

6.4.4 Kapasite Analizi

Analiz edilen her bir servis seviyesiyle ilişkili taşıma kapasitesi aşağıda Tablo 6.22’de bildirilmiştir.

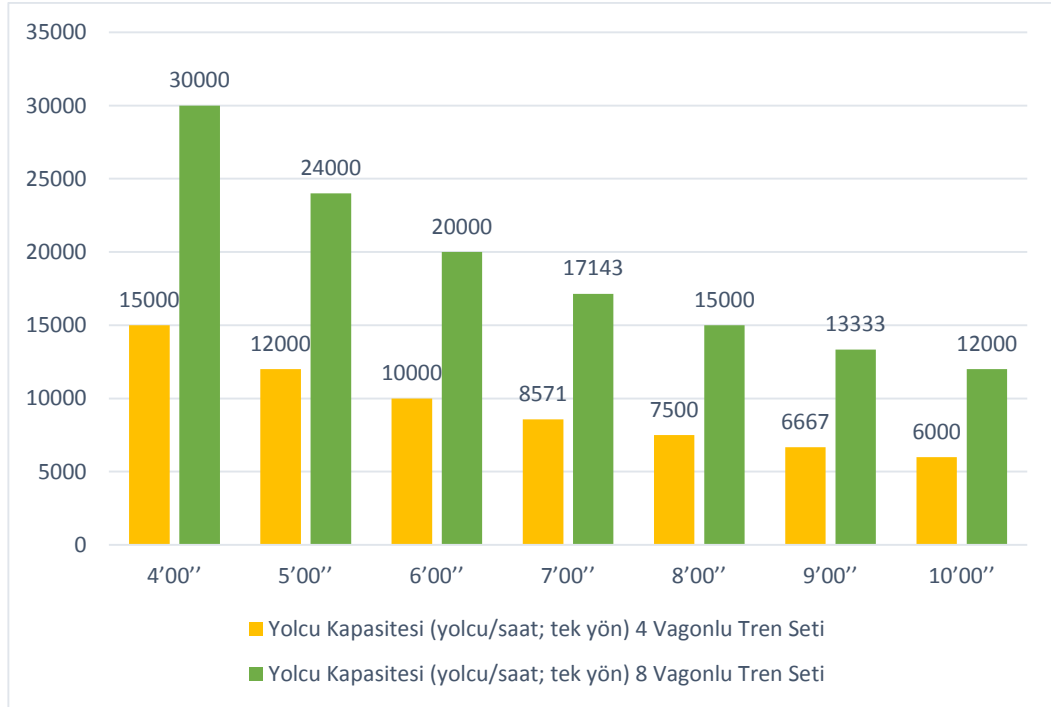
Tablo 6.22: Yenikapı – Seyrantepe döngü – servis seviyesine göre taşıma kapasitesi

İşletimsel Servis Seviyeleri (dk)	Saat Başı Seferler	Yolcu Kapasitesi (yolcu/saat; tek yön)	
		4 Vagonlu Tren Seti	8 Vagonlu Tren Seti
4’00’’	15	15000	30000
5’00’’	12	12000	24000
6’00’’	10	10000	20000
7’00’’	8,57	8571	17143
8’00’’	7,5	7500	15000
9’00’’	6,67	6667	13333
10’00’’	6	6000	12000

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Taşıma kapasitesi aşağıdaki grafikte özetlenmiştir.(Şekil 6.21)

Şekil 6.21: Yenikapı- Seyrantepe Döngü- servis seviyesine göre taşıma kapasitesi



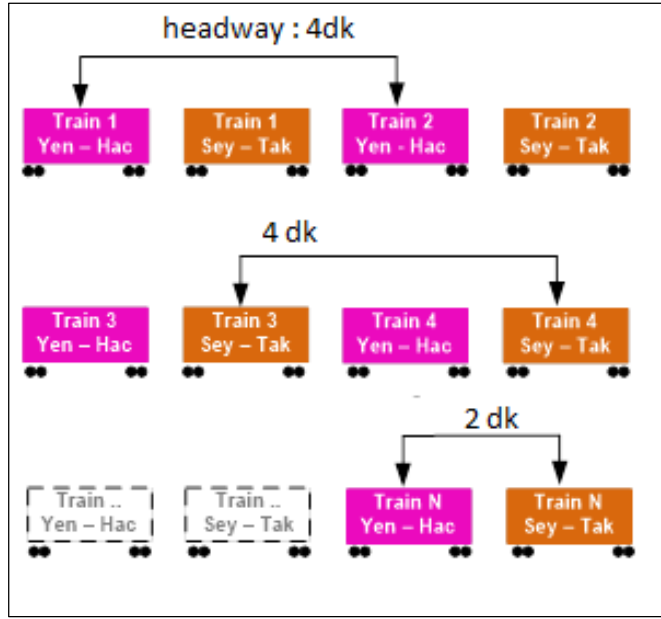
Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

6.5 KAPASİTE ARTIRIM İÇİN ALTERNATİF İŞLETME ANALİZİ

Bu bölümde, alternatif işletimsel konsepte ait her bir döngünün performansları, metodolojik yaklaşım sürecine göre değerlendirilmiştir.

Her bir döngü için uygulanabilir sefer aralığı değeri yukarıdaki döngü analizlerinde incelenmiştir.

Şekil 6.22: Ortak hat kesimi için trenlerin dağıtımı



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Yukarıdaki şekle göre (Şekil 6.22), hat aşağıdaki gibi işletilir: bir tren Yenikapı – Hacıosman döngüsünde işletilecek, takip eden tren ise Taksim – Seyrantepe döngüsünde işletilecektir, vb. Her iki döngü de 4 dakikalık sefer aralığına göre işletilir ve ortak kesimdeki (Sanayi – Taksim) ardışık iki tren arasındaki mesafe 2 dakikaya eşittir.

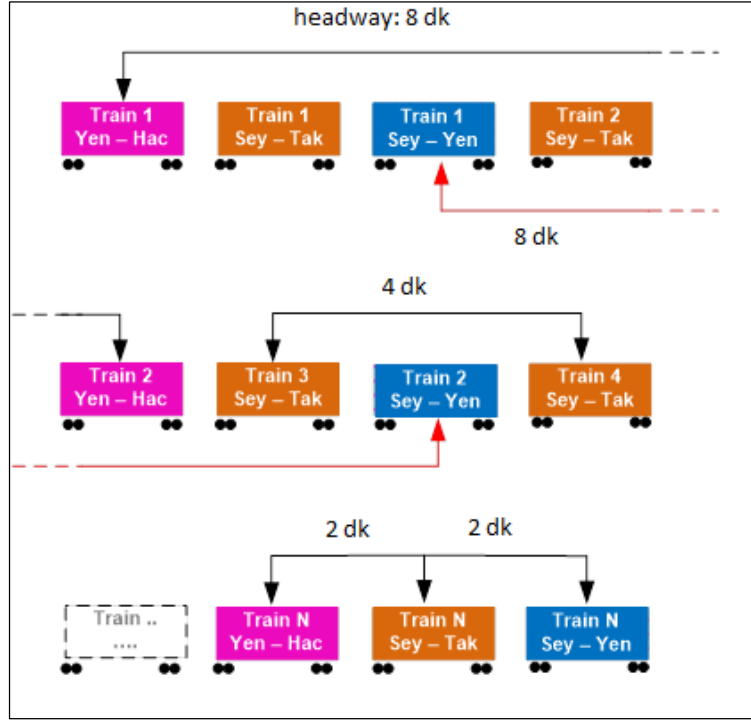
Üçüncü döngüyü (Yenikapı - Seyrantepe) döngüyü eklemek için, mevcut döngüler arasında “yeterli boşluk” eklemek gerekmektedir; iki çözüm aşağıdaki gibi uygulanabilir:

- Yenikapı – Hacıosman döngüsünün sefer aralığını 4 dakikadan 8 dakikaya çıkarmak;
- Taksim – Seyrantepe döngüsünün sefer aralığını 4 dakikadan 8 dakikaya çıkarmak.

Taksim – Seyrantepe kesimi boyunca servis seviyesini artırmak amacıyla geliştirilen ikinci çözümün, senaryonun amacıyla uyumlu olmadığını not etmek gerekmektedir.

Bu nedenle, alternatif işletimsel şema Şekil 6.23' de gösterilmektedir.

Şekil 6.23: Alternatif İşletimsel Konsept– İşletimsel Şema



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Aşağıda, tren sayısı ve gidiş dönüş süresi sefer aralığı, alternatif servis konsepti stratejisiyle ilgili olarak üç döngü için özetlenmiştir.

Tablo 6.23: Alternatif işletme - gidiş dönüş süresi ve tren sayısı (4 vagonlu)

Sefer Aralığı (dak)	Trenlerin sayısı	Programlanan Gidiş-Dönüş Sefer Süresi	Tampon Süre
Döngü Taksim - Seyrantepe			
4	9	36'00''	0'17''
4	10	40'00''	4'17''
Döngü Yenikapı - Seyrantepe			
8	6	48'00''	0'17''
8	7	56'00''	8'17''
Döngü Yenikapı - Hacıosman			
8	8	64'00''	0'37''
8	9	72'00''	8'37''

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Aşağıdaki yaklaşım, her bir döngünün tren sayısını belirlemek için takip edilmiştir:

- a. Taksim - Seyrantepe: Seyrantepe istasyonu, Yenikapı Seyrantepe döngüsü tarafından da eşzamanlı olarak kullanılacağından, işletimin tek peronlu geri dönüş stratejisiyle gerçekleştirilebileceği anlamına gelen 9 trenli çözüm uygulanacaktır.
- b. Yenikapı - Seyrantepe: Taksim-Yenikapı döngüsüne analog olarak, 6 trenli çözüm uygulanacaktır.
- c. Yenikapı Hacıosman: tüm hat boyunca trenlerin sorunsuz bir şekilde işletilmesi için trenleri senkronize etmek üzere bir marj gerektiğinden, 9 trenli çözüm uygulanacaktır. Bu yolla, trenlerin regülasyonu için 8'37'' kullanılabilir.

Sonuç olarak, bu senaryodaki tren sayısının, aşağıda açıklandığı şekilde 24 olduğu varsayılmaktadır:

- a. Yenikapı – Hacıosman döngüsünde çalışan 9 tren;
- b. Taksim – Seyrantepe döngüsünde çalışan 9 tren.
- c. Yenikapı – Seyrantepe döngüsünde çalışan 6 tren.

Yukarıda bildirilen tren sayısının 4 vagonlu tren setleriyle ilişkili olduğu bilinmelidir.

Yolcu taşıma kapasitesi, 1000 yolcuya eşit bir tren kapasitesi varsayılarak hesaplanmıştır (değer, 4 vagonlu konfigürasyona sahip bir Rotem trenine aittir).

Sonuçlar aşağıda Tablo 6.24 de sunulmaktadır.

Tablo 6.24: Alternatif İşletme - Taşıma Kapasitesi

Döngü	Tren Sefer Aralığı	Saat başı seferler	Kapasite (pphpd)
Yenikapı – Hacıosman	8'00''	7,5	7500
Taksim -Seyrantepe	4'00''	15	15000
Yenikapı – Seyrantepe	8'00''	7,5	7500

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Üç döngünün farklı hat kesimlerini paylaştığı dikkate alınarak, hat kesimleri için taşıma kapasitesini ve ilişkili sefer aralığını tahmin etmek mümkündür. Sonuçlar aşağıdaki tabloda belirtilmektedir. (Tablo 6.25)

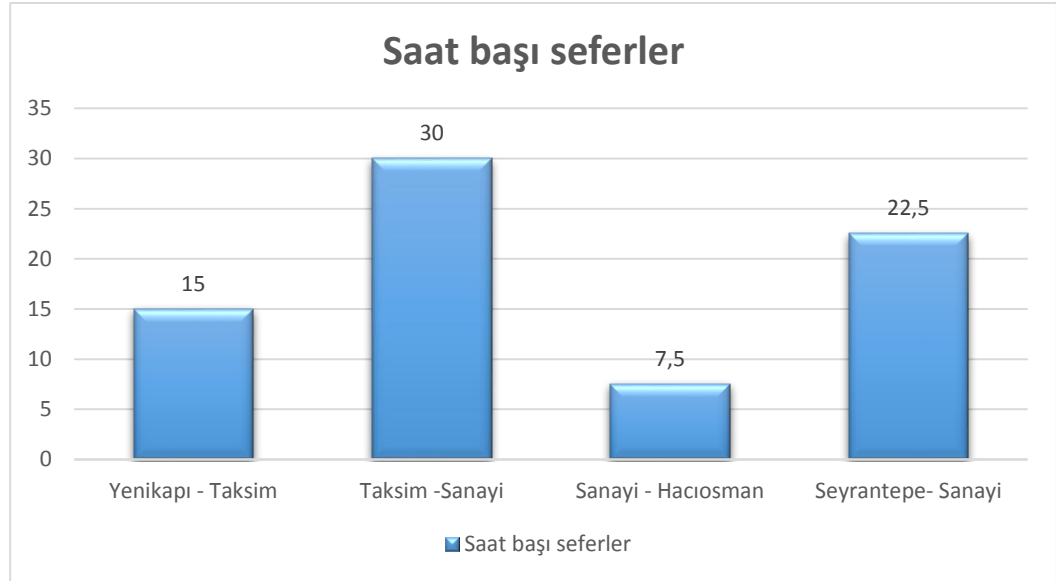
Tablo 6.25: Alternatif İşletme - hat kesimleri için taşıma kapasitesi

Bölüm	Tren Sefer Aralığı	Saat başı seferler	Kapasite (pphpd)
Yenikapı - Taksim	4'00''	15	15000
Taksim -Sanayi	2'00''	30	30000
Sanayi - Hacıosman	8'00''	7,5	7500
Seyrantepe- Sanayi	2'40''	22,5	22500

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Yukarıdaki tablo 6.25, Şekil 6.24' de grafik olarak gösterilmektedir.

Şekil 6.24: Alternatif İşletme - hat kesimleri için taşıma kapasitesi



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Bu senaryo futbol maçı sırasında kullanılırsa, metro sisteminin maçtan sonraki bir saat içinde Seyrantepe'den 22500 yolcu taşıyabileceği not edilmektedir. Bu senaryo 8 vagonlu trenlerle sağlanırsa kapasite iki katına çıkacak bir saatte 45000 yolcu taşınabilecektir. Alternatif işletme modelinde tanımlanan kapasite değerleri, normal işletme için tanımlananlarla karşılaştırılmıştır. Veriler, 4 vagonlu tren setine ilişkindir.

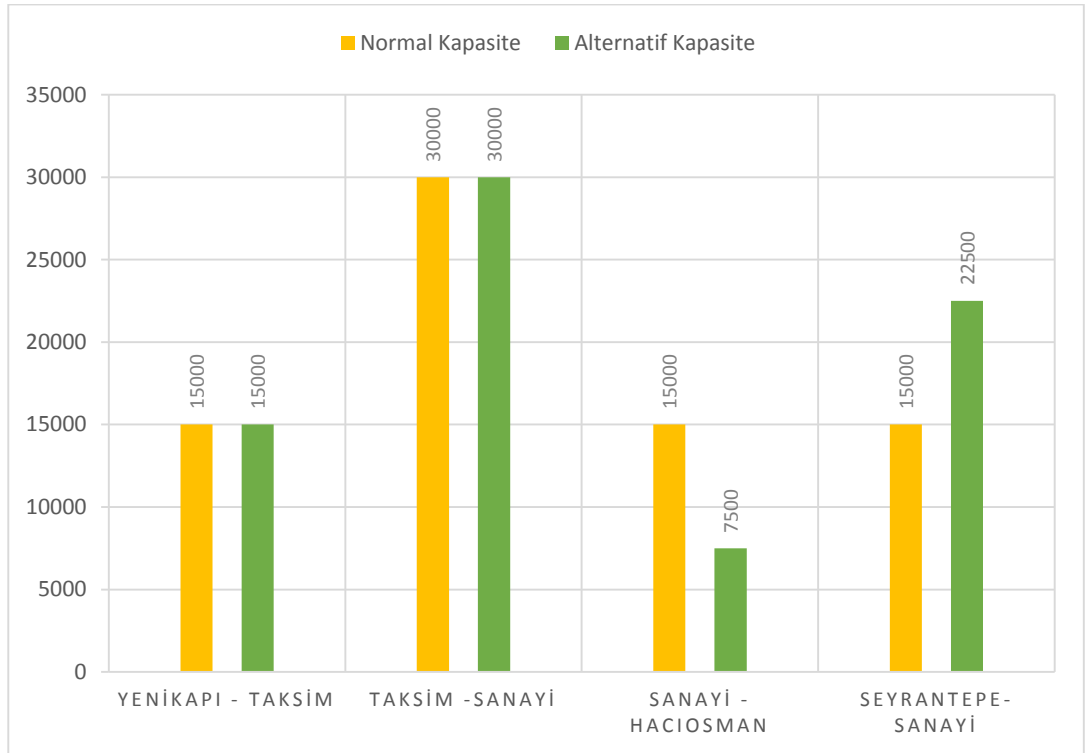
Tablo 6.26: Alternatif işletme – normal işletme kapasite karşılaştırma

Bölüm	Normal İşletimsel Konsept		Alternatif İşletimsel Konsept	
	Tren Sefer Aralığı	Kapasite	Tren Sefer Aralığı	Kapasite
Yenikapı - Taksim	4'00''	15000	4'00''	15000
Taksim -Sanayi	2'00''	30000	2'00''	30000
Sanayi - Haciosman	4'00''	15000	8'00''	7500
Seyrantepe- Sanayi	4'00''	15000	2'40''	22500

Kaynak: bu tablo İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

Yukarıdaki tablo aşağıdaki grafikte özetlenmektedir; tablo ve grafik, Seyrantepe – Sanayi güzergâhı boyunca yolcu taşıma kapasitesinin yüzde 50 (15000'den 22500'e) artırıldığını göstermektedir.

Şekil 6.25: Alternatif işletme – normal işletme kapasite karşılaştırma



Kaynak: bu çizim İbrahim Ethem Demirci tarafından yapılmıştır

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada ve Ülkemizde istatistikler raylı sistemlerin toplu taşımada payının gün geçtikçe arttığını göstermektedir. Özellikle İstanbul'da, 2004 yılında raylı sistemlerin payı yüzde 8,6 iken 2014 yılında bu değer yüzde 14,3'lere yükselmiştir. İstanbul'da ulaşım sorunun çözümüne yönelik yapımı devam eden ve planlanan hatların işletmeye açılması ile beraber hatların birbiriyle entegrasyonu sağlanacak yolculuk talepleri çok daha yükselecektir. Şu anda 2014 yılında 140 km uzunluğunda olan İstanbul raylı sistemlerinde günlük yolcu sayısı 1,6 milyon iken, 2018 yılı 332 km'lik raylı sistem ağı hedefinde; günlük 4,5 milyon yolcu, 2023 yılı 641 km hedefinde; günlük 8 milyon yolcu değeri olacağı beklenmektedir. Özellikle sabah ve akşam saatlerinde yoğunlaşan saatlerde düşük zaman aralığında (minimum headway) hizmet sunabilmek, yoğunluğun azaldığı saatlerde konfor ve emniyetten ödün vermeden enerji tasarruflu bir işletme yapabilmek gerekecektir. Bu nedenle yüksek kapasite için düşük sefer aralığı işletmeyi sağlayan, kısa zamanda esnekliği sağlayabilen UTO sistemleri tercih edilmelidir. UTO, daha uzun aralıklarla daha uzun trenler yerine, daha yüksek sıklıkta daha küçük trenlerin kullanımına imkân sağlamaktadır. Bu da yolcular için yüksek ve esnek kapasiteyle daha iyi düzeyde hizmet anlamına gelmektedir.

Dünyadaki metro örneklerinde tam otomatik sürücüsüz sistemlere (UTO sistemlere) hızlıca artan bir eğilim görülmektedir. Gelecek 10 yılda, günümüzde 674 km olan tam otomatik metro hatlarının uzunluğunun kıyasla üç kat artması ve 2025 yılına gelindiğinde ise 1800 km'ye ulaşması beklenmektedir. İstanbul'da yapımı devam eden ve yakın zamanda işletmeye açılacak olan M5 Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy hattında da tam otomatik sürücüsüz sistemler (UTO) kullanılacaktır. Bundan sonraki yeni hatların planlanması ve tasarımında tam otomatik sürücüsüz sistemlerin (UTO) tercih edilmesi büyük faydalar sağlayacaktır.

Yüksek kalitede bir ulaşım sağlamak için mevcut raylı sistem altyapısının verimli kullanılması, raylı sistem işletmecileri için en önemli görevleri haline gelmiştir. Raylı sistemlerde kapasiteye etki eden altyapı parametrelerinden bir tanesi ve en önemlisi sinyalizasyon sistemidir. Kısa sefer aralıklarının etkisi çok açık bir fayda olsa da, işletmede esnekliğin de ulaşım kapasitesini arttırmak bakımından büyük bir potansiyeli

vardır. Kapasite artırımının, emniyetli bir ortamda ve yüksek düzeyde ekonomik verimlilik sağlayan sinyalizasyon sistemleriyle başarıldığı vurgulanmalıdır.

Bu çalışmada, İstanbul Metrosu (Yenikapı-Hacıosman M2 hattı) yolcu yoğunluğunun yaşandığı durumlar incelenmiş, çözüm geliştirilmeye çalışılmıştır. Özellikle Seyrantepe istasyonunda maç günleri yaşanan yoğunluğu hızlıca tahliye edebilmek için sefer aralığının (headway) düşürülerek daha sık aralıklarla tren işletmesi yapabilmek için senaryolar değerlendirilmiştir. Mevcut şartlarda kısıtlı bir ilave bir tünel yapılması durumunda sinyalizasyon sistemi sayesinde ne kadar düşük bir sefer aralığı sağlanabileceği simülasyon programı aracılığıyla gösterilmiştir.

Mevcut işletme senaryoları incelendiğinde tek hat ile yapılan mekik işletmesinde ihtiyaç duyulan kapasitenin sağlanamadığı ve işletme modelinin esnek olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca herhangi bir araç ya da hat boyu arızası durumunda işletmeye geçici olarak ara verilecek olması ciddi bir dezavantajdır.

Bağlantı hattı 4 (ilave tünel) eklenerek oluşturulan ikinci mekik işletmesinde ise kapasite görece olarak artırılmış olmakla beraber ihtiyaca cevap veremeyeceği açıktır. Ayrıca hattın Sanayi Mahallesi-M58 makas arası kesiminde meydana gelecek tren arızası ya da yol boyu arızası durumunda tren seferlerine arıza çözülene kadar ara verilmesi gerekecektir. Ancak Seyrantepe istasyonu- M58 makas arası herhangi bir hat kesiminde ya da tren arızası durumunda işletme tek hat üzerinden mekik işletmesi şeklinde daha düşük kapasite ile devam edebilecektir. Bu yönüyle işletme senaryosu bir önceki senaryoya oranla daha esnek olacaktır.

Bağlantı hattı 2 kullanılarak oluşturulan döngü işletmesinde ise trenlerin sadece bir peron kullanması durumunda istenilen kapasiteye tam ulaşamamakla beraber büyük ölçüde sağlanmış olacaktır. Ancak çift makinist ya da sinyalizasyon sisteminin UTO'ya uygun hale getirilmesi durumunda her iki senaryoda da talep edilen kapasite sorunsuz şekilde sağlanmış olacaktır. Fakat işletme bu haliyle hem altyapı maliyeti hem de ekstra işletme maliyeti getirmiş olacaktır. Önceki mekik işletmeleri ile karşılaştırıldığında sistem çok daha esnek bir yapıya sahip ve herhangi bir arıza durumunda en azından mekik işletmenin devamı sağlanabilecek durumdadır.

Seyrantepe istasyonu peronlarının her ikisinin de kullanıldığı durumda en verimli işletme sağlanacak olup, bu şekilde mevcut sistemi inşaat yatırımları eklenerek talep edilen kapasite sağlanmış olacaktır. Ayrıca Seyrantepe istasyonu duruş süresi de belirli aralıklar içerisinde değiştirilebilir durumda olacaktır.

Yapılan simülasyonlarda sağlanan incelemelere göre, ilave tünelle beraber, Seyrantepe istasyonu, çift peronlu geri dönüş stratejisinde, 120 saniyelik sefer aralığına göre tren giriş çıkışları sağlanabilecektir. Mevcut durumda sağlanan çift peronda 240 saniyelik bir sefer aralığına göre iyileştirme olacaktır. Bunun için bir tren Yenikapı – Hacıosman döngüsünde işletilecek, takip eden tren ise Taksim – Seyrantepe döngüsünde işletilecektir. Yenikapı-Hacıosman arası 8 dk yapılarak üçüncü döngü sağlanabilir.

Bu senaryo ile Seyrantepe'den 2 dk, 4 dk, 2 dk aralıklarla tren çıkarabilmek için 24 tren gerekmektedir. Mevcut araç sayısı ile bu 4 vagonlu işletmede sağlanabilmektedir. 4 vagonlu konfigürasyonda saatte 22500 yolcu taşınabilecektir. İki saatte 45000 yolcu taşınabilir. 2012/2013 sezonuna ilişkin süper lig maçları sırasında ortalama izleyici sayısı 43262'ye eşittir. Bu senaryo futbol maçı sırasında kullanılırsa, metro sisteminin maçtan sonraki iki saat içinde Seyrantepe'den 45000 yolcu (yüzde 100 maç izleyicisi) taşıyabilecektir. Bu senaryo 8 vagonlu trenle yapılırsa saatte 45000 yolcu taşınabilecektir. Fakat 8 vagonlu yapı için mevcut araç sayısı yetmemektedir. Bu konfigürasyon için 15 ilave araç gerecektir.

Ülkemizde ve özellikle İstanbul'da ulaşım problemlerini çözmek toplu taşımayı geliştirmek amaçlı büyük raylı sistem projeleri planlanmıştır. Bu metro hatlarının tasarımı ve projelendirilmesinde istenilen esnekliği ve düşük sefer aralığını sağlayabilmek, yapılan yatırımlardan verimli sonuçlar alabilmek için hat geometrisi ve sinyalizasyon sistemi tasarımı kritik öneme sahiptir. Bu nedenle tasarım aşamasında gerekli simülasyonlar detaylıca yapılmalı, işletme döngüleri analiz edilmeli, hat geometrisi ve ekipman yerleşimi ona göre belirlenmelidir. Teorik olarak hesaplanan bazı öngörülerin pratikte de yakalanabilmesi için etkili simülasyon programlarından faydalanmalı, konusunda uzun yıllar çalışmış bilgi ve tecrübe sahibi uzman ekiplerin katkısı alınmalıdır. Ülkemizde bu çalışmaların yerli tasarımlar ve yerli mühendislikle yapılması hedeflenmeli ulusal projeler desteklenmelidir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Theeg, G., Vlasenko, S., 2009. *Railway Signalling & Interlocking*. Hamburg: DVV Media Group GmbH. Eurailpress.

Diğer Yayınlar

- Başpınar, A. (2011). Evaluation of Different Signalling Systems Implementations. *Yüksek Lisans Tezi*. University of Birmingham. MSc in Railway Systems Engineering and Integration College of Engineering, School of Civil Engineering.
- Candemir, I., Tanyel S., 2005: Hızlı Raylı Sistemlerin Yolcu Taşıma Kapasite Hesaplamaları ve Türkiye'deki Benzer Sistemlerin Birbiriyle Karşılaştırılması, 6. *Ulaştırma Kongresi*.
- Çolakkadı, M. (2013). Demiryolu Sinyalizasyon Sistemlerinde Anlaşman Tablosu Oluşturma: Başakşehir Metro'su Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Programı.
- İETT. *İnteraktif Uygulama* <http://www.iETT.gov.tr/tr/main/pages/dunyada-toplutasima/96>, Haziran 2014
- İstanbul Ulaşım A.Ş. 2014. *Yolcu İstatistikleri Raporu*. Nisan. İstanbul
- İUAŞ. *İnteraktif Uygulama* <http://www.istanbul-ulasim.com.tr/hakkımızda/yolcu-istatistikleri.aspx> [erişim tarihi Nisan 2014]
- M. Abril, F. Barber, L. Ingolotti, M.A. Salido, P. Tormos, A. Lova. *An Assessment of Railway Capacity*. Department of Information Systems and Computation, Technical University of Valencia, Spain,
- SYSTRA Consulting, Inc. (2008). RAILSIM 8 User Manual
- Söyler H., ve Açıkbaş S., 2005: Raylı Toplu Taşımda Sinyalizasyon Sistemleri, *Elektrik-Elektronik- Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi*.
- UITP. *İnteraktif Uygulama* <http://metroautomation.org/> [erişim tarihi Nisan 2014]
- UITP. 2013. *Observatory of Automated Metros, World Atlas Report*. Aralık. Belçika.