

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tren Çizelgeleme Probleminin Modellenmesi ve Çözümü

Nazlı GÜLTEKİN

MAYIS 2013

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında** Nazlı GÜLTEKİN tarafından hazırlanan DEMİRYOLU ÇİZELGELEME adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

(Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası)  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Tamer EREN  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : (Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası) \_\_\_\_\_  
Üye (Danışman) :Yrd. Doç. Dr. Tamer EREN \_\_\_\_\_  
Üye : (Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası) \_\_\_\_\_

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

(Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası)  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### TREN ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN MODELLENMESİ VE ÇÖZÜMÜ

GÜLTEKİN, Nazlı

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tamer EREN

Mayıs 2013, 112 sayfa

Bu tezde, Türkiye'deki demiryolu taşımacılığının mevcut durumu incelenmiş ve demiryolundaki problemler sınıflandırılmıştır. Bu problemler içinde trenlerdeki gecikmelerle ilgili sorunlara çözüm bulmak için önerilerde bulunulmuştur.

Bu tezde ilk olarak 16 istasyonlu 6 trenin çalıştığı Yeniçubuk-Çetinkaya demiryolu hattı ele alınmış ve gecikmeleri azaltmak için 0-1 tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Bu model sonucunda, elde edilen verilerle tren hareket saatleri düzenlenmiş ve gecikmelerde % 81.59 oranında iyileşme sağlanmıştır.

Ayrıca ele alınan toplam 240 km'lik hat için, trenlerin gecikmesine yol açan 31 km'lik kısmında çift hatta dönüştürülmesi durumunda gecikmelerin % 96.52 oranında iyileştirme olacağı simülasyon çalışması ile gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Demiryolu, Tren Çizelgeleme, 0-1 Tamsayılı Programlama, Simülasyon

## ABSTRACT

### TRAIN SCHEDULING PROBLEM MODELING AND SOLVING

GÜLTEKİN, Nazlı

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, Master's thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Tamer EREN

May 2013, 112 pages

In this thesis, the current state of rail transport in Turkey was examined and railroad problems were classified. Suggestions were made in order to find solutions for delays from these problems.

In this thesis, first of all Yeniçubuk-Çetinkaya railway which have 16 station and 6 train worked on, was handled and 0-1 integer programming was proposed to reduce delays. Train times were regulated with data from solution of this model and delays have been improved by 81.59 %.

Also, delays will be improved by 96.52 % is shown with simulation in case of 31 kilometers couple railway is made on 240 kilometers single railway.

**Key Words:** Railway, Train Scheduling, 0-1 Integer Programming, Simulation

## ÖNSÖZ

Ülkemizde 20. yy'nin ikinci yarısından itibaren gerileme sürecine giren ve bu süreç içerisinde sorunları artarak devam eden demiryolu taşımacılığı, günümüzde hem güvenilirlik hem maliyet açısından avantajları göz önünde alınarak önem kazanmaya başlamıştır. 1990'lı yıllardan itibaren komşu ülkelerde meydana gelen demiryolu taşımacılığını kapsayan bütünleşik taşıma sistemleriyle ilgili gelişmeler ülkemizi de etkilemiştir. Bu çalışmada, raylı taşımacılığa ilişkin yurtiçi ve yurtdışı mevcut durum ve geleceğe yönelik projeler çerçevesinde, demiryolu sorunları Endüstri Mühendisliği bakış açısıyla incelenerek olası çözüm yöntemleriyle öneriler sunmak üzere örnek uygulamalar yapılmıştır.

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen, tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Tamer Eren'e, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm Sayın Arş. Gör. Mehmet Pınarbaşı'na ve Sayın Arş. Gör. Hacı Mehmet Alağaç'a, büyük fedakarlıklarla bana destek olan, tezimin birçok aşamasında yardımını gördüğüm arkadaşım Yücel Aydın'a ve son olarak birçok konuda olduğu gibi tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>ÖNSÖZ</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	iv
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	3
<b>3. DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI</b> .....	16
3.1. Demiryollarının Tarihçesi.....	20
3.1.1. Dünyada İlk Raylı Taşımacılık Sistemleri ve Ortaya Çıkış Nedenleri.....	20
3.1.2. Osmanlı Devleti'nde Demiryolları Gelişimi.....	21
3.1.2.1. II. Abdülhamit Dönemine Kadar Osmanlı Devleti'nde Demiryolu Gelişimi.....	21
3.1.2.2. II. Abdülhamit Döneminde (1876-1909) Osmanlı Devleti'nde Demiryolu Gelişimi.....	22
3.1.3. Cumhuriyetten Günümüze Kadar ki Süreçte Demiryolları Gelişimi.....	23
3.1.3.1. 1923-1950 Döneminde Demiryolları Gelişimi.....	24
3.1.3.2. 1950-1963 Döneminde Demiryolları Gelişimi.....	28
3.1.3.3. 1963 Sonrası Kalkınma Planları Çerçevesinde Başlayan Süreç.....	29
3.2. Türkiye'nin Stratejik Konumu İtibariyle Demiryolu Bağlantıları.....	30
3.3. Türkiye'de Demiryollarının Mevcut Durumu ve Sorunları.....	32
3.3.1. Hat Durumu.....	32
3.3.2. Demiryolu Güzergâhının Tek Hatlı Olmasının Neden Olduğu Sorunlar.....	34
3.3.3. Demiryolu Hatlarının Elektrikli Olmaması İle İlgili Sorunlar.....	34
3.3.4. Trenlerde Gecikmeler ve İptaller İle İlgili Sorunlar.....	37
3.3.5. Demiryollarında Kurp Yarıçapı İle İlgili Sorunlar.....	37

3.3.6. Demiryollarının Eğimi İle İlgili Sorunlar .....	39
3.3.7. Demiryollarının Dingil Basıncı İle İlgili Sorunları .....	39
3.3.8. Demiryollarının Travers Durumu İle İlgili Sorunları.....	41
3.4. Demiryollarının Günümüze Kadar Ki Değişim Süreci .....	44
3.5. TCDD'nin Hedefleri... ..	48
<b>4. DEMİRYOLU ÇİZELGELEME .....</b>	<b>51</b>
4.1. Taktik Düzeyde Tren Çizelgeleme.....	53
4.1.1. Genel Taktik Çizelgeleme Modeli .....	54
4.1.2. Çerçeve Modelin Grafik Gösterimi.....	56
4.2. Operasyonel Düzeyde Çizelgeleme .....	57
4.3. Matematiksel Model.....	58
<b>5. TREN ÇİZELGELEME PROBLEMİ HAKKINDA UYGULAMALAR... ..</b>	<b>64</b>
5.1. Üç Tren- Beş İstasyonlu Tek Hatlı Demiryolu Uygulaması.....	64
5.1.1. Problemin Tanımlanması .....	64
5.1.2. Veriler .....	64
5.1.3. Varsayımlar ve Kısıtlamalar .....	66
5.1.4. Hesaplamaya Dayalı Sonuçlar .....	67
5.1.5. Üç Tren- Beş İstasyonlu Tek Hatlı Demiryolu Uygulaması Sonucu .....	70
5.2. Yeniçubuk-Çetinkaya Demiryolu Hattı Uygulaması .....	72
5.2.1. Problemin Tanımlanması .....	72
5.2.2. Veriler .....	73
5.2.3. Varsayımlar ve Kısıtlamalar .....	76
5.2.4. Matematiksel Model.....	76
5.2.5. Hesaplamaya Dayalı Sonuçlar .....	78
5.3. Çözümün Simülasyonla Gösterimi .....	79
5.3.1. Kullanılan program: Arena .....	80
5.3.2. Arena Komutları .....	81
5.3.2.1. Create Modülü.....	81
5.3.2.2. Entity Veri Modülü .....	83
5.3.2.3. Process Modülü.....	83
5.3.2.4. Dispose Modülü .....	84
5.3.2.5. Assign Modülü .....	85
5.3.2.6. Decide Modülü.....	86

5.3.2.7. Record Modülü .....	87
5.3.2.8. Route Modülü .....	88
5.3.2.9. Station Modülü.....	89
5.3.3. Yeniçubuk-Çetinkaya Demiryolu Hattı Simülasyon Sonucu .....	90
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>96</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>97</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>104</b>
EK-1 İyileştirme Yapılmış Hattın Simülasyon Sonuçları .....	104
EK-2 Belirli Kısımları Çift Hat Yapılmış Hattın Simülasyon Sonuçları.....	108



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Literatür Araştırması Sonuçlarının Özeti.....	9
3.1. Yol Yapım Maliyetleri Açısından Karayolu-Demiryolu Karşılaştırması....	18
3.2. Çeşitli Ulaşım Sistemlerine Göre Enerji Tüketim Oranları.....	18
3.3. 100 000 Nüfus Başına Düşen Demiryolu Hat Uzunluğu ve Nüfusun Demiryolu Seyahat Sıklığı .....	33
3.4. Ülkelerin Toplam Hat Uzunluğu ve Elektrikli Hat Oranı .....	35
3.5. Hatların Kurp Yarıçaplarına Göre Dağılımı .....	38
3.6. Bölgelere Göre Travers Tipleri, 2011 .....	41
3.7. Araçların Yaş Gruplarına Göre Dağılımı .....	45
3.8. TCDD'nin Yıllara Göre Personel Sayısı.....	45
3.9. Yıllara Göre Yolcu Taşımaları(milyon), TCDD İstatistik Yıllıkları .....	46
3.10. Yıllara Göre Yük Taşımaları(milyon), TCDD İstatistik Yıllıkları .....	46
4.1. Çizelgeleme Düzeyleri .....	52
5.1. Ardışık İstasyonlar Arası Seyir Süreleri (dakika) (1. uygulama).....	65
5.2. Trenlerin Başlangıç İstasyonlarından Kalkış Zamanları (1. uygulama) .....	65
5.3. Trenlerin Planlanmış Duruş Süreleri ve Planlanmış Seyir Süreleri (1. uygulama) .....	66
5.4. Mevcut Durum Çizelgesi (1. uygulama).....	67
5.5. Optimal Çizelge (1. uygulama).....	67
5.6. Ardışık İstasyonlar Arası Seyir Süreleri (dakika) (2. uygulama).....	74
5.7. Trenlerin Planlanmış Duruş Süreleri ve Planlanmış Seyir Süreleri (2. uygulama) .....	75
5.8. Trenlerin Başlangıç İstasyonlarından Kalkış Zamanları (2. uygulama) .....	75
5.9. Mevcut Durum Çizelgesi (2. uygulama).....	78
5.10. Optimal Çizelge (2. uygulama).....	78
5.11. Mevcut Durum ile Optimal Durumun Karşılaştırılması.....	79
5.12. İyileştirme Yapılmış Hattın Simülasyon Sonuç Tablosu .....	93
5.13. Belirli Kısımlarına Çift Hat Yapılmış Hattın Simülasyon Sonuç Tablosu..	94
5.14. Sonuç Tablosu .....	95

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Hicaz Demiryolu Hattı .....	23
3.2. Cumhuriyet'ten Önce Yapılmış Olan Hatların Görünümü .....	25
3.3. 1923-1938 Döneminde Yapılan Hatlar .....	27
3.4. Elektrikli Hatlar .....	36
3.5. Sinyalli Hatlar .....	37
3.6. 20 ton/ dingil Basıncın Altındaki Hatlar .....	40
3.7. Ahşap, Demir ve Beton Traversten Oluşan Hatlar .....	43
3.8. Demiryollarının Mevcut Durumu .....	45
3.9. Çeken ve Çekilen Araç Filoları .....	47
3.10. Kayaş-Sincan Hızlı Tren Hattı .....	47
3.11. Ankara-Konya YHT Projesi .....	48
4.1. Planlama Seviyeleri Hiyerarşisi .....	53
4.2. Demiryolu İşletimi Hizmet Hiyerarşisi .....	54
4.3. Taktik Çizelgeleme Modellerinin Çerçeve Akış Şeması .....	55
4.4. Tek hatlı bir demiryolu kesimi .....	56
4.5. Genel Grafik Gösterimi .....	56
5.1. Tren Hareketlerinin Diyagram Gösterimi .....	69
5.2. Yeniçubuk-Çetinkaya Demiryolu Hattı .....	73
5.3. Create Modülleri Veri Girişi .....	82
5.4. Entity Modülü Veri Girişi .....	83
5.5. Process Modülü Veri Girişi (Process 1) .....	84
5.6. Dispose Modülü Veri Girişi .....	85
5.7. Assign Modülü Veri Girişi .....	85
5.8. Decide Modülü Veri Girişi .....	86
5.9. Record Modülü Veri Girişi .....	87
5.10. Route Modülü Veri Girişi .....	88
5.11. Station Modülü Veri Girişi .....	89
5.12. İyileştirme Yapılmış Hattın Simülasyon Görüntüsü .....	92
5.13. Belirli Kısımlarına Çift Hat Yapılmış Hattın Simülasyon Görüntüsü .....	92

## SİMGELER DİZİNİ

$i$	Tren indeksi
$j$	Tren indeksi
$k$	Tren indeksi
$m$	Tren indeksi
$t_i$	Tren indeksi
$\bar{I}$	İstasyon indeksi
$C_{\bar{I}}$	İstasyon kapasitesi
$s$	İstasyon indeksi
$E$	Doğuya giden trenlerin kümesi
$W$	Batıya giden trenlerin kümesi
$S$	İstasyonlar kümesi
$a_{i,s}$	$i$ numaralı trenin $s$ numaralı istasyona varış zamanı
$d_{i,s}$	$i$ numaralı trenin $s$ numaralı istasyondan kalkış zamanı
$t_{i,s,s+1}$	$i$ numaralı doğu yönlü trenin $s$ numaralı istasyon ile $s + 1$ numaralı istasyon arasındaki seyir süresi
$t_{j,s+1,s}$	$j$ numaralı batı yönlü trenin $s + 1$ numaralı istasyon ile $s$ numaralı istasyon arasındaki seyir süresi
$k_i$	$i$ numaralı doğu yönlü trenin 1 numaralı istasyondan sisteme giriş zamanı
$k_j$	$j$ numaralı batı yönlü trenin 18 numaralı istasyondan sisteme giriş zamanı
$v_i$	$i$ numaralı doğu yönlü trenin 18 numaralı istasyon için planlanmış varış zamanı
$v_j$	$j$ numaralı batı yönlü trenin 1 numaralı istasyon için planlanmış varış zamanı
$e_i$	$i$ numaralı doğu yönlü trenin 18 numaralı istasyona ulaştığındaki gecikmesi
$e_j$	$j$ numaralı batı yönlü trenin 1 numaralı istasyona ulaştığındaki gecikmesi

- $c_{i,s,j}$   $i$  numaralı doğu yönlü tren  $j$  numaralı batı yönlü trenden önce  $s$  ve  $s + 1$  numaralı istasyonlar arasındaki hat kesimine giriş yapıyorsa 1, aksi takdirde 0 değerini alan bir 0 – 1 değişkeni
- $b_{i,s,k}$   $i$  numaralı doğu yönlü tren  $k$  numaralı doğu yönlü trenden ( $i < k$ ) önce  $s$  ve  $s + 1$  numaralı istasyonlar arasındaki hat kesimine giriş yapıyorsa 1, aksi takdirde 0 değerini alan bir 0 – 1 değişkeni
- $b_{j,s,m}$   $j$  numaralı batı yönlü tren  $m$  numaralı batı yönlü trenden ( $j < m$ ) önce  $s$  ve  $s + 1$  numaralı istasyonlar arasındaki hat kesimine giriş yapıyorsa 1, aksi takdirde 0 değerini alan bir 0 – 1 değişkeni

## 1. GİRİŞ

Sınırların ortadan kalktığı, rekabetin arttığı dünyamızda yaşanan bu değişimi en fazla etkileyen ve etkileyecek olan sektörlerden biri ulaştırma sektörüdür. Sanayileşmenin hızla gelişmesine, nüfus artışına ve yerleşim merkezlerinin yaygınlaşmasına paralel olarak ulaştırma sistemleri de konfor, hız ve güvenilirlik yönünden devamlı gelişmeler kaydetmiş ve bu sistemler içinde toplu taşımadaki üstünlükleri ve enerji kullanımındaki tasarrufu dolayısıyla genellikle gelişmiş ülkelerde demiryolu ulaştırması sektörüne ayrı bir önem ve yer verilmiştir. (Demiryolu Ulaştırması Alt Komisyon Raporu, DPT, 2001).

Bu tezde, demiryollarında gecikme problemlerine çözüm bulmak için iki öneride bulunulmuştur: İlk olarak, 16 istasyonlu 6 trenin çalıştığı Yeniçubuk-Çetinkaya demiryolu hattı ele alınmış ve gecikmeleri azaltmak için 0-1 tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Bu model sonucunda elde edilen verilerle tren hareket saatleri düzenlenmiş ve gecikmelerde % 81.59 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bu kısmı maliyet gerektirmeyen bir uygulamadır. İkinci olarak, trenlerin gecikmesine yol açan ele alınan toplam 240 km'lik hat için, 31 km'lik kısmında çift hatta dönüştürülmesi durumunda gecikmelerin % 96.52 oranında iyileştirme olacağı simülasyon çalışması ile gösterilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, demiryolu taşımacılığı ve çizelgelemesi hakkında literatür araştırması yapılarak çalışmalar değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölümde, demiryolu taşımacılığı hakkında temel bilgiler verilmiş ve demiryolunun mevcut sorunları sınıflandırılmıştır. Ayrıca demiryollarının günümüze kadar ki değişim süreci incelenerek istatistiksel bilgiler ve hedefler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, demiryolu çizelgeleme tanımlanmış ve gecikmelerin önlenmesi açısından çizelgelemenin öneminden bahsedilmiştir. Çizelgeleme düzeyleri, ayrıntılı olarak anlatılmış ve gecikmeleri en aza indirmeyi amaçlayan bir matematiksel model önerilmiştir.

Beşinci bölümde, önerilen 0-1 tamsayılı matematiksel model, 5 istasyonlu 3 trenin çalıştığı hayali bir demiryolu hattı üzerinde denenmiştir. Bu uygulamada, % 89.36 oranında iyileşme ile olumlu sonuç alındığı görülmüş ve model geliştirilerek, gerçek verilerle Kayseri-Kars demiryolu hattının bir bölümü olan Yeniçubuk-Çetinkaya hat kesimi üzerinde uygulanmıştır. Bu hattaki trenlerin 3 saat 21 dakika olan toplam gecikme süresi, ilk olarak tren hareket saatlerinin düzenlenmesi ile 37 dk'ya indirilmiş ve simülasyon programı Arena 13.5 ile incelenmiştir. Uygun koşullarda 240 km'lik hattın gecikmelere neden olan 31 km'lik kısmının çift hatta dönüştürülmesi durumunda gecikme süresi 7 dk'ya indirilerek toplamda % 96.52 oranında iyileştirme olacağı simülasyon çalışması ile gösterilmiştir.

Altıncı bölüm olan sonuç bölümünde ise yapılan çalışma hakkında bilgi verilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Demiryolu çizelgeleme konusunda yapılan literatür araştırması sonucunda konuyla ilgili çok sayıda çalışma bulunmuştur. Çalışmalardan bazıları, konuları ve kullanılan yöntemlerle birlikte şu şekildedir:

Charnes ve Miller (1956), demiryolunun mevcut çizelgeleme problemlerinde yönetim biliminin bazı tekniklerini uygulama girişimi amacıyla yük treni hareketlerinin çizelgelemesinde dinamik programlama modeli kullanmışlardır.

Petersen ve Taylor (1982), demiryolu hattı için genel amaçlı bir model önerisi sunmuşlardır. Bu model, hat üzerinde tren hareketlerini cebirsel olarak açıklamaktadır. Çapraz geçişlerin, tek veya çoklu hatların önceliklerini belirlemek amacıyla optimizasyon ve simülasyon modelleri üzerinde durulmuştur. Yüksek trafik yoğunluğu olan hatlarda tıkanma problemleri ele alınmış ve genel amaçlı bir ayrık olay benzetim modeli kullanılmıştır. Tipik bir Kanada demiryolu hattı üzerinde uygulama yapılarak olumlu sonuçlarına yer verilmiştir.

Kraay vd. (1991), uluslararası demiryollarında hız denetimi konusunda tren çizelgeleme problemi için model oluşturarak alternatif çözüm önerileri geliştirmişlerdir. Probleme yönelik sezgisel yaklaşımın uygulanabilirliği anlatılarak nümerik olarak kanıtlanmaya çalışılmıştır. Tren hareketlerinin kontrolü için geleneksel çizelgeleme yaklaşımından farklı etkili bir yöntem sunulmuştur.

Higgins ve Kozan (1996), Avustralya demiryollarında tek hatlarda çizelgeleme için karışık tamsayılı programlama modeli kullanmışlardır. Gerçek zamanlı 150 km'lik tek hatlı demiryolu üzerinde tren hareket zamanlarını optimize etmek için tasarlanmış bir modelin anlatıldığı çalışmada dal-sınır algoritması çözümüyle makul süre içerisinde faydalı sonuçlar üretmenin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Cordeau vd. (1998), demiryolu çizelgeleme problemlerinde sıkça kullanılan optimizasyon modellerini araştırmışlardır. Her problem grubu, model yapısı ve

önemli karakteristiklerine göre sınıflandırılmıştır. Rotalama modelleri, araç yönetimi ile ilişkilendirilerek anlatılmıştır. Hat modelleme ile ilgili birçok çalışma üzerinde durulmuştur.

Linder ve Zimmermann (2000), Hollanda anahatlarında tren çizelgelemesi yapmış ve konuyla ilgili problemde doğrusal programlama modeli ve dal-sınır metodu kullanmışlardır.

Caprara (2002), belirli bir zaman aralığında istasyonlardaki tren hareketlerine tekabül eden düğümler için bir grafik teori formülasyonu üretmiştir. Bu formülasyon, Lagrangian metodu ile tamsayı doğrusal programlama metodu elde etmek için kullanılmıştır. Bu modelin özelliği, kısıtları ve değişkenlerinin grafiğin düğümleri ile ilişkili olmasıdır. Lagrangian metodu sezgisel bir algoritma içerisinde uygulanmıştır ve kapsamlı bir rapor sunulmuştur.

Lee ve Chen (2003), Tayvan Demiryolu İdaresi için sürücü çizelgeleme probleminde genetik algoritma ile 2 çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir. Matematiksel programlama modeli (seyyar satıcı problemi modeli) ile de çözülen problem, sonuçlar ve çözüm süreleri açısından kıyaslanmıştır.

Dorfman ve Medanic (2004), demiryolu sektöründe operasyonel bir sorun olan çizelgeleme konusunda geri bildirim tabanlı seyahat stratejisi için kesikli olay modelleme yöntemi ile olay modellemesi yapmışlardır.

Ghoseiri vd. (2004), farklı tren kapasiteleri ve tek ve çoklu hat platformları içeren bir demiryolu ağı üzerindeki tren çizelgeleme problemi için çok amaçlı optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Yakıt tüketimini düşürmek, toplam zamanı azaltmak ve yolcu memnuniyetini arttırmak kriter olarak kabul edilmiştir. Sayısal örneklerde sorunun çözümü iki aşamadan oluşmuştur. İlk olarak Pareto ve diğer aşamada epsilon-sınırlama metodu ile çok amaçlı optimizasyon gerçekleştirilmiştir.

Ingolotti vd. (2004), tek hatlı demiryolu çizelgeleme problemlerine hızlı bir çözüm yaklaşımı getirmeyi amaçlamışlardır. Problem, CSP (Constraint Satisfaction



Problem) olarak modellenmiştir ve tamsayılı programlama modeli ile desteklenerek olumlu sonuçlar alınmıştır.

Pyke ve Kozan (2004), demiryolu mühendisliği, teknolojileri ve çizelgeleme konuları üzerinde durmuşlardır. Çözümde, karışık tamsayılı programlama modeli ve dal-sınır algoritması kullanmışlardır.

Ahuja vd. (2005), gerçek yaşam tren çizelgeleme problemlerini ele almışlardır ve uygulamada 0-1 karışık tamsayılı programlama modeli kullanmışlardır.

Akçay (2005), demiryolu taşımacılığının ilk yıllarından itibaren lojistik sektörü içerisindeki önemini vurgulayarak, lojistikte demiryolu taşımacılığının önemini firmalarla yaptığı anketlerin sonucuna göre istatistiksel yöntemlerle anlatmıştır.

Gürsoy (2005), kentler arası veya uluslararası yük taşımacılığında taşıma türü seçimine yardımcı olacak bir metot kullanmıştır. 4 adet ölçüt ve ağırlıkları anketle tespit etmiş ve AHP'den esinlenerek Taşıma Türü Seçimi Modeli (TTSM) geliştirmiştir.

Zhou and Zhong (2005), çift hatlı demiryollarında çok amaçlı problemler üzerinde durmuşlardır. Toplam seyahat süresini azaltmak amacıyla dal-sınır algoritması, bicriteria çizelgeleme ve Pareto, çözüm yöntemi olarak kullandıkları yöntemlerdir. Pekin-Şanghay yüksek hızlı demiryoluna dayalı bir vaka çalışması ile önerilen algoritmayı kıyaslamışlardır.

Ghoseiri ve Morshedsolouk (2006), tren çizelgeleme problemlerinde karınca kolonisi algoritması metasezgiselini kullanarak küçük ve orta boyutlu problemlerde çözümler geliştirmişlerdir ve sonuçlarını seyyar satıcı problemi (TSP) modeli ile karşılaştırmışlardır.

Kroan vd. (2006), demiryolu problemlerini çözmek için çizelgelemede kullanılan algoritmik modelleri anlatmışlardır.

Wey ve Wu (2006), organizasyon ve kaynakların tahsisini en üst düzeye çıkarmak için ulaştırma altyapısında alternatif projelerin seçiminde hedef programlama, ANP ve Bulanık Delphi kullanmışlardır.

D'Ariano vd. (2007), gerçek zamanlı trafik kontrolü sırasında demiryolu yöneticilerinin karşılaştığı tren zamanlama sorununu incelemiştir. Hollanda demiryolu ağının darboğazlarını temel alan deneysel çalışmada dal-sınır algoritmasını kullanarak en uygun çözüm geliştirilmiştir.

Gao vd. (2007), Bilevel model ile demiryolu tren setlerinde optimizasyon çalışmaları yapılmasını amaçlamışlardır. Yük taşımacılığında bilevel programlama tekniği ile basit iki seviye geliştirilerek, uygulamada olumlu sonuç alınmıştır.

Mazarello ve Ottavini (2007), demiryollarında trafik optimizasyonu için yönetim sistemini anlatmışlardır. Çalışması, mimarisi, sabit veya hareketli blok sinyalizasyon sistemleri ile donatılmış büyük demiryolu ağlarında trafik akıcılığını optimize etmek için geliştirilen Trafik Yönetim Sistemi (TMS) uygulaması tanıtılmıştır. TMS, trenlerin gerçek konum ve hızlarını, demiryolu altyapı durumunu ve sinyalizasyon özelliklerini ele alır. Potansiyel çatışmaları önceden tahmin etmek, tren sırasını yönetmek ve yolculuk süresini azaltmak için alternatif çözümler üretilmiştir.

Chen ve Chui (2008), tamsayı programlama modeli kullanarak demiryolunda ekip çizelgemesi yapmışlardır. Demiryolu hattında verimi arttırmak için vardiya planlaması ve çalışma saatleri üzerine uygun bir zaman çizelgesi oluşturulmuştur.

Rangaraj (2008), Hindistan demiryolları ile ilgili sorunları anlatarak çizelgeleme hakkında bilgiler vermiştir.

Alev vd. (2009), Türkiye'de vagonların manevra alanlarındaki hareketlerinin planlanmasına destek olacak bir sistem geliştirmişlerdir. Manevra sayısını enazlayacak şekilde matematiksel model geliştirmiş ve çözümde sezgisel yöntemler kullanmışlardır.

Aydın (2009), tren çizelgeleme problemi üzerine tamsayılı model şeklinde formüle edilen sezgisel bir indirgeme algoritması geliştirmiştir. Bu algoritmanın geliştirilmesinde, günlük işletimde operasyonel çizelgelemeyi elle gerçekleştiren tren dispeçerlerinin karar davranışlarının modellenmesinden faydalanmış; ayrıca algoritmanın verdiği sonuçları matematiksel modelin verdiği sonuçlarla karşılaştırmıştır.

Chang vd. (2009), Tayvan Alishan Orman Demiryolu'nda kaynakların en verimli şekilde tahsis edilmesi ve yeniden canlandırma stratejilerinin proje seçimi için Bulanık Delphi, Analitik Network Process (ANP) kullanmış ve 0-1 tamsayılı programlama modeli oluşturmuşlardır.

Lee ve Chen (2009), tren yönlendirmesi için bir sezgisel sunmuşlardır. Bu sezgiselde trenlerin çalışma saatleri atanan yola bağlıdır. Basit bir kuralla ilk çözüm üretilmiş ve 4 aşamadan oluşan iterasyonla çözüme ulaşılmıştır.

Nissen (2009), trafik hacmi arttıkça mevcut kapasitenin daha verimli kullanımı ve plansız kesintilerin en aza indirilmesi için analiz araçlarını kullanmıştır.

Reimann ve Leal (2009), tek hat üzerinde farklı hızlarla seyahat eden trenlerin çizelgeleme problemini karınca kolonisi algoritması kullanılarak çözmüşlerdir.

Söderholm ve Nyström (2009), demiryolu altyapısının bakımında karar verme problemi için AHP kullanmışlardır. Demiryolunda güvenlik ve risk ile ilgili altyapı kriterlerini belirleyerek AHP ile öncelik sıralaması yapmışlardır.

Canan (2010), öncelikle sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir parçası olarak (yeşil) pazarlama felsefesi ve yeşil taşımacılığa, ikincil olarak ise yeşil taşımacılık enstrümanı olarak demiryollarına odaklanmıştır. Grant'ın yeşil pazarlama manifestosu tartışılmış, Adana-Mersin arasında seyahat eden yolcu görüşleri kullanılarak iki şehir arasında yeşil bölgesel bir yolcu taşımacılığı modeli oluşturulmuştur.

Kabasakal ve Solak (2010), ulaştırma sistemlerinin seçiminde çarpıklıklar, negatif dışallıklar, kaynak israfı gibi problemleri göz önünde bulundurarak karayolu ve demiryolunun, yapım, bakım-onarım ve işletme maliyetlerinin de dahil edildiği maliyet temelli ekonomik etkinlik karşılaştırması yapmışlardır.

Sivilevičius ve Maskeliūnaitė (2010), demiryolunda yolcu taşıma kriterleri ile karar verme problemi için AHP metodunu kullanmışlardır. Litvanya Demiryollarında yolcu taşımacılığı kalitesini arttıran sonuçlar alınmıştır.

Çekerol ve Nalçakan (2011), Türkiye’de lojistik sektörü içerisinde, demiryolu taşımacılık sistemine ilişkin talebin analiz edilmesini amaçlamışlardır. Analizde, lojistik sektöründe önemli olan faaliyetler göz önüne alınarak değişkenler belirlenmiş ve regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi sonrası elde edilen model ile demiryolu yurtiçi yük taşıma talebine ilişkin yol gösterici sonuçlara ulaşılmıştır.

Göde (2011), karayolu, demiryolu ve havayolu ulaştırma türlerini ayrı ayrı ele alarak TCDD Isparta Gar Müdürlüğünden alınan verilerle ürünler, miktarlar, maliyetler açasından Isparta ilinin mevcut kombine yük taşımacılığını araştırmış ve alternatif öneriler sunmuştur.

Danescu (2013), Romanya ve Moldova’da aynı hattaki yük ve yolcu trenlerinde trafik yükünü azaltmak için matematiksel model geliştirerek uygulama yapmıştır.

Dünder ve şahin (2013), tren çizelgelemede uyuşmazlık çözümü için genetik algoritma (GA) geliştirmiş ve hesaplama süresi yapay sinir ağları algoritması ile kıyaslayarak küçük ölçekli sorunlar için yapay sinir ağları algoritmasına göre toplam gecikme süresini azaltmayı başarabilmişlerdir.

Harrod (2013), Kuzey Amerika’da tek hatlı demiryolu ağı için maliyet hesabını diğer hatlara göre incelemiştir.

Tian ve Demeulemeester (2013), gerçek demiryolu zamanlama ve kaynak akışını maliyetler çerçevesinde değerlendiren bir yaklaşım sunmuşlardır.

Yao vd. (2013), metro ağı için matematiksel modelle çözüm yapmış ve simülasyon ile denemişlerdir.

Literatür araştırması sonucunda elde edilen özet bilgiler Çizelge 2.1’de tablo şeklinde verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Literatür Araştırması Sonuçlarının Özeti

	<b>Çalışmanın Adı</b>	<b>Yapan Kişiler ve Yıl</b>	<b>Konusu</b>	<b>Kullanılan Yöntem</b>
<b>1</b>	A Model for The Optimal Programming of Railway Freight Train Movements	Charnes ve Miller (1956)	Yük Treni Hareketlerinin Çizelgelemede Model Oluşturulması	Dinamik Programlama
<b>2</b>	A Structured Model for Rail Line Simulation and Optimization	Petersen ve Taylor (1982)	Demiryolu Trafik Optimizasyonu ve Simülasyonu	Ayrık Olay Benzetim Modeli
<b>3</b>	Optimal Pacing of Trains in Freight Railroads: Model Formulation and Solution	Kraay (1991)	Demiryollarında Trenlerin Hız Sınırlaması	Sezgisel Yöntem
<b>4</b>	Optimal Scheduling of Trains on A Single Line	Higgins ve Kozan (1996)	Tek Hat Demiryolu Çizelgeleme (Avustralya Demiryolları)	Karışık Tamsayılı Modelleme
<b>5</b>	A Survey of Optimization Models for Train Routing and Scheduling	Cordeau vd. (1998)	Optimizasyon Modellerinin Araştırılması	-

**Çizelge 2.1.** Literatür Araştırması Sonuçlarının Özeti (devam)

	<b>Çalışmanın Adı</b>	<b>Yapan Kişiler ve Yıl</b>	<b>Konusu</b>	<b>Kullanılan Yöntem</b>
<b>6</b>	Train Schedule Optimization in Public Rail Transport	Linder ve Zimmermann (2000)	Hollanda Hattı Tren Çizelgelemesi	Doğrusal Programlama
<b>7</b>	Modeling and Solving The Train Timetabling Problem	Caprara (2002)	Tren Çizelgeleme	Sezgisel Yöntem
<b>8</b>	Scheduling of Train Driver for Taiwan Railway Administration	Lee ve Chen (2003)	Tayvan Demiryolu İdaresi için Sürücü Çizelgeleme	Genetik Algoritma
<b>9</b>	Scheduling Trains on A Railway Network Using A Discrete Event Model of Railway Traffic	Dorfman ve Medanic (2004)	Demiryolu Trafikinde Olay Modelleme ile Tren Çizelgeleme	Kesikli Olay Modelleme
<b>10</b>	A Multi-Objective Train Scheduling Model and Solution	Ghoseiri vd. (2004)	Tren Çizelgeleme	Çok Amaçlı Programlama, Pareto, Mesafe Tabanlı Yöntemler
<b>11</b>	A Decision Support System (DSS) for The Railway Scheduling Problem	Ingolotti vd. (2004)	Tren Çizelgeleme	Bir Karar Destek Sistemi: Dependent-Domain CSP
<b>12</b>	An Event Based Optimization Model For Train Scheduling	Pyke ve Kozan (2004)	Demiryolu Mühendisliği, Teknolojileri ve Çizelgeleme	Layout

**Çizelge 2.1.** Literatür Araştırması Sonuçlarının Özeti (devam)

	<b>Çalışmanın Adı</b>	<b>Yapan Kişiler ve Yıl</b>	<b>Konusu</b>	<b>Kullanılan Yöntem</b>
<b>13</b>	Solving Real-Life Locomotive Scheduling Problems	Ahuja vd. (2002)	Tren Çizelgeleme	Karışık Tamsayılı Programlama
<b>14</b>	Lojistikte Demiryolu Taşımacılığının Önemi	Akçay (2005)	Lojistikte Demiryolu Taşımacılığının Önemi	-
<b>15</b>	A Decision Supportive Method For Freight Transportation Mode Choice	Gürsoy (2005)	Yük Taşımacılığında Taşıma Türü Seçimi	Taşıma Türü Seçimi Modeli
<b>16</b>	Bicriteria Train Scheduling for High-Speed Passenger Railroad Planning Applications	Zhou ve Zhong (2005)	Yüksek Hızlı Yolcu Trenleri İçin Zamanlama Uygulamaları	Tamsayılı Programlama
<b>17</b>	Acs-Ts:Train Scheduling Using Ant Colony System	Ghoseiri ve Morshedsolouk (2006)	Tren Çizelgeleme	Karınca Kolonisi Yöntemi
<b>18</b>	Using ANP Priorities With Goal Programming in Resource Allocation in Transportation	Wey ve Wu (2006)	Kaynak Planlaması	Hedef Programlama AHP, Bulanık Delphi
<b>19</b>	Algorithmic Methods for Railway Optimization	Kroan vd. (2007)	Çizelgelemede Kullanılan Algoritmik Modeller	-
<b>20</b>	A Branch And Bound Algorithm For Scheduling Trains in A Railway Network	D'Ariano vd. (2007)	Tren Çizelgeleme	Dal-Sınır Algoritması
<b>21</b>	A Bilevel Model for Railway Train Set Organizing Optimization	Gao vd. (2007)	Tren Setlerinde Optimizasyon Çalışması	Bilevel Model

**Çizelge 2.1.** Literatür Araştırması Sonuçlarının Özeti (devam)

	<b>Çalışmanın Adı</b>	<b>Yapan Kişiler ve Yıl</b>	<b>Konusu</b>	<b>Kullanılan Yöntem</b>
22	A Traffic Management System for Real-Train Traffic Optimization for Railways	Mazarello ve Ottaviani (2007)	Demiryollarında Trafik Optimizasyonu	TMS (Trafik Yönetim Sistemi)
23	Using Integer Programming to Solve The Crew Scheduling Problem in The Taipei Rapid Transit Corporation	Chen ve Chui (2008)	Demiryolu Ekip Çizelgeleme	Tamsayılı Programlama
24	A Note on Section Scheduling on The Indian Railways	Rangaraj (2008)	Hindistan Demiryolları İle İlgili Sorunlar	-
25	Yük Treni İstasyonlarında Hareket Planlaması	Alev vd. (2009)	Vagonların Manevra Alanlarındaki Hareketlerinin Planlanması	Sezgisel Yöntemler
26	Development of Life Cycle Cost Model and Analyses for Railway Switches and Crossings	Nissen (2009)	Demiryollarında Mevcut Kapasitenin Daha Verimli Kullanımı	Analiz Araçları
27	Tren Çizelgeleme Problemi	Aydın (2009)	Tren Çizelgeleme	Sezgisel Yöntemler, Dispeçer Çözümü
28	Using ANP Priorities With Goal Programming for Revitalization Strategies in Historic Transport: A Case Study of The Alishan Forest Railway	Chang vd. (2009)	Tayvan Alishan Orman Demiryolu'nda Kaynak Planlaması	Bulanık Delphi, Analitik Network Process(ANP), Tamsayılı Modelleme



**Çizelge 2.1.** Literatür Araştırması Sonuçlarının Özeti (devam)

	<b>Çalışmanın Adı</b>	<b>Yapan Kişiler ve Yıl</b>	<b>Konusu</b>	<b>Kullanılan Yöntem</b>
<b>29</b>	A Heuristic for The Train Pathing and Timetabling Problem	Lee ve Chen (2009)	Demiryolu Sistemlerinde Çizelgeleme	Sezgisel Yöntemler, Dispeçer Çözümü
<b>30</b>	ACO for the Single Line Train Scheduling Problem	Reimann ve Leal (2009)	Tren Çizelgeleme Problemi	Karınca Kolonisi Algoritması
<b>31</b>	The Analytic Hierarchy Process (AHP) for Decision-making and Expert Judgement in Railway Infrastructure Maintenance	Söderholm ve Nyström (2009)	Demiryolu Bakımında Karar Verme Problemi	AHP
<b>32</b>	Sürdürülebilir (yeşil) Demiryolu Yolcu Taşımacılığı: Yolcu Perspektifinden Bir Değerlendirme	Canan (2010)	Sürdürülebilir Demiryolu Yolcu Taşımacılığı	Yolcu Taşımacılığı Modeli
<b>33</b>	The Criteria For Identifying The Quality of Passengers' Transportation by Railway and Their Ranking Using AHP Method	Sivilevičius ve Maskeliūnaitė (2010)	Demiryolunda Karar Verme Problemi	AHP
<b>34</b>	Demiryolu ve Krayolu Ulaştırma Sistemlerinin Ekonomik Etkinlik Analizi	Kabasakal ve Solak (2010)	Ulaştırma Sistemlerinin Seçimi	Ekonomik Etkinlik Analizi
<b>35</b>	Lojistik Sektörü İçerisinde Türkiye Demiryolu Yurtiçi Yük taşıma Talebinin Ridge Regresyon Analizi	Çekerol ve Nalçakan (2011)	Türkiye Demiryolu Yük Taşıma Talebi	Ridge Regresyon Analizi

**Çizelge 2.1.** Literatür Araştırması Sonuçlarının Özeti (devam)

	<b>Çalışmanın Adı</b>	<b>Yapan Kişiler ve Yıl</b>	<b>Konusu</b>	<b>Kullanılan Yöntem</b>
<b>36</b>	Yük ve Yolcu Taşımacılığında Göller Bölgesi İçin Kombine Taşımacılık Sistemlerinin Araştırılması	Göde (2011)	Kombine Yük Taşımacılığı	-
<b>37</b>	Integration and Interoperability of Rail Transport in Europe. Implications of the Network in Romania and Moldova	Danescu (2013)	Aynı Hatta Çalışan Yük ve Yolcu Trenlerinde Trafik Yükünü Azaltma	Matematiksel Model
<b>38</b>	Train Re-Scheduling with Genetic Algorithms and Artificial Neural Networks for Single-Track Railways	Dünder ve Şahin (2013)	Türk Devlet Demiryollarında tren Operasyonlarındaki Uyuşmazlıklar	Genetik Algoritma, Yapay sinir ağları
<b>39</b>	Auction Pricing of Network Access for North American Railways	Harrod (2013)	Demiryolu Ağı için Maliyet Hesabı	-
<b>40</b>	On the Interaction Between Roadrunner or Railway Scheduling and Priority Lists or Resource Flow Networks	Tian ve Demeulemeester (2013)	Demiryolu Zamanlama ve Kaynak Akışı	-
<b>41</b>	Simulation and Evaluation of Urban Rail Transit Network Based on Multi-Agent Approach	Yao vd. (2013)	Metro Ağı Simülasyon Yaklaşımı	Matematiksel Model ve Simülasyon

İncelenen çalışmalarda, varış noktasındaki gecikmeyle ilgili çeşitli enküçükleme ölçütlerine değinilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Tren bazında toplam gecikmeyi azaltmak, [Charnes ve Miller (1956), Kraay (1991), Ahuja vd. (2002), Caprara (2002), Ghoseiri vd. (2004), Ghoseiri ve Morshedsolouk (2006), D'Ariano vd. (2007), Aydın (2009), Reimann ve Leal (2009)]
- Tren bazında ağırlıklı toplam gecikmeyi azaltmak, [Petersen ve Taylor (1982), Higgins ve Kozan (1996), Linder ve Zimmermann (2000), Gao vd. (2007), Alev vd. (2009), Lee ve Chen (2009)]
- Yolcu bazında toplam gecikmeyi azaltmak, [Zhou ve Zhong (2005)]
- Yolcu bazında ağırlıklı toplam gecikmeyi azaltmak, [Canan (2010)]
- Toplam seyir süresini azaltmak, [Dorfman ve Medanic (2004), Gürsoy (2005)]
- Adil yönetim, [Lee ve Chen (2003), Chen ve Chui (2008)]
- Düzenlilik, [Cordeau vd. (1998), Pyke ve Kozan (2004), Wey ve Wu (2006), Chang vd. (2009), Harrod (2013), Yao vd. (2013)]

Bu ölçütlerin yanı sıra, toplam enerji tüketimini azaltmak, toplam seyir maliyetlerini azaltmak gibi amaçlar da vurgulanmıştır ve kalite ölçütlerinin, karar vericiler tarafından doğru şekilde belirlenmesi gerektiği görülmüştür.

### 3. DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI

Demiryolu taşımacılığı, araçların birbirine paralel döşenmiş bir çift ray üzerinde hareket ettikleri bir kara taşımacılık sistemidir; fiziksel tesisler, hatlar, raylar, tüneller, köprüler, elektrifikasyon ve sinyalizasyon sistemleri, çeken ve çekilen araçlardan oluşur. Demiryolları yolcu ve yük taşımada güvenli, ucuz araçlar olarak ün kazanmışlardır ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde ekonomik gelişme konusunda büyük önem taşırlar.

Demiryolu taşımacılığı, sabit maliyetlerin toplam maliyetler içindeki payı yüksek olduğu için, genellikle birim değeri az olan kitlesel malların taşınmasında en etkin taşıma şeklidir (Tek, 1999, sf 679). Tekerleklerin ray üzerinde sürtünmeleri çok az olması sebebiyle de son derece ekonomiktir. Her gros ton için bir imharbeygirlik bir çekici güç (lokomotif) gerekir; bu da normal bir karayolunda gerekenin %10'u demektir (www.kagitpil.com). Buna karşın, bakım gideri gibi sabit giderleri yüksektir, bu nedenle demiryolu şebekesi trafik açısından ne kadar yoğunsa, o kadar ucuza gelmektedir. Bu neden, ABD ve İngiltere'deki birçok küçük hattın kapatılmasına yol açmıştır; ancak başka yerlerde yeni demiryollarının yapımı da sürmektedir. Bakım, işaretleşme ve diğer birçok işlev, günümüzde otomatik ve elektronik hale gelmiştir.

Yatırımı sermaye yoğun ve pahalı olduğu için, demiryolları genellikle devlet tarafından inşa edilmekte ve işletilmektedir. Fakat demiryollarının işletmesinde değişimler söz konusudur. Hükümet tarafından işletilen demiryolları özellikle Latin Amerika ve Avrupa'da özelleştirilmektedir. Brezilya, Latin Amerika'daki en kıymetli tren yolunu elden çıkarmıştır ve Meksika da demiryollarını özelleştirmeye devam etmektedir. Almanya'nın raylı sistemi, Avrupa'daki birçoğu gibi özelleştirilmektedir (Long, 2003, sf. 140).

Tüm dünya ulaşım ağında en çok demiryollarını tercih etmektedir. Çünkü demiryolu taşımacılığı, hem güvenli hem de en ucuz taşıma yöntemlerinden birisidir. İyi organize olmuş, çağın gereklerine göre yapılanmasını sağlamış demiryolları

ekonomik gelişmeyi hızlandırır (www.trafiklife.com). Bu açıdan konuya bakıldığında, çağımızda ulaştırma sektörünün bir alt sektörü olan demiryollarının önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Demiryolu taşımacılığının diğer avantajları; çevreyi kirletmemesi, petrol dışındaki enerji türlerini kullanabilmesi (elektrikli lokomotif ve trenler), altyapısının faydalı kullanım süresinin uzunluğu yani yatırım tutarı /faydalı ömür oranındaki verimi<sup>1</sup> ve güvenli olmasıdır. Enerji tüketimi açısından değişik ülkelerde yapılan araştırmalar demiryollarının yük taşımacılığında da çok ekonomik<sup>2</sup> olduğunu ortaya koymuştur. Örneğin; Almanya'da yapılan bir araştırmada yük taşımacılığında demiryolu enerji tüketimi 1 birim kabul edilirse, karayolu 3 birim ve denizyolu 1.3 birim olmaktadır. Japonya'da yapılan bir araştırmaya göre, yük taşımacılığında demiryolu ve gemiler yaklaşık aynı miktarda enerji tüketirken kamyonlar 7.5 kat daha fazla enerji tüketmektedirler (Demiryolu Ulaştırması Alt Komisyon Raporu, DPT, 2001). Yalnız, demiryollarında gabari bakımından kısıtlar vardır. Trenler, tünel ve köprülerden geçtiği için tren yükü, trenin taşıma gabarisini taşımayacak şekilde yüklenmelidir.

1950 yılından bu yana uygulanan karayolu ağırlıklı ulaştırma politikaları gereği yatırımlardaki payı düşen demiryolu taşımacılığı; günümüzde işletmecilik ve altyapı yatırımları noktasında, gelişmiş ülkelerde meydana gelen bütünleşik ulaşım ağı içerisinde aldığı pay itibariyle ülkemizde de önem kazanmaya başlamış, yeni bir atılım dönemine girmiştir.

---

<sup>1</sup>Bakınız Çizelge 3.1, sf. 18

<sup>2</sup>Bakınız Çizelge 3.2, sf. 18

**Çizelge 3.1.** Yol Yapım Maliyetleri Açısından Karayolu-Demiryolu Karşılaştırması  
(Dengiz ve diğerlerinden güncellenerek, 1997, sf 40)

**Demiryolları için:**

Yolun Topoğrafik Durumu	Yapım Maliyeti (\$/km)	Faydalı Ömür (yıl)	Yatırım Tutarı/Faydalı Ömür (\$/yıl-km)
<b>DÜZ ARAZİ</b>			
Çift hat+Sinyal.+Elekt.	1.356.873	30	45.229
Tek hat+Sinyal.+Elekt.	894.678	30	29.823
<b>ENGEBELİ ARAZİ</b>			
Çift hat+Sinyal.+Elekt.	2.961.117	30	98.704
Tek hat+Sinyal.+Elekt.	2.143.704	30	71.457
<b>ÇOK ENGEBELİ ARAZİ</b>			
Çift hat+Sinyal.+Elekt.	4.241.824	30	141.394
Tek hat+Sinyal.+Elekt.	3.127.069	30	104.236

**Karayolu için:** TCK'dan alınan bilgiye göre, 1 km otoyolun maliyeti düz arazide 6 milyon \$, engebeli arazide 8 milyon \$' dır.

**Çizelge 3.2.** Çeşitli Ulaşım Sistemlerine Göre Enerji Tüketim Oranları (Dengiz ve diğerlerinden güncellenerek, 1997, sf. 3)

ULAŞIM TÜRLERİ	A	B	C
Demiryolları (Kamu)	271	409	151
Kamyonlar	1.935	22.040	1.139
Ticari	1.247	7.386	591
Özel	688	14.674	2.132
Gemiler (Ülke İçi)	2.007	2.805	140

A: Trafik Hacmi (100 milyon yolcu-km)

B: Enerji Tüketimi (10 milyar kcal)

C: Enerji Tüketim Oranı (kcal/yolcu-km)

Demiryollarında üstyapı elemanları balast tabakası, traversler, ray ve bağlantı elemanlarından meydana gelir. Arabaların tekerlekleri 'ray' denilen sürekli iki sıra metalik çubuk üzerinde yuvarlanma hareketi yaparlar ([www.cgcrail.com](http://www.cgcrail.com)). Raylar da travers adı verilen ve rayların altında onlara dik yönde belirli aralıklarla yer alan mesnetlere oturtularak tespit edilirler. Böylece raylarla traversler bir çerçeve oluştururlar. Traversler ise 'balast' denilen bir kırma taş tabakası içine üst yüzeylerine kadar gömülmüşlerdir. Balast tabakası altyapı platformu üzerine serilmiştir. Ayrıca gerek rayların birbirine bağlantısı gerekse rayların traverslere tespiti için 'küçük malzeme' adı verilen birtakım bağlantı ve tespit malzemesi kullanılır (Evren, 1998, sf. 56).

Traversler yol eksenine dik yönde ve belirli aralıklarla, balast tabakası içine gömülü olarak döşenen enine kirişler olup; raylara, iki ray sırası arasındaki mesafeyi sabit tutmak suretiyle mesnet görevi yapar ve aynı zamanda elektrik yalıtımını sağlar; raylardan aldıkları yükü balast tabakasına iletirler. Günümüzde ahşap, çelik, betonarme ve plastik olmak üzere dört tip travers kullanılmaktadır (Demiryolu Yol Yapım, Bakım ve Onarımcısı, Mesleki Yeterlilik Kurumu, Ankara, 2013).

Bağlantı elemanları, raylardan gelen kuvveti traverslere aktaran ray-travers arasında ve rayları uç uca getiren ray-ray arasındaki elemanlardır.

Balast tabakası, raylarla traverslerin bağlantı elemanlarıyla birleştirilmesiyle oluşan yapının altına döşenen; çapları genellikle 20-70 mm arasında olan, granit, bazalt gibi volkanik kayalar ile silisli kireç taşı, sert kalker ve sert kum taşlarının belirli çaplarda kırılmasıyla elde edilen taşlardan oluşur. Balast tabakası travers tarafından iletilen yükü tabana dengeli bir şekilde yaymakla ve üstyapıya gelen suları süzüp altyapıya aktarmakla yükümlüdür.

Demiryollarında çeken araçlar, ana hat taşımacılığı ya da manevra işlemi için kullanılan ve treni çeken buharlı, dizel veya elektrikli türdeki lokomotifler; dizelli veya elektrikli dizilerdir. Çekilen araçlar ise vagonlardır.

### **3.1. Demiryollarının Tarihçesi**

#### **3.1.1. Dünyada İlk Raylı Taşımacılık Sistemleri ve Ortaya Çıkış Nedenleri**

Demiryollarının yeni bir ulaştırma sistemi olarak 19. yy'nin ortalarından itibaren dünyada ilk defa kullanılmaya başlanması, Avrupa ve Amerika'da büyük bir gelişme göstermesi ve bir döneme adını vererek "demiryolu çağı" olarak anılmasına yol açacak kadar önem kazanması; sanayileşme sürecinde, pazar için kitlesel üretimin yaygınlaşmaya başladığı, mal ve insan dolaşımının genişlediği ve kitlesel ulaştırma biçimlerine gereksinim duyulduğu bir döneme karşılık gelir.

Avrupa'da modern demiryolculuk, İngiltere'de 1830 yılında işletmeye açılan Liverpool-Manchester hattıyla başlamıştır. Bunu 1832'de Fransa ve 1835'te Almanya'da yapımlarına başlanan demiryolları izlemiştir. Amerika'da 1830'dan, Rusya'da ise 1855'ten itibaren demiryolu taşımacılığı ortaya çıkmıştır.

Sanayi devriminin ivme kazandığı yıllarda yeni bir ulaştırma şekli olarak ortaya çıkan demiryolları, bir yandan yarattığı pazarla demir-çelik sanayisinin gelişimine ciddi katkıda bulunurken, diğer yandan da özellikle kömür, demir ve çelik gibi ağır ve hacimli malların taşımacılığının daha ucuz, daha hızlı ve daha düzenli bir şekilde gerçekleşmesini sağlamıştır (Kaynak, 1996). Dolayısıyla, demiryolu taşımacılığına verilen ağırlığın göstergelerinden biri olarak, ilgili ülkenin sanayi ürünlerine ve üretim miktarı göstergelerine bakmak yanlış bir yöntem olmayacaktır.

Taşıma maliyetleri bakımından ele alındığında; demiryolları ulaştırma hizmetlerinde verimliliğin artmasına yol açarken, taşımacılık maliyetlerinin de 19. yy'nin ilk yarısının sonunda, örneğin, İngiltere'de %50 ve Fransa'da %60 düzeyinde düşmesini sağlamıştır (Kaynak, 2001).



### **3.1.2. Osmanlı Devleti'nde Demiryolları Gelişimi**

#### **3.1.2.1. II. Abdülhamit Dönemine Kadar Osmanlı Devleti'nde Demiryolu Gelişimi**

Osmanlı Devleti'nde demiryolu inşasına dair ilk teklifler, Avrupa'da demiryollarının ortaya çıkmaya başladığı 1830 tarihinden kısa bir süre sonra İngiliz şirketleri tarafından yapılmaya başlanmıştır. İngiltere'nin ilk teşebbüsü, Fırat vadisinden Bağdat'a ve oradan da Basra Körfezi'ne uzanacak bir demiryolunun ilk keşfini yapmak suretiyle bir İngiliz sermaye grubu tarafından 1836'da gerçekleştirilmiştir.

Osmanlı yöneticilerinin demiryollarına duydukları ilgi, demiryollarının mali bunalımının hafiflemesine yardımcı olacağı, ulaşım sorununun çözülmesiyle birlikte aşar vergilerinin de artacağı umudu, demiryollarını yönetsel ve askeri stratejinin önemli bir parçası olarak görmeleri, örneğin ülkenin iç ve dış karışıklarının demiryoluyla sürekli asker sevkiyatı sağlanarak azalacağı inancına sahip olmaları, demiryolları yatırımının diğer tetikleyici unsurlarıdır.

Osmanlı Devleti sınırları içinde yapılan ilk demiryolu, İngiltere'ye verilen imtiyaz ile -İngilizlerin Osmanlı toprakları üzerinden Hindistan yolunu kısaltma uğraşları sonucu- İskenderiye-Kahire hattı olmuş ve bu hat 1856 yılında tamamlanarak işletmeye açılmıştır.

Yine 1856'da, aynı zamanda Türkiye sınırları içinde yapılan ilk demiryolu olma niteliği taşıyan İzmir-Aydın hattı, Rumeli'de Köstence-Çernova hattı, ardından 1861 ve 1863'te Rusçuk-Varna ve İzmir-Kasaba hatları da İngilizler tarafından yapılmıştır. Demiryolu yapımlarının bir imtiyaz olarak verilmesi Osmanlı Devleti'nin demiryolu politikasının en önemli özelliğidir.

Sultan Abdülaziz (1861-1876) dönemine gelindiğinde, özellikle Tanzimat taraftarlarının, İstanbul ve Avrupa şehirlerini demiryoluyla bağlamak suretiyle, Avrupa ile bütünleşmeye yönelik bir demiryolu yapılanma çabası göze çarpmaktadır. Ancak bu dönemde yapılan hatlar Avusturya şebekesiyle birleşmemiştir. İstanbul;

Paris, Viyana ve Berlin'e ancak 1890'lı yıllarda İstanbul-Selanik bağlantı hattıyla bağlanmıştır.

Haydarpaşa-İzmit ve Mudanya-Bursa demiryollarının devlet eliyle yapılmasına karar verilmiş, fakat bu hatların yapımı 1871'de başlayıp, bir ara kesintiye uğradıktan sonra ancak 1874'te bitmiş ve teknik yetersizlikler dolayısıyla maliyeti yüksek olmuştur.

### **3.1.2.2. II. Abdülhamit Döneminde (1876-1909) Osmanlı Devleti'nde Demiryolu Gelişimi**

Projesi Abdülaziz döneminde yapılan Anadolu demiryolu hattının tamamlanması II. Abdülhamit dönemine denk gelmiştir. Selanik-Manastır hattı Anadolu Demiryolu Şirketi tarafından 1894'de işletmeye açılmıştır. 1890'da İzmit-Adapazarı hattı, 1896'da Eskişehir-Ankara hattı tamamlanmıştır (Özyüksel, 1999, sf. 667-669).

II. Abdülhamit döneminde başlatılan bir diğer önemli demiryolu projesi de Bağdat demiryolu projesidir. 1903 yılında yapılan sözleşmeyle başlayan bu hat, Konya-Bulgurlu hattının 1904'te bitmesinin ardından kesintiye uğramış, finansal sıkıntıların borçlanma neticesinde giderilmesiyle yapıma devam eden şirket, I. Dünya Savaşı'na kadar Konya – Bağdat hattının 887 km'sini tamamlamıştır. Hattın yapımı I. Dünya Savaşı sırasında da sürmüştür ve ancak 1918'de Bağdat'a ulaşılabilmektedir.

Abdülhamit dönemi denince akla gelen en önemli gelişmelerden biri Hicaz demiryollarıdır. Bu hat, plana göre Şam'dan başlayarak Medine-Mekke-Cidde-Yemen'e ulaşacak ve hatta uzun vadede Orta Arabistan üzerinden Bağdat ve Basra'ya doğru götürülecekti. Hicaz demiryolu hattı Şekil 3.1'de verilmiştir.



**Şekil 3.1.** Hicaz Demiryolu Hattı

Çalışmalarına 1900 yılında başlanan hattın toplam uzunluğu 1464 km'dir ve 1908'de Medine'ye ulaşmıştır. Hicaz demiryolu hattı "dar hat" olarak inşa edilmiştir, bunun sebeplerinden biri yapımının daha kolay ve ucuz olması, diğeri ise hat için yurt dışından getirilecek lokomotiflerin naklinde kullanılacak olan Beyrut-Şam-Havran hattının dar hatlı olmasıydı.

### **3.1.3. Cumhuriyetten Günümüze Kadar ki Süreçte Demiryolları Gelişimi**

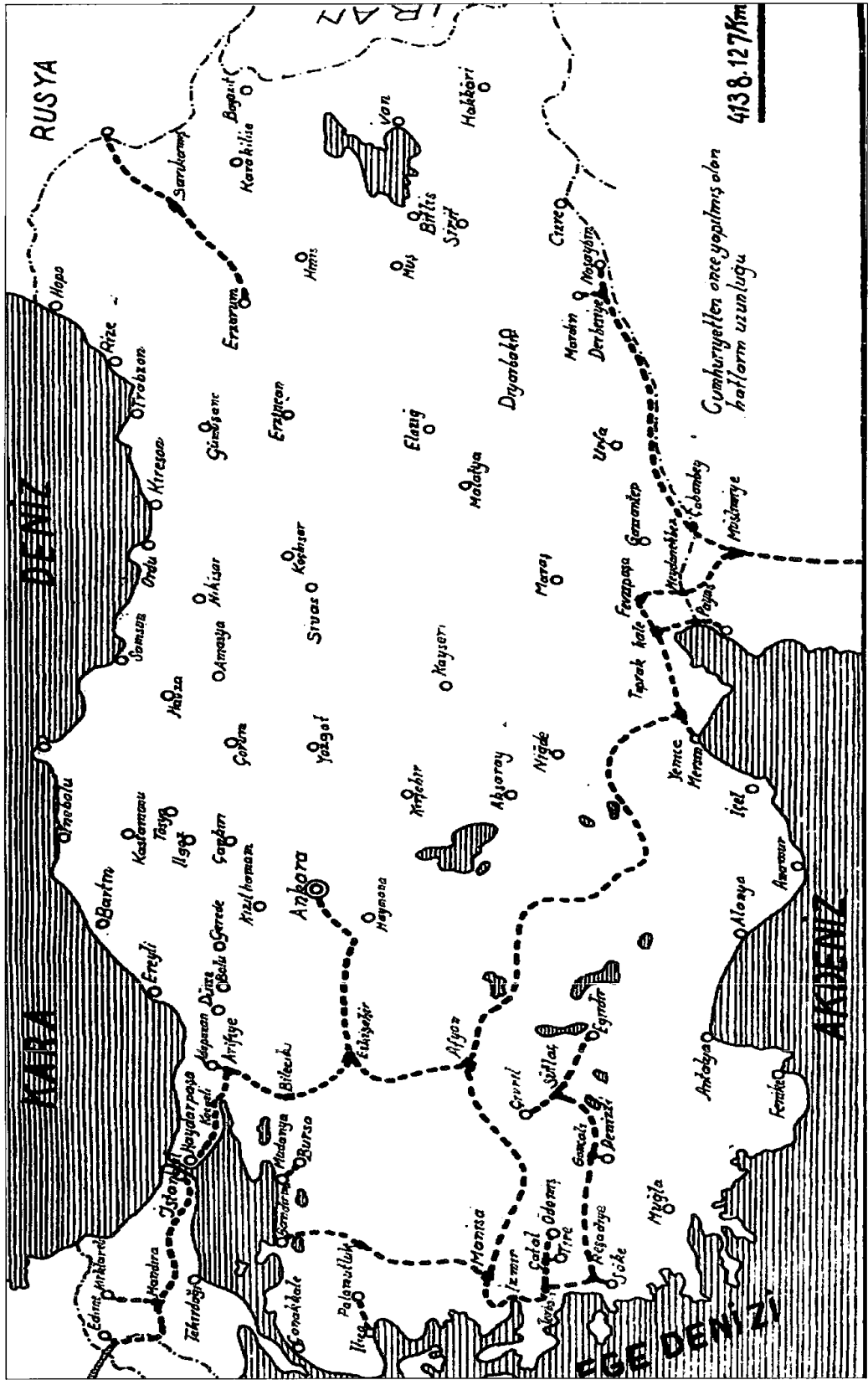
Türkiye Cumhuriyeti'nde ulaştırmada demiryolu ağırlıklı dönem 1923-1950 yılları arasındaki dönemdir. Bu nedenle Cumhuriyet sonrası demiryollarının gelişimi, 1950 öncesi ve sonrası olmak üzere ele alınacaktır:

### 3.1.3.1. 1923-1950 Döneminde Demiryolları Gelişimi

Cumhuriyetin ilanında var olan hatlar, % 58'i Batı Anadolu'da (bunlar İngiliz sermayesiyle yapılmış olan İzmir-Aydın ve İzmir-Kasaba hatlarıdır), % 33'ü Orta ve Kuzey Anadolu'da, geri kalan % 9'luk kısmı ise Doğu Anadolu'da olmak üzere yurt çapında dağılmıştır (Barda, 1964, sf 192). Cumhuriyet'ten önce yapılmış olan hatların görünümü Şekil 3.2'de verilmiştir.

Bu dönemde demiryolu ulaşım politikasının amaçları genel olarak; “Ülkenin doğal kaynaklarına ulaşmak, tüketim ve üretim merkezlerini birbirine bağlamak, özellikle limanlarla iç bölgeler arası ilişkileri demiryoluyla sağlamak, ekonomik kalkınmayı ülkenin her bölgesine yaymak ve özellikle az gelişmiş bölgelere ulaşmak, ülkede ekonomik kalkınmayla birlikte sosyal kalkınmayı da gerçekleştirmek, milli güvenliğin gerektirdiği biçimde demiryolu ağına sahip olmak” şeklinde sıralanabilir (Ergün,1985, sf 72). Bu amaçlara, Sivas-Samsun ve Irmak-Zonguldak hatlarıyla ve 1930'lu yıllarda demiryollarının Orta, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da Erzurum, Kayseri, Sivas, Elazığ ve Diyarbakır'a kadar varmasıyla kısmen ulaşılmıştır. 1923-1938 Döneminde Yapılan Hatlar Şekil 3.3'de verilmiştir.

Ayrıca, 1935-1945 yılları arasında bağlantı hatları oluşturulmaya çalışılmıştır. Cumhuriyetin başlangıcındaki ağ tipi demiryollarının, “Manisa - Balıkesir -Kütahya-Afyon”; “Eskişehir-Ankara-Kayseri-Kardeş Gediği-Afyon”; “İzmir-Denizli-Karakuyu-Afyon-Manisa” ve “Kayseri-Kardeş Gediği-Adana-Narlı-Malatya-Çetinkaya” döngülerinin yapılması suretiyle işlerliği artmıştır. Döngüler bağlantı hatları ile sağlanmıştır. Bu bağlantı hatlarının yapımında ayrıca fiziki ve ekonomik uzaklığın azaltılması da amaçlanmıştır. Örneğin; Çetinkaya-Malatya bağlantı hattı ile Ankara-Diyarbakır arasındaki uzaklığın 1324 km'den 1116 km'ye indirerek 208 km'lik bir azalma sağlanmıştır. Bu bağlantılar ile 19. yy'da yarı koloni ekonominin yarattığı “ağaç” biçimindeki demiryolları artık milli ekonominin gereksinim duyduğu “döngü yapan ağ” şekline dönüşmüştür (www.tcdd.gov.tr).

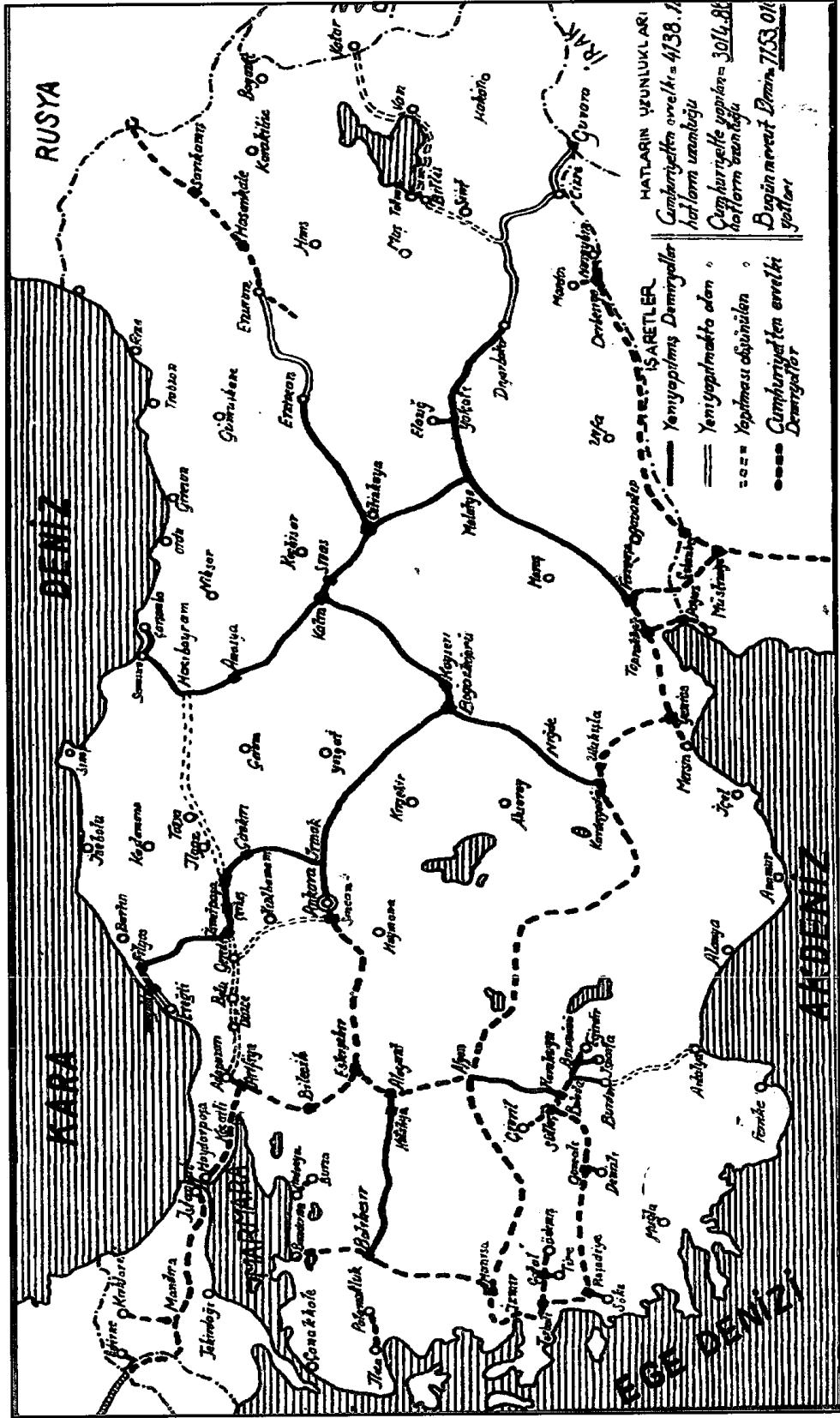


Şekil 3.2. Cumhuriyet'ten Önce Yapılmış Olan Hatların Görünümü (TCDD)

Osmanlı Devleti'nden devralınan yaklaşık 4000 km'lik hatta 1923-1950 tarihleri arasında 3780 km eklenerek, ana hat uzunluğu 7671 km'ye ulaşmış; yapılan bu hatların % 80'i 1923-1940 tarihleri arasında inşa edilmiştir (DPT, 2001, sf 10). Bu nedenle 1923-1940 tarihleri arası demiryollarında atılım dönemini; 1940-1950 tarihleri arası da demiryollarında duraklama dönemini ifade etmektedir.

Cumhuriyetin kurulmasından itibaren izlenen, İzmir İktisat Kongresi ile başlayan, devlet yatırımcılığı ve devlet işletmeciliğine dayanan ekonomik politika gereği; Cumhuriyet dönemi demiryolu ulaşım politikasını, Osmanlı Devleti'nin demiryolu politikasından ayıran en belirgin farklardan biri olan "demiryollarının devletleştirilmesi" projesi de uygulamaya konulmuştur.

Gerek yeni hatların yapılması, gerekse yabancıların elindeki hatların devletleştirilmesiyle birlikte, özellikle lokomotif ve vagon gibi demiryolu araçlarında da gelişme sağlanmıştır. 1940 verilerine göre 684 buharlı lokomotif, 11 otoray, % 93'ü yük vagonu olmak üzere 13.147 vagon ile demiryolu ulaşımı sağlanmıştır. 1950 yılında ise % 92'si yük vagonu olmak üzere 15.513 vagon ile demiryolu ulaşımı sürdürülmüştür ([www.bayindirlik.gov.tr](http://www.bayindirlik.gov.tr)).



Şekil 3.3. 1923-1938 Döneminde Yapılan Hatlar (TCDD)

### 3.1.3.2. 1950-1963 Döneminde Demiryolları Gelişimi

1950 yılından sonra, ulaştırma sisteminin birbirini tamamlayan iki ana alt sistemi olan demiryolu ve karayolu, yatırımları arasında dengeli kaynak dağılımının sağlanamaması; karayollarında yük ve yolcu taşımacılığı hizmeti verenlerin rağbet edeceği şekilde politikalar uygulanması neticesinde, demiryolları hem yol uzunluğu hem de modernizasyon çalışmaları açısından ulaştırma sektörü içindeki payını koruyamamıştır.

1950 yılından sonra demiryollarının karayolları karşısında etkisiz hale gelmesinin başlıca sebepleri:

1. Demiryolu taşımacılığı, gerek altyapı yatırımları ve kullanılan ulaşım araçları, gerekse taşımacılık unsurları bakımından daha sermaye yoğun bir sektördür. Türkiye’de demiryolu yatırımlarının yoğunlaştığı dönem de, ekonomisinde görece sermaye yoğun üretim yapısının oluşturulmasının öne çıktığı 1930’lardır.
2. Petrol üretimindeki hızlı artışa paralel olarak petrol fiyatlarında önemli düşüşler meydana gelmesi, karayolu ulaşımına olan talebi artıran faktörlerdendir. Zira karayolunda verimliliğin sağlanabilmesinin en önemli koşullarından biri akaryakıt fiyatlarında istikrarın korunmasıdır.
3. Karayolu taşımacılığının, üretim noktasından tüketim noktasına aktarmasız ve hızlı taşıma yapılmasına uygun olması, bir başka ifadeyle yük taşımacılığı söz konusu olduğunda kapıdan kapıya teslimat olanağını sunması, yüksek taşıma esnekliğine ve kitlesel değil de daha küçük parçalar halinde taşıma yapabilme özelliğine sahip olması; kitlesel, esnek olmayan ve nispeten daha yavaş olan demiryoluna göre daha fazla tercih edilmesinde etken olmuştur.

Bu dönemde demiryolları adına atılan önemli adımlardan biri, 1953’te çıkarılan bir yasayla Devlet Demiryolları’nın, “Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü” adı altında yeniden örgütlenmesidir (TCDD Demiryol, 1984, sf. 23). Demiryolu işletmesinden TCDD sorumluyken, demiryolu inşası



Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü'ne bırakılmıştır.

1950'de 7.671 km olan demiryolu uzunluğu 1960'ta % 2 artışla 7.895 km'ye çıkmıştır. Oysa aynı tarihler arasında karayolları, 47.080 km'den 61.542 km'ye çıkarak % 30'luk bir artış göstermiştir (www.die.gov.tr). Bu dönemde yapılan demiryolu hatlarından Ruslar'dan kalma Erzurum-Sarıkamış hattı, mevcut dar hattın yeni bir güzergah izlenerek normal hatta çevrilmesi suretiyle yapılmış olması bakımından bahse değerdir. Ayrıca Pendik-Gebze ve Sincan-Cebeci çift hatlarının yapımı ve hizmete girmesi de bu tarihlerde gerçekleşmiştir (Bayındırlık Bakanlığı, 1983, sf 10).

Demiryolu yapımından ziyade, kullanılan hat ve araçların yenilenmesine ağırlık veren bir politikanın takip edilmesi neticesinde, trenlerin hız yapmasına engel olan makasların değiştirilmesi, köprülerin ve hatların onarılması gibi faaliyetler gerçekleştirilmiştir (Ergün, 1985, sf.82).

### **3.1.3.3. 1963 Sonrası Kalkınma Planları Çerçevesinde Başlayan Süreç**

Günümüzde dokuzuncusu çerçevesinde planlama ve uygulamaların gerçekleştirilmeye çalışıldığı kalkınma planlarının ilki 1963'te uygulamaya geçmiştir. TCDD planlı dönem boyunca işletme zararından kendini koruyamamıştır.

1970'li yılların ikinci yarısından itibaren başlayan otoyol yapımları, günümüze kadar artarak yatırım payları içindeki yüzdesini muhafaza etmiştir. Oysa maliyetler açısından karşılaştırıldığında demiryolu ve karayolu maliyetleri arasında büyük fark<sup>3</sup> olduğu ortaya çıkacaktır.

---

<sup>3</sup>Bakınız Çizelge 3.1., sf. 18

Aynı hususta Almanların kabul ettiği bir esasa göre (Duman, 1994, sf. 84); platform genişliği 13,7 m olan çift hatlı elektrikli bir demiryolu altyapısı, kapasite açısından 37,5 m genişliğindeki 6 şeritli bir otobana eşdeğerdir. <sup>3</sup>Çizelge 3.1 verilerine göre maliyetler karşılaştırıldığında, 6 şeritli otobanın maliyet ortalaması 8 milyon dolar iken, çift hatlı elektrikli, sinyalizasyonlu demiryolunun ortalama maliyeti 2,853 milyon dolar olmaktadır. Günümüzde de bu fark orantılı olarak değişmiştir. Dolayısıyla yol yapım maliyetleri açısından demiryolu daha avantajlıdır.

Hala cumhuriyetin kurulduğu yıllardan kalan hatlarda ufak tefek bakımlarla yapılan iyileştirmelerle idare edilmektedir. Yeni konvansiyonel hatların yapımı bir yana, mevcut hatlar bile yenilenemez hale gelmiştir. Mevcut hatların gereken bakım ve onarımlarının zamanında yapılmaması nedeniyle peş peşe tren kazaları meydana gelmiştir. Artan tren gecikmeleri nedeniyle yolcular için ulaşım çekilmez hale gelmiştir ve demiryolcularının ulaşım halinde güvenliği tartışılır hale gelmiştir. Özellikle lojistik uzmanları tarafından ülkemizin bir lojistik üssü olması beklenirken hala ulaşım konusunda sıkıntı çekilmektedir. Lojistik masrafları toplam maliyetin % 20 kadarlık bir kısmını oluşturduğu düşünüldüğünde demiryolu sistemi geliştirilerek, çok daha ucuza taşımacılıkla lojistik masraflarını azaltma çalışmaları üzerinde durulmalıdır.

### **3.2. Türkiye'nin Stratejik Konumu İtibariyle Demiryolu Bağlantıları**

Türkiye, jeopolitik ve stratejik konumu nedeniyle birçok avantaja sahiptir. İçinde bulunduğu coğrafi bölge itibariyle doğu, batı, kuzey, güney cephelerindeki ülkeler arasında transit bir ülke konumundadır. Coğrafi ve ekonomik bakımlardan Ortadoğu ve Hazar petrollerine yakınlığı, Türk Cumhuriyetleri ile olan ilişkileri ve ortak kültürel geçmişi, Akdeniz bölgesinin ulaştırma yollarının kesişim noktasında bulunması, Türkiye'nin bölgesel bir güç olma potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Ülkemizin önemli merkezleri ve komşu ülkeler arasındaki demiryolu ulaşımı, aşağıdaki noktalarla sağlanmaktadır.

İller arası bağlantı: 48 il merkezi

İl sınırları içerisinde geçen: 13 il

Komşu ülkelerle bağlantı:

- Suriye: Nusaybin-Kamışlı, Meydanekbez
- Yunanistan: Uzunköprü
- Bulgaristan: Kapıkule-Sivilengrad
- İran: Kapıköy-Razi
- Ermenistan: Doğukapı-Ahuryan (Bu geçit halihazırda kapalıdır.)
- Romanya: Samsun-Köstence, Derin-Köstence feribot hattı

Türkiye – İran;

Türkiye ile İran arasındaki demiryolu bağlantısı İstanbul-Tahran-İstanbul arasında haftada bir gün çalışan ve kuşetli vagonlardan teşkil edilmiş TransAsya treni ve Van-Tebriz-Van arasında haftada bir gün çalışan ve I. mevkii kuşetli vagonlardan teşkil edilmiş tren ile sağlanmaktadır.

Türkiye – Suriye;

Türkiye ile Suriye arasındaki demiryolu bağlantısı Gaziantep-Halep arasında haftada bir gün karşılıklı olarak çalışan Suriye Demiryollarına ait DMU tren setleri ile sağlanmaktadır.

İran – Türkiye – Suriye;

İran ile Suriye arasındaki demiryolu bağlantısı, ülkemizi transit geçerek Tahran-Şam arasında haftada bir gün çalışan yolcu treni ile sağlanmaktadır.

Mevcut potansiyelini fiiliyata dökebilmesi için Türkiye'nin ticari ilişki içerisinde olduğu ülkelerle olan ilişkilerine ve bu ülkelerde ulaştırma alanındaki gelişmelere paralel olarak, demiryolu taşımacılığında, özellikle demiryolu kombine taşımacılığı noktasında gerekli yatırım ve iyileştirme çalışmalarına hız vermesi gerekmektedir.

### **3.3. Türkiye’de Demiryollarının Mevcut Durumu ve Sorunları**

Türkiye’de demiryollarının en önemli sorunu altyapı yetersizliğidir. Alt yapı tesis edilememiş ya da standart dışı bir alt yapıya sahip bir ülkenin demiryollarında verimlilik, karlılık, hizmetin gereği gibi yapılması, hizmet kalitesinin yükseltilmesi gibi paradigmlar adeta gereksiz hale gelmektedir. Aslında demiryollarının karlı olmaması, taşıma talebinin düşük olması, hizmetin kalitesinin yükseltilememesi gibi faktörlerin temelinde de altyapı problemi yatmaktadır. 1970’lerden sonra özellikle gelişmiş ülkelerin yaptıklarının aksine Türkiye, ulaşım sektörü yatırımlarında demiryollarına oransal ve miktarsal açıdan küçük bir pay ayırmıştır. Hükümetler ulaşımındaki yatırımları daha çok karayollarına aktarmıştır.

Ekonomik olarak düşünüldüğünde ortaya çıkan hedef, ülkenin ulaşım ihtiyacını en az maliyet ile karşılayacak bir ulaşım sisteminin öne çıkarılması gereğidir. Ulaşımı en az maliyet ile gerçekleştirmek için her ulaşım sistemine iktisadi açıdan optimum payı ayırmak gerekir. Bunun belirlenmesindeki kriter ise ulaşım sektörlerinin nispi maliyet ve verimlilikleridir.

Ülkemizde, ulaşım sistemi tercih edilirken, karayolları ve demiryollarının nispi maliyet ve verimliliklerine göre bu tercih yapılamamıştır.

#### **3.3.1. Hat Durumu**

Ülkemizde demiryollarının hat uzunluğu, 9.642 km’si ana hat ve 2.358 km’si tali hat olmak üzere toplam 12.000 km’dir. Bu yol uzunluğu bazı ülkeler ile kıyaslandığında yetersiz olduğu görülecektir.

**Çizelge 3.3.** 100 000 Nüfus Başına Düşen Demiryolu Hat Uzunluğu ve Nüfusun Demiryolu Seyahat Sıklığı (TCDD İstatistik Yıllıkları, 2007-2011)

Ülkeler	100 000 Nüfus Başına	Seyahat Sıklığı
İngiltere	26	22
Yunanistan	23	1
Almanya	46	23
İtalya	28	11
İspanya	30	12
Fransa	45	17
Avusturya	69	26
Macaristan	79	11
Bulgaristan	55	4
Romanya	50	3
Hindistan	5	6
Rusya	60	7
Japonya	29	178
Çek Cumhuriyeti.	90	15
Türkiye	13	1

Çizelge 3.3’de görüleceği üzere, hem 100 000 nüfus başına düşen demiryolu uzunluğu hem de demiryolu seyahat sıklığı açısından ülkemiz en son sırada bulunmaktadır. Demiryolu hat uzunluğu açısından yetersiz olunması ülkemizdeki demiryollarının en büyük problemini oluşturmaktadır.

Ülkemizde demiryolları hat uzunluğunun yetersiz oluşu demiryoluna olan talebin önemli ölçüde sınırlı olmasına neden olmaktadır. Çünkü bölgelerle iller arasındaki bağlantı optimal düzeyde gerçekleştirilememektedir. Bunun nedeni ise bölgeler ve iller arası kısa ve direk bağlantı yerine dolambaçlı bağlantılar kurulması ve yolun istenilenden fazla uzamasıdır. Bu durum trafiğin çevre illerden merkeze doğru karayollarına kaymasına, yani demiryollarının atıl kalmasına sebep olmaktadır.

Üstelik mesafenin uzaması nedeni ile demiryollarında ulaştırma maliyetleri de artmaktadır.

### **3.3.2. Demiryolu Güzergâhının Tek Hatlı Olmasının Neden Olduğu Sorunlar**

Ülkemizde demiryollarının hat uzunluğu bakımından yetersiz olmasının yanı sıra, yolun % 98,2'sinin tek hatlı olması ayrı bir olumsuzluk faktörü olarak ortaya çıkmaktadır. Bu açıdan diğer ülkelerin tek hatlı yol uzunluğunun % 1'in altında olduğu tespit edilmiştir. Avrupa ülkeleri standartları ile demiryolunun % 98,2'sinin tek hatlı olma durumu yorumlanacak olunursa; Türkiye'de demiryollarının % 98'i standart dışıdır. Türkiye'de demiryolu şebekesinin tek hatlı olması beraberinde bazı sorunları getirmektedir. Bu sorunlardan birincisi; tek hatlı yollarda sefer sayısını arttırmak ve gerekli sefer sayısına ulaşmak mümkün olmamaktadır. Çift hatlı yollarda 10'ar dakikalık aralıklarla sefer yapılabilirken, tek hatlı yolda en fazla iki istasyon arasındaki mesafede gidilecek zamanın 2 katı kadar bir zamanda tek sefer yapılabilmektedir. Örneğin İngiltere'de, Almanya'da gündüz saatlerinde bütün yerleşim birimlerinden her yarım saatte bir tren kalkarken, gece saatlerinde ise bir saatte bir tren kalkmaktadır. 24 saat içinde her yerleşim birimi için ortalama 16 sefer yapılmaktadır. Buna karşılık Türkiye'de günlük sefer sayısı ortalama 1.3'tür. Demiryollarının tek hatlı olmasının meydana getirdiği ikinci bir sorun ise, trenlerde gecikme ve iptallerin yüksek düzeylere çıkmasıdır.

Ayrıca 19. yy'da yarı koloni ekonominin yarattığı "ağaç" biçimindeki demiryolu ağı iki nokta arasındaki demiryolu uzunluğunun karayolu uzunluğundan daha fazla olmasına ve dolayısıyla demiryolu ulaşım hızının düşmesine sebebiyet vermiştir.

### **3.3.3. Demiryolu Hatlarının Elektrikli Olmaması İle İlgili Sorunlar**

Ülkemizde demiryollarının toplam hat uzunluğu içerisinde elektrikli hat oranı da çok düşüktür. 2011 yılı itibari ile demiryollarının toplam hat uzunluğu 12 000 km'dir. Bu toplam hat uzunluğu içinde elektrikli hat uzunluğu 3.159 km'dir. Yani, toplam

demiryolu hat uzunluğunun 8.841 km'lik bölümü elektriksiz hattan meydana gelmektedir. Kısaca ifade etmek gerekirse; toplam demiryolu hattının sadece %26,3'ü elektrikli dir.

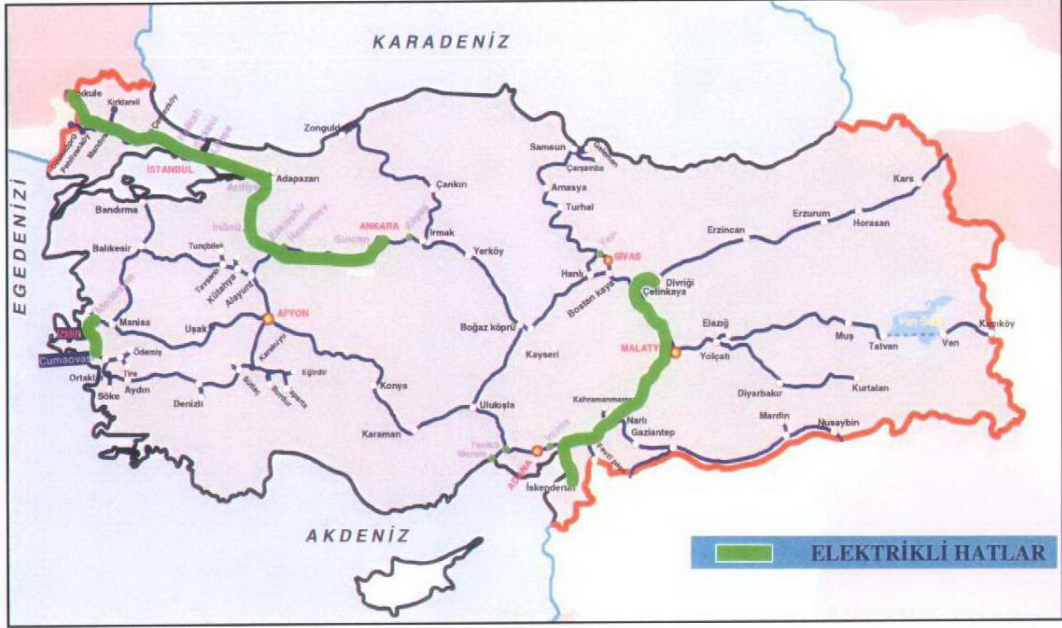
Ülkemizdeki demiryollarının elektrikli hat durumu, bazı ülkelerinin elektrikli hat durumu ile kıyaslandığında ortaya çarpıcı sonuçlar çıkmaktadır. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.4'de verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Ülkelerin Toplam Hat Uzunluğu ve Elektrikli Hat Oranı (Uluslararası Demiryolu İstatistikleri, 2007-2011)

Ülkeler	Elektrikli Hat Oranı (%)	Toplam Demiryolu Uzunluğu (km)
İngiltere	33	16.173
Yunanistan	14	2.552
Almanya	53	37.679
İtalya	78	16.704
İspanya	62	13.853
Fransa	52	29.841
Avusturya	59	5.828
Macaristan	100	7,893
Bulgaristan	68	4.98
Romanya	37	10.785
Hindistan	30	63.974
Rusya	51	85.292
Japonya	65	36.881
Çek Cumhuriyeti	34	9.468
Türkiye	29	9.584

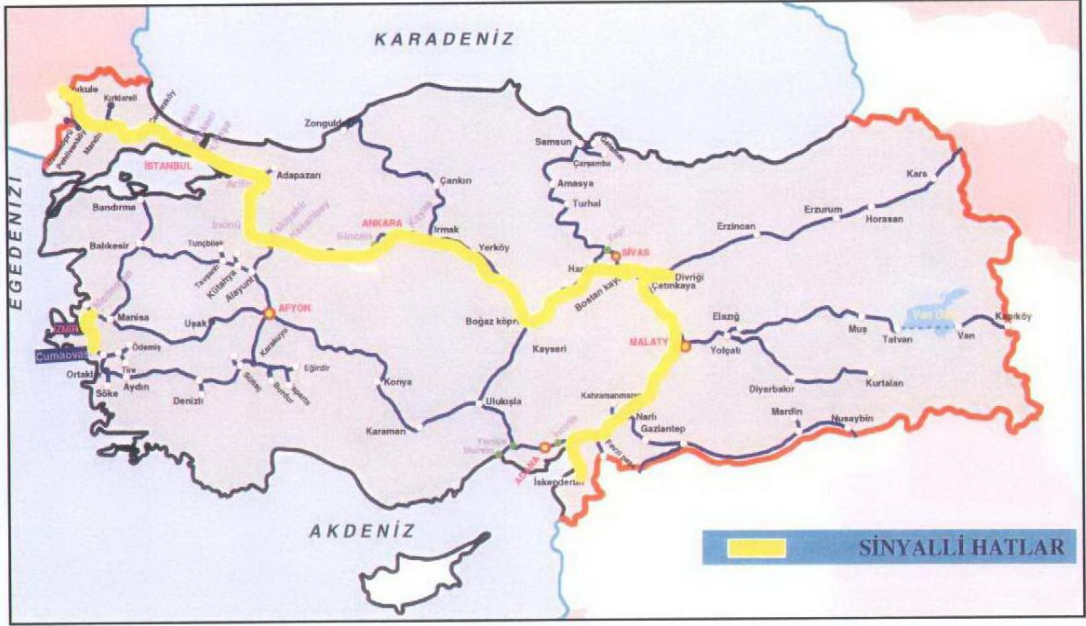
Kullanılan teknoloji, demiryolu işletmeciliğini etkileyen önemli unsurlardan birisidir. Ülkelerde teknolojik gelişim elektrikli hat kapasitesini de arttırmıştır.

Şekil 3.4’de Elektrikli Hatlar ve Şekil 3.5’de Sinyalli Hatlar verilmiştir.



Şekil 3.4. Elektrikli Hatlar (TCDD)





Şekil 3.5. Sinyalli Hatlar (TCDD)

### 3.3.4. Trenlerde Gecikmeler ve İptaller İle İlgili Sorunlar

Gecikmeler yolun tek hatlı olması, diğer trenlerin gecikmesi, cer, hareket ve yolun kapalı olması başta olmak üzere değişik sebeplerden kaynaklanmaktadır.

### 3.3.5. Demiryollarında Kurp Yarıçapı İle İlgili Sorunlar

Demiryollarında ray ve tekerleğin optimal ekonomik ömürlerini sürdürebilmesi ve trenlerin gereken hızda hareket edebilmeleri için kurp yarıçapının (virajların) mutlaka belli bir standartta olması gerekmektedir. Dünya standartlarında kurp yarıçapı 2500-3000 metre arasında bulunmaktadır.

Ancak, ülkemizde demiryollarının kurp miktarı düşüktür. Bu anlatılanlar Çizelge 3.5’de verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Hatların Kurp Yarıçaplarına Göre Dağılımı (TCDD, İstatistik Yıllığı, 2007-2011)

<b>KURP YARIÇAPI GRUPLARI (metre)</b>	<b>ADET</b>	<b>UZUNLUK (KM)</b>	<b>TOPLAM HAT İÇİNDEKİ PAY(%)</b>
<b>200-500</b>	6,100	1,576	18,0
<b>501-1000</b>	2,986	1,040	11,9
<b>1001-1500</b>	466	187	2,1
<b>1501-2000</b>	448	195	2,2
<b>DÜZ YOL</b>	351	123	1,4
<b>2000'DEN BÜYÜK</b>	-	5,649	64,4
<b>TOPLAM</b>	<b>10,351</b>	<b>8,770</b>	<b>100,0</b>

Çizelge 3.5'e göre toplam yol uzunluğunun %18 inde kurp yarıçapı 200-500 metrelik kurp yarı çapında toplam 6.100 adet kurp (viraj) bulunmaktadır. Standart dışı kurp yarı çapı toplam demiryolu hat uzunluğunun % 35.6'sını oluşturmaktadır.

Kurp yarıçapının düşük olması önemli sorunları da beraberinde getirmektedir. İlk öncelikle; kurp yarıçapının düşük olduğu yerlerde trenler önemli ölçüde hızlarını düşürmektedir. Şu halde ülkemizde mevcut demiryollarının % 35.6'sında trenlerin hızı düşmektedir. Bunun sonucu olarak, trene olan talep düşmekte, demiryolları düşük kapasite ile çalışmak durumunda kalmaktadır. Trenlerin kurp yarıçapının düşük olmasından dolayı hızlarını sık sık düşürmeleri, sonuçta kinetik enerjiden yararlanamamalarına neden olmakta ve bu durum önemli ölçüde enerji kaybına yol açmaktadır. Kurp yarıçapının düşük olmasının meydana getirdiği diğer bir sorun da, raylarda sürtünme katsayısı arttığı için hem çeken hem çekilen araçların yıpranması ile ilgilidir. Üstelik bu sürtünmeden dolayı raylar zarar görmektedir. Bundan dolayı meydana gelen yıpranmaların maliyeti de ekonomik anlamda demiryollarını zarara sokmaktadır.

### **3.3.6. Demiryollarının Eğimi İle İlgili Sorunlar**

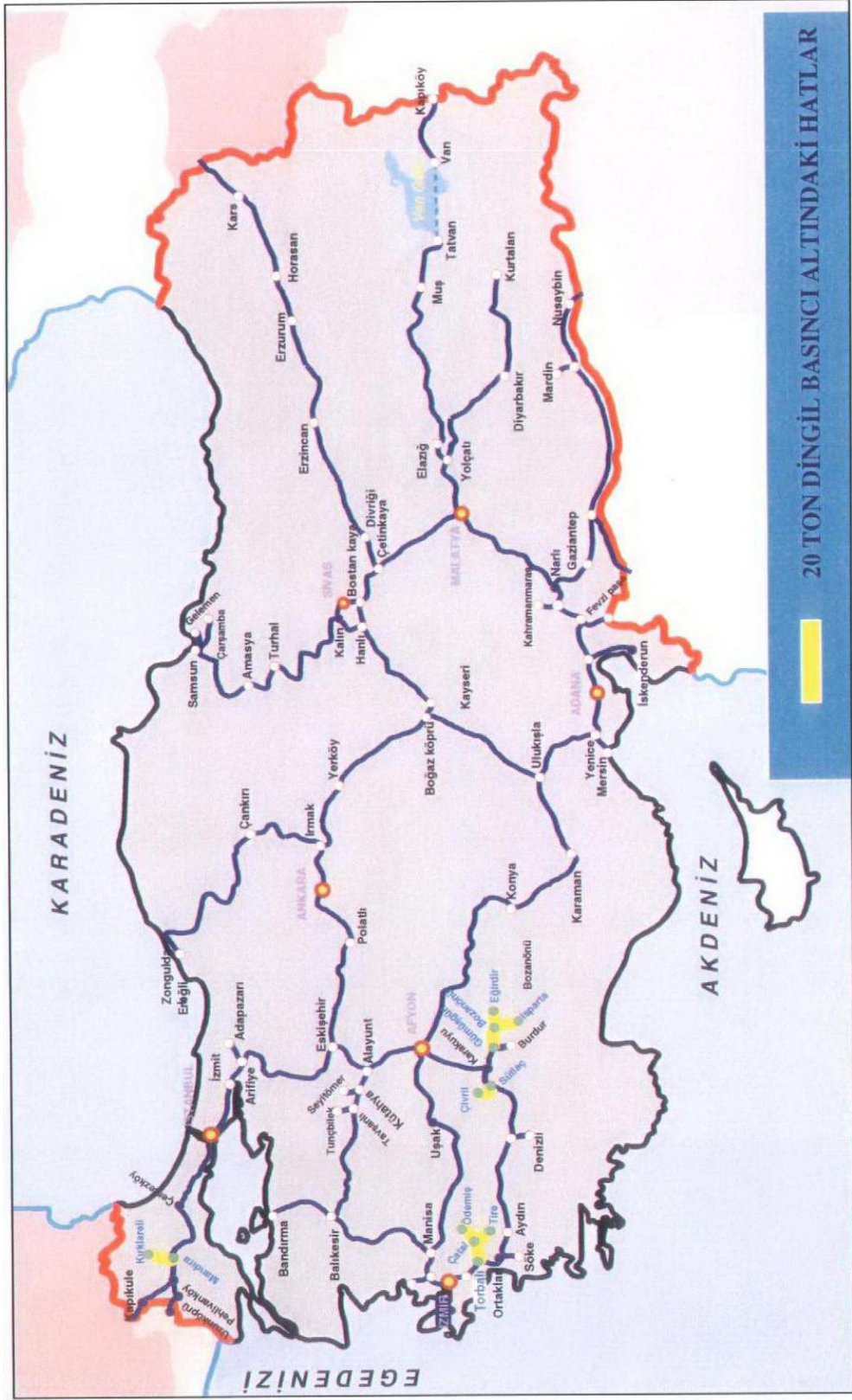
Dünya standartlarında yük ve yolcu trenlerinin birlikte seyrettiği hatlarda en yüksek eğim binde 10'dur. Fransa hariç batı ülkelerinde en yüksek demiryolu eğimi 10/1000'in altındadır. Demiryollarında eğimin yüksekliği 107/1000'in üzerine çıktığında tren katarlarının çekilmesi için ranfor (destek) gerekmektedir. Bunun sonucu olarak trenlerin hızları düşmekte, eğimin normalleştiği alanlarda angaryadan ranfor çekilmektedir. Bu aynı zamanda taşınacak yükün ağırlığı eğim nedeni ile sınırlandırılmaktadır. Bu durumdan dolayı enerji sarfiyatı artıp, genel işletme giderleri de fazlaşmaktadır.

Ülkemizde demiryolu hattının % 24'ünün eğimi 10/1000'in üzerindedir. Başka bir deyişle, demiryolu hattının % 24'ü eğimin yüksekliğinden dolayı standart dışıdır. Eğimin yüksek olduğu hatlarda tren kazandığı potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye çevirememektedir. Bu durumda enerji maliyetleri de artmaktadır.

### **3.3.7. Demiryollarının Dingil Basıncı İle İlgili Sorunları**

Demiryollarında önemli konulardan bir tanesi de rayların dayanabileceği dingil basıncıdır. Lokomotiflerin çekim gücü, dingil basıncı ile doğru orantılıdır. Eğer lokomotifin çekim gücü yükseltirse dingil basıncının da yükseltilmesi gerekecektir. 100-150 km/saat hızlarda dingil basıncı 20 tondur. Hızlı trenlerde dingil basıncı 25 tondur. Ülkemizdeki demiryolu hattının % 2,7'si dingil basıncı yönünden standart dışıdır.

Şekil 3.6'da 20 ton/ dingil Basıncın Altındaki Hatlar verilmiştir.



Şekil 3.6. 20 ton/ dingil Basıncın Altındaki Hatlar (TCDD)

### 3.3.8. Demiryollarının Travers Durumu İle İlgili Sorunları

Travers, raylardan gelen basıncı balast tabakasına iletmesi ve raylar arasındaki mesafeyi koruması bakımından demiryolları üstyapısının önemli bileşenlerindedir.

Demiryollarında rayların altına döşenen üç tip travers vardır: Çelik travers, ahşap travers, beton travers. Bölgelere göre travers tipleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Demiryollarında altyapının sağlamlığı büyük oranda travers türüne bağlıdır. Bugün için en sağlam travers türü beton traverslerdir. Üretimi hem çelik traverse hem de ahşap traverse göre daha ucuzdur. Aynı zamanda beton traverslerin rayları koruması ve dayanıklı olması, diğer travers türlerine göre avantajlı olmasını sağlamıştır.

Ülkemizde toplam demiryolu hattının % 3.9'u çelik travers, % 16.2'si ahşap travers, % 79.9'u da beton traverslerden oluşmaktadır. Yani toplam demiryolu hattının % 20.1'i çelik ve ahşap traverslerden oluşmaktadır. Özellikle çelik ve ahşap traverslerde büyük yıpranmalar olmaktadır.

**Çizelge 3.6.** Bölgelere Göre Travers Tipleri, 2011

TRAVERS TİPLERİ	BÖLGELER							TOPLAM	%
	1	2	3	4	5	6	7		
ÇELİK	46	-	11	82	58	121	23	341	3.9
AHŞAP	98	-	50	429	564	-	277	1418	16.2
BETON	766	1322	1077	1068	610	1302	866	7011	79.9
TOPLAM	910	1322	1138	1579	1232	1423	1166	8770	100

Balast tabakası köşeli taşların bir araya geldiğinde boşluk bırakmaları ve o boşluktan ötürü ortaya çıkan elastikiyet bakımından, demiryolu üstyapı sisteminde önemlidir.

Şöyle ki; tren geçerken bütün kuvvet raylara biner ve raylardan traverslere geçen kuvvet balast sayesinde yere yayılır. Eğer balast elastik olmazsa bu kuvvet yere yayılmayıp, vagona geri döner. Bu da arızalara sebebiyet verir.

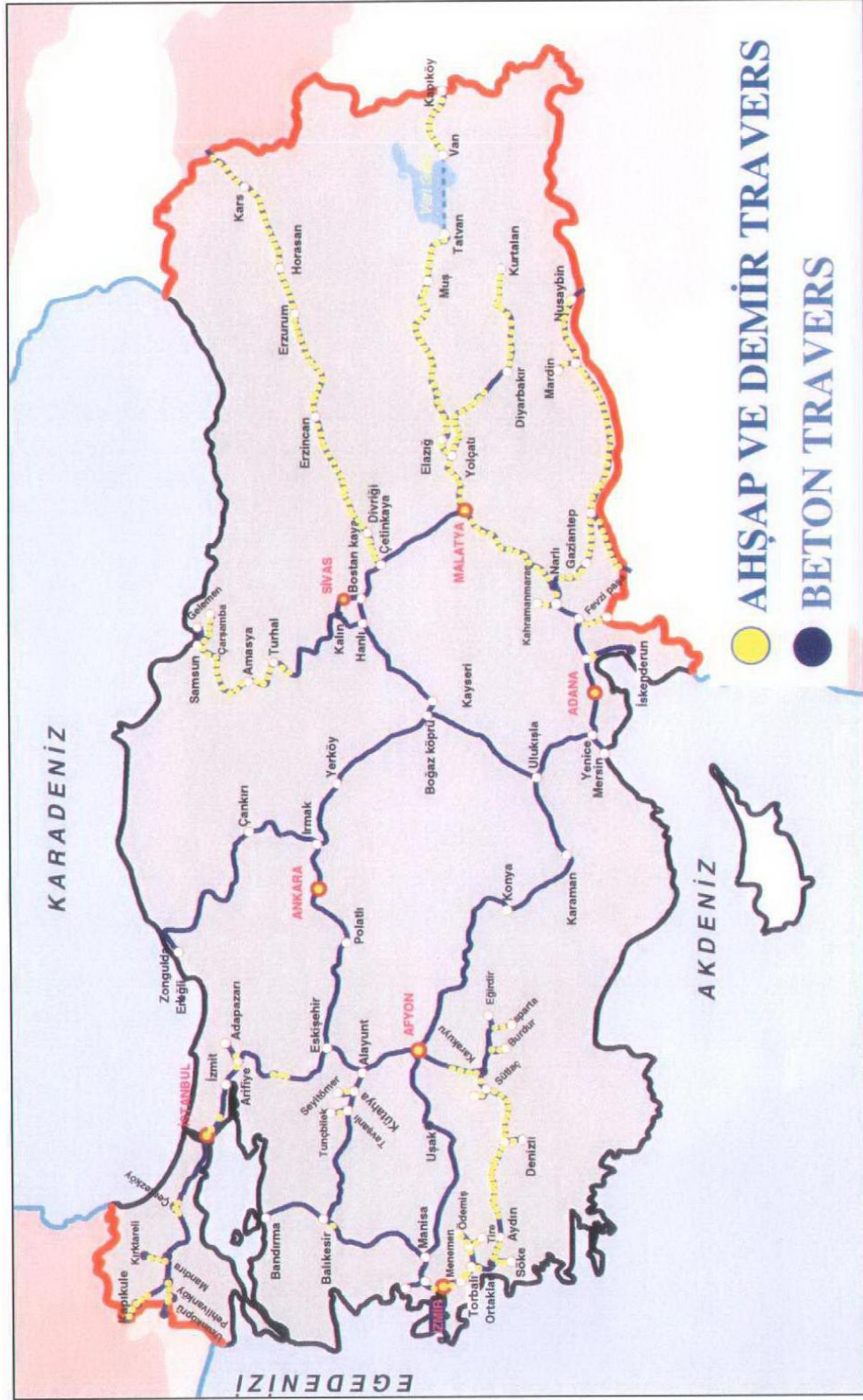
Ülkemiz demiryollarında son dönemde meydana gelen kazalar nedeniyle oluşturulan heyetler tarafından yapılan araştırmalar neticesinde, kaza bölgelerindeki balast tabakasının bazalt gibi belli sertlikteki taşlardan değil de, darbeye dayanıklı olmayan kalker taşından yapıldığı ortaya çıkmıştır.

Şekil 3.7’de Ahşap, Demir ve Beton Traversten Oluşan Hatlar verilmiştir.

Kuşkusuz demiryollarının sorunları sadece altyapı sorunu değildir; ama en belirgin sorunu olarak altyapı sorunu karşımıza çıkmaktadır. Bu bakımdan sağlıklı bir demiryolu yapılandırılması isteniyorsa öncelikle altyapı sorunları çözüme kavuşturulmalıdır.

Demiryollarında sorunlar geçmişten günümüze kadar devam etmiştir. Ama TCDD’nin gerek yol yapımı gerek yük taşımacılığı, gerekse de insan taşımacılığı ile ilgili hedefleri vardır. Fakat bu hedeflerin arasında esas sorun olan var olan hatlardaki trenlerin hızlandırılması hakkında çok detaylı çalışmalar bulunmamaktadır. Türkiye’nin dört bir yerinde varolan demiryolu ağ sisteminin geliştirilmesi ve düzenlenmesi gerekmektedir. Yolcuların ve yük taşımacılığında demiryollarını kullananların en büyük şikayeti gecikmelerdir. Demiryollarında tek sorun gecikmeler değildir. Ancak bununla ilgili çalışmalar yavaş bir şekilde seyretilmektedir. Bu sebeple çalışmanın ilerleyen bölümlerinde gecikmeler konusu üzerinde daha ayrıntılı olarak durulacak ve uygulamalara yer verilecektir.





Şekil 3.7. Ahşap, Demir ve Beton Traversten Oluşan Hatlar (TCDD)

### 3.4. Demiryollarının Günümüze Kadar Ki Değişim Süreci

TCDD'nin mevcut durumu Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Demiryollarının Mevcut Durumu (TCDD İstatistik Yıllığı, 2007-2011)



- Lokomotif sayıları 2011 yılına göre Çizelge 3.7’de verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Araçların Yaş Gruplarına Göre Dağılımı (TCDD İstatistik Yıllığı, 2007-2011)

<b>LOKOMOTİF TİPLERİ</b>	<b>0-9</b>	<b>10-19</b>	<b>20-29</b>	<b>30-39</b>	<b>40+</b>	<b>Toplam</b>
<b>Elektrikli loko.</b>	-	9	36	-	-	45
<b>Anahat dizel loko.</b>	89	-	212	194	1	496
<b>Manevra dizel loko.</b>	-	43	-	-	3	46
<b>YHT dizi</b>	12	-	-	-	-	12
<b>Elektrikli Dizi</b>	32	-	37	32	-	101
<b>Dizel Dizi</b>	12	37	-	-	7	56

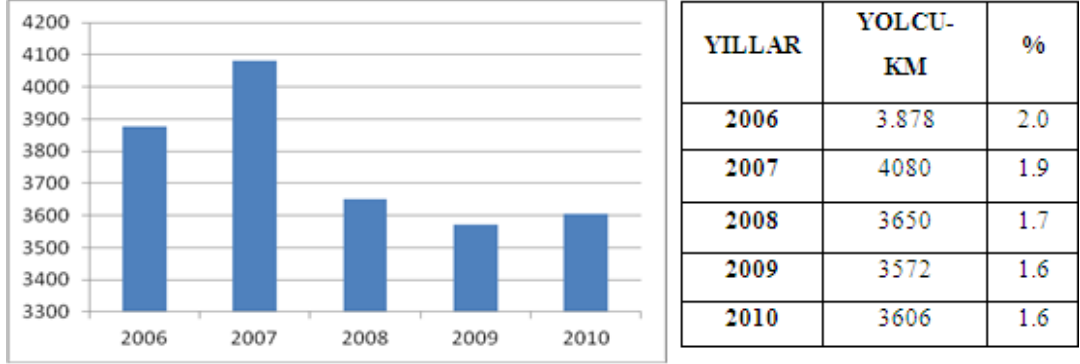
- **TCDD’nin yıllara göre personel sayısı:** Yıllar itibariyle personel sayısı Çizelge 3.8’de verilmiştir. 2007 yılında 36.720 olan personel sayısı 2011 yılı itibariyle 32.802 olmuştur. 2007-2011 yılları arasında personel sayısı yaklaşık %10.7 oranında azalmıştır.

**Çizelge 3.8.** TCDD’nin Yıllara Göre Personel Sayısı (TCDD İstatistik Yıllığı, 2007-2011)

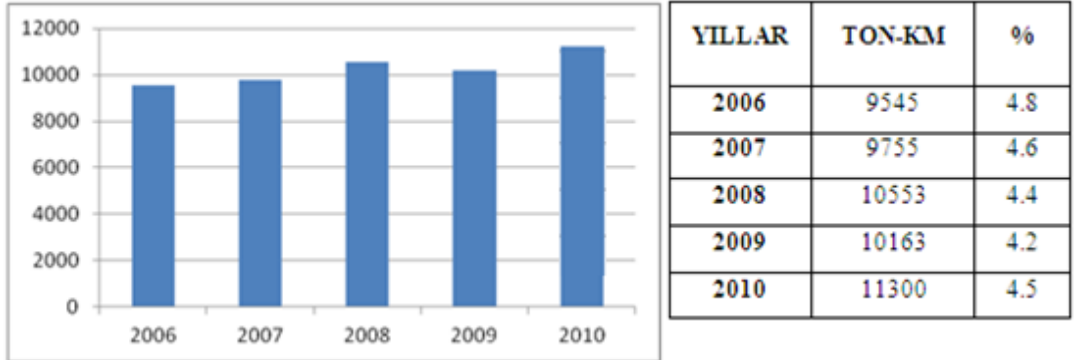
	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
<b>TCDD</b>	31 446	30 658	29 739	28 542	28 771
<b>BAĞLI ORTAKLAR</b>	5 274	4 483	4 259	4 100	4 031
<b>TOPLAM</b>	<b>36 720</b>	<b>35 141</b>	<b>33 998</b>	<b>32 642</b>	<b>32 802</b>

- TCDD'nin yolcu ve yük taşımacılığının yıllara göre değişimi:

**Çizelge 3.9. Yıllara Göre Yolcu Taşımaları (milyon), TCDD İstatistik Yıllıkları**



**Çizelge 3.10. Yıllara Göre Yük Taşımaları (milyon), TCDD İstatistik Yıllıkları**



- Garlar ve istasyonlarda bakım ve onarıma gidilmiştir. En çok trafik kazalarına neden olan hemzemin geçitlerde iyileştirmeler yapılmıştır. 2003-2011 yılları arasında 3350 geçitte iyileştirme yapılmış, 500 adet hemzemin geçit ise kontrollü hale getirilmiştir. Böylelikle hemzemin geçitlerdeki yıllık ortalama 361 olan kaza sayısı 118lere kadar inmiştir ve iyileştirme faaliyetleri sürmektedir

- Çeken ve çekilen araç filoları yenilenmiştir.



Şekil 3.9. Çeken ve Çekilen Araç Filoları

- Şehirler içi ulaşımda ve yakın mesafe ulaşımda hızlı olduğu için tercih edilen raybüs, banliyö tarzı trenlerin sayısı artırılmıştır.

Uzunluk : 36 km  
Kayaş-Ankara : 12 km  
Ankara-Sincan : 24 km  
Proje Hızı: 160 km/s

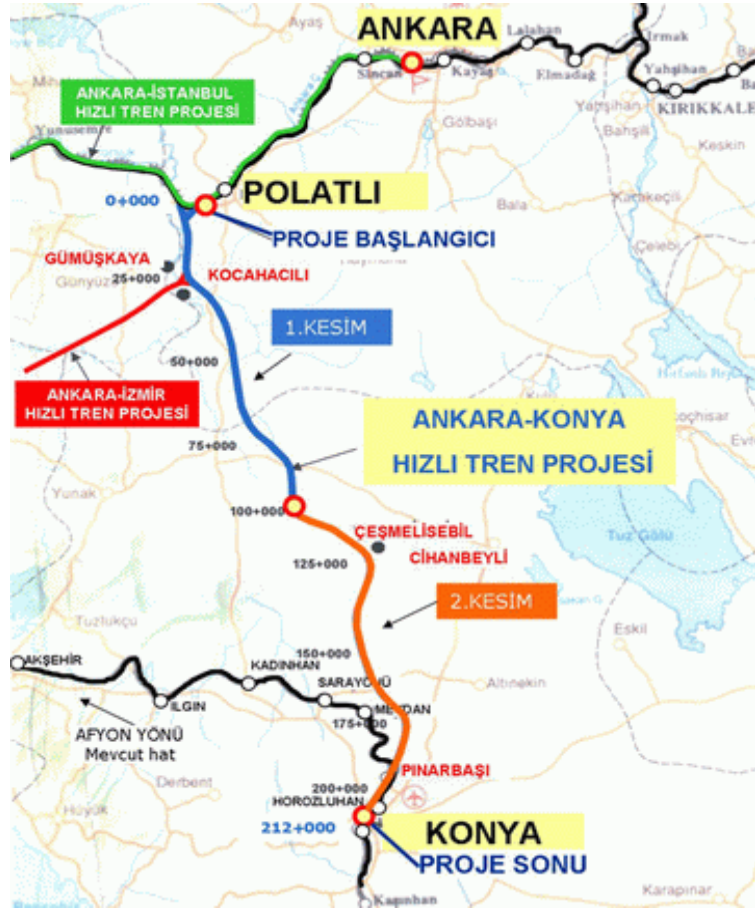


Şekil 3.10. Kayaş-Sincan Hızlı Tren Hattı

### 3.5. TCDD'nin Hedefleri

#### YHT projesi ( Yüksek Hızlı Tren) :

Eskişehir-Ankara ve Konya-Ankara arası YHT projesi hayata geçirilmiş ve ilk denemede yaşanan kötü sonuç bu sefer kendini göstermemiştir. Polatlı'dan başlayarak güneye doğru inen Ankara-Konya Yüksek Hızlı Tren Projesi ile 250 km /saat hızlı, çift hatlı, yeni demiryolu inşa edilmiştir. Ankara-Konya YHT Projesi Şekil 3.11'de verilmiştir. Toplam 306 km'lik hattın, 94 km'lik kesimi Ankara - İstanbul Hızlı Tren Projesi içinde yer almaktadır.



Şekil 3.11. Ankara-Konya YHT Projesi

İnşaatı iki aşamalı gerçekleştirilen projenin sanat yapıları; 7 köprü, 25 karayolu üstgeçidi, 58 karayolu altgeçidi, 133 menfez ve 2030 metrelik 1 tünel, ayrıca demiryoluna paralel emniyet amaçlı karayoludur. Ankara-İstanbul, Ankara-İzmir Yüksek Hızlı Tren Projeleriyle entegre olmuştur.

Diğer Hedefler:

- ✓ Ankara-İstanbul, Ankara-İzmir ve Ankara-Sivas hızlı demiryolu projesine devam edilmektedir.
- ✓ Ülkemizde hızlı tren seti, makası, traversi üretilmesi için Adapazarı'nda hızlı tren fabrikası kurulmaktadır. Böylece demiryolu sanayisi ile birlikte demiryolu yan sanayisi, demiryolu ulaşımı gelişecektir.
- ✓ Suriye demiryolları ile ortak iştirak kurulması ve gelişmiş ülkelerdeki teknolojiyi ülkemize getirmek için çaba gösterirken, komşu ülkelerin demiryolu sistemini geliştirmesi için işbirliği yapılması amacıyla Suriye ile ortak fabrika kurmak için çalışmalar sürmektedir.
- ✓ Yol yenileme en önemli konulardan birisidir. Bu konuda ray teminindeki sıkıntılar nedeniyle istenilen hedeflere ulaşılamamıştır.
- ✓ Trenler normal seyrine ulaşırken, hat kapasitesi artacaktır. 80 km çift hattın ve 400 km tek hattın sinyalizasyonuna telekomünikasyonuna başlanması bu tesislerin tren trafiğini artırmakta, zaman tasarrufu sağlamakta, personel daha rahat çalışmaktadır.
- ✓ Dünyada tüm ulaşım sistemlerinin entegre edildiği lojistik köyler kurulmaktadır. Bu sistemle yük taşımacılığı daha da artacaktır.
- ✓ Egeray işletmeye açılmakta, Marmaray ve Başkent ray projesi tamamlanmaktadır.

- ✓ Kentlerin toplu taşımacılık sorunu ancak raylı sistemle çözüme kavuşabilir. İzmir, İstanbul ve Ankara banliyö hatlarının metro sistemine dönüşme çalışmaları sürmektedir.
- ✓ Menemen-Manisa, Cumaovası-Torbalı hat kesimlerinin elektrifikasyon ve sinyalizasyon ihalelerinin tamamlanarak yapımına başlanılmış, Tecer - Kangal hat kesiminin yapımına devam edilmektedir.
- ✓ Mevcut araç parkı % 10 oranında yenilenmektedir.
- ✓ Yük taşımacılığının artırılması için 50 km iltisak hattı yapılmaktadır.
- ✓ Taşınmaz mallardan elde edilen gelirin % 100 artırılması hedeflenmektedir.
- ✓ TCDD tüm varlıklarının elektronik ortamda yönetilmesi hedeflenmektedir.
- ✓ Çalışanların istekleri doğrultusunda motivasyonlarını artıracak ve müşterilerin istekleri doğrultusunda müşteri memnuniyetini artıracak 50 projenin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.
- ✓ Kars-Tiflis-Bakü Demiryolu (KATB) Projesiyle Türkiye-Gürcistan-Azerbaycan arasında, Batum-Hopa Demiryolu Projesiyle Türkiye-Gürcistan-Rusya Federasyonu arasında, Samsun-Poti hattıyla Türkiye-Gürcistan arasında yük taşımacılığına olanak sağlayacak alternatif ağların kurulması, çözüm yolları olarak gündeme gelmiştir.
- ✓ Tüm garların kentle bütünleştirilmesi için gerekli çalışmaların sonuçlandırılması ve 16 garın imar planlarının tamamlanması, Üniversite ve UIC işbirliği ile 2. Uluslararası Demiryolu Sempozyumu düzenlenmesi gibi hedefler mevcuttur.

#### 4. DEMİRYOLU ÇİZELGELEME

Çoğu ülkede demiryolu, taşıma sisteminin önemli bir bölümünü temsil eder. Demiryolu ulaşımı artan trafik kirliliğinin azaltılması yönünde kullanılmaktadır. Aynı zamanda mevcut demiryolu sistemlerinin başlıca darboğazları üzerinde durulmaktadır. Mevcut kapasitenin nasıl kullanılacağı önemli bir konudur. Tren çizelgeleme, trenlerin rotaları ve istasyonlara varış- kalkış saatlerini içerir.

Bir demiryolu sisteminde, trenler için raylar ve ayrılan zaman dilimleri trenlerin yönlendirmesi ve ataması ile ilgilidir. Bu önemli çalışma, geçmişte geleneksel olarak elle yapılmasına karşın günümüzde matematiksel modeller ve algoritmalara dayalı otomatik yazılımlar, doğru hareketi vermektedir.

Raylı ulaşım, modellenmiş ve çözülebilecek sorunlar açısından çok zengin matematiksel optimizasyon teknikleri kullanır. Demiryolu işletim politikasının en önemli parçası olan tren çizelgeleme probleminin, demiryolu araçlarının ve mürettebatın üzerinde önemli etkisi vardır. Tren çizelgeleme problemi, parça kapasitelerini ihlal etmeden ve bazı operasyonel kısıtlamalar karşısında tren dizileri için periyodik bir takvim belirlemesi amacı taşır.

Demiryolu çizelgeleme, demiryolu sistemleri işletim ve yönetimi konusunda önemli rol oynamaktadır. Güvenlik ve verimliliğin sağlanması demiryolu faaliyetlerinin önceden planlanmasına bağlıdır. Bu sebeple, vagonlar ve mürettebat gibi mevcut kaynakların tahmin edilen gelirler ve maliyetler ışığında planları yapıp zaman çizelgelerinin hazırlanması gerekir.

Demiryolu çizelgeleme problemleri NP-hard kategorisinde kombinatoriyal optimizasyon problemi olduğundan; bilgisayar temelli karar destek sistemlerinin kullanımıyla daha kaliteli çizelgeler üretilmesinin ve böylece demiryolu işletiminin hizmet düzeyinin ve ekonomik verimliliğinin arttırılabilmesinin mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Bu gereklilikten dolayı, bilgisayar destekli çizelgeleme modellerinin geliştirilmesi konusunda çok sayıda kaynak bulunmaktadır.

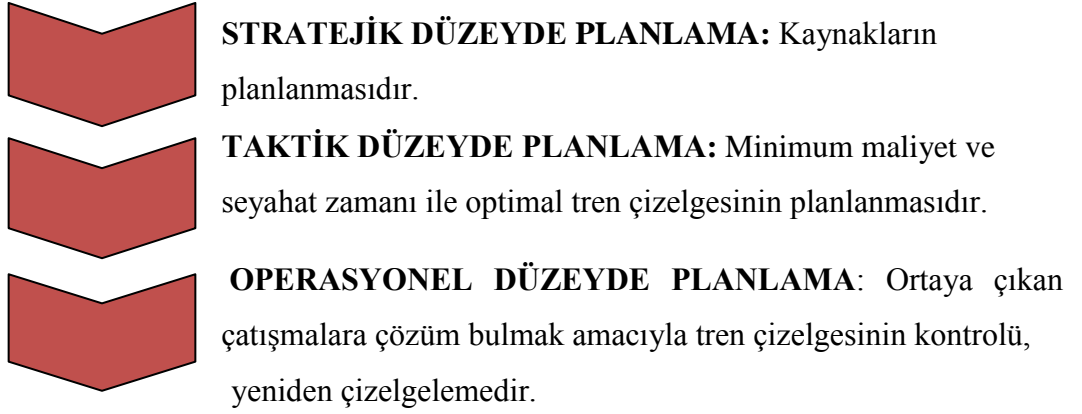
Tren çizelgeleme, stratejik düzeyde planlama, taktik düzeyde planlama ve operasyonel düzeyde planlama olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Stratejik düzeyde planlama, kaynakların planlanması olup diğerlerine veri oluşturmaktadır. Taktik düzeyde çizelgeleme, dönemsel olarak hazırlanan ve mümkün olduğunca sapmalardan kaçınılan işletim planıdır. Operasyonel düzeyde çizelgeleme ise, gerçek işletim sırasındaki gecikmeler ve aksaklıklar sonucu işletim planından sapmalar nedeniyle yeniden işletim planı hazırlanmasıdır. Çizelgeleme düzeylerinin uygun oldukları problemler, zaman aralıkları ve hedefleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1. Çizelgeleme Düzeyleri**

<b>Çizelgeleme Düzeyleri</b>	<b>Uygun problemler</b>	<b>Zaman aralıkları</b>	<b>Hedefi</b>
<b>Stratejik</b>	Hat ve personel planlaması	5-15 yıl	Kaynak planlama
<b>Taktik</b>	Genel tren çizelgeleme	1-5 yıl	Kaynakların dağılımı
<b>Operasyonel</b>	Tren çizelgeleme detayları	24 saat- 1 yıl	Günlük kararlar



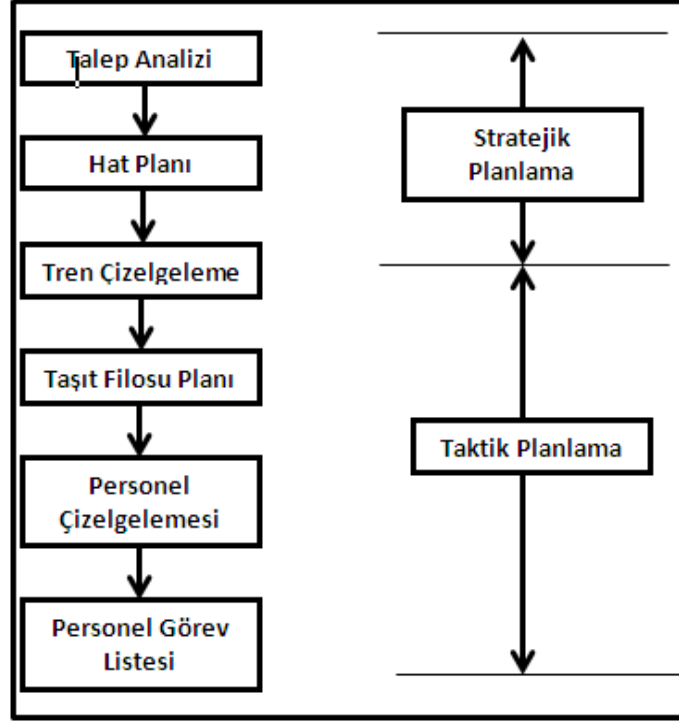
Şekil 4.1’de planlama seviyeleri hiyerarşik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 4.1.** Planlama Seviyeleri Hiyerarşisi

#### **4.1. Taktik Düzeyde Tren Çizelgeleme**

Ghoseiri vd. (2004), demiryolu işletimindeki hizmet hiyerarşisini, Şekil 4.2’deki gibi tanımlamışlardır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, talep analizi ve hat planının kısıtlarına göre yolcu ya da yük taşıma planı belirlenmektedir. Taşıma planı ve taktik düzeyde çizelgeleme, demiryolu taşımacılığındaki tren seyrüseferinin taktik planlama öğelerini oluşturmaktadır. Tren çizelgelemesi ve personel çizelgelemesi de taktik planlama öğeleri arasında yer almaktadır.



**Şekil 4.2.** Demiryolu İşletimi Hizmet Hiyerarşisi (Akçay, 2009)

Taktik çizelge aşağıdaki bileşenlerle oluşur:

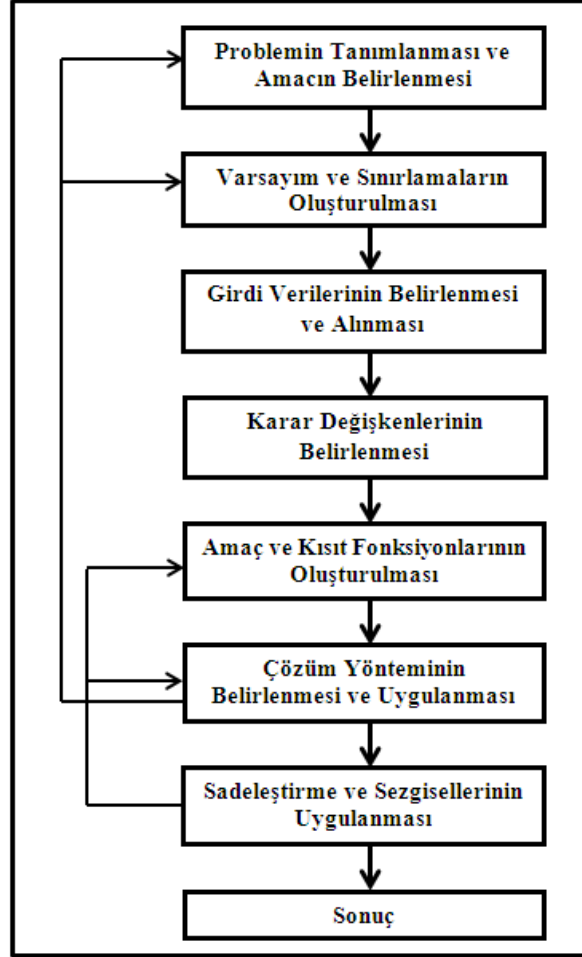
- Tren tipleri,
- Haftanın hangi günlerinde sefer yapılacağı,
- Trenlerin hangi istasyonlar arasında çalışacağı,
- Trenlerin istasyonlara varış-kalkış saatleri ve durmadığı istasyonlardan durmadan geçiş saatleri.

#### **4.1.1. Genel Taktik Çizelgeleme Modeli**

Taktik çizelgeleme ile ilgili bilgisayar uygulamaları, genellikle optimizasyon modellerinden faydalanmaktadır. Bu modellerden bazıları, yalnızca taktik çizelgeleme, bir kısmı ise hem taktik hem operasyonel çizelgeleme için kullanılmaya uygun esnekliği göstermektedir.

Tüm optimizasyon modellerinde olduğu gibi bu modellerde de girdiler, karar değişkenleri, sabitler, amaç fonksiyonu ve kısıt fonksiyonları bulunmaktadır.

Modellerin genel bir çerçeve akış şeması, Şekil 4.3’de gösterilmektedir.



**Şekil 4.3.** Taktik Çizelgeleme Modellerinin Çerçeve Akış Şeması (Akçay, 2009)

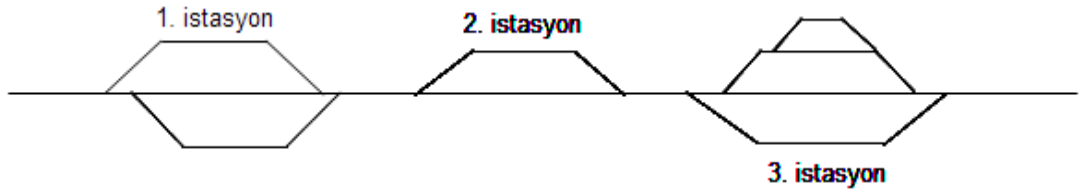
Şekil 4.3’deki akış şemasının geri beslemeye yönelik yapısı modelleme çalışmasında gerçekleşmek zorunda değildir.

Problemin amacı ve tanımlanması ögesinde hangi özelliğe çok önem verileceği, hangilerine az önem verileceği, hangilerinin tamamen kapsam dışı tutulacağı konularına karar verilir. Varsayım ve kısıtlamaların belirlenmesi ise, probleme ilişkin

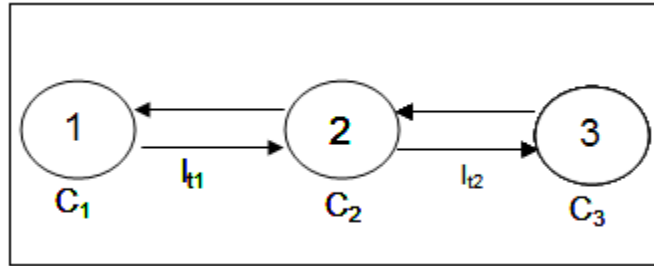
matematiksel ilişkilerin hangilerinin dikkate alınacağı, hangilerinin ise ihmal edileceği ile ilgili konudur. Problemi sadeleştirmek amacıyla, çözüm üzerinde etkisinin az olduğu düşünülen ilişkiler ihmal edilebilir.

#### 4.1.2. Çerçeve Modelin Grafik Gösterimi

Ağ modellerinde olduğu gibi, ele alınan demiryolu şebekesi üzerindeki bütün önemli uğrak noktalar düğüm noktası, düğüm noktalarını birbirine bağlayan yollar ise yönlü bağlantılar olarak ifade edilmektedir. Genel çerçevede, grafik gösterimlerin iş akış çizelgeleme modeliyle benzerliğe sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.4’de tek hatlı bir demiryolu kesimi ve Şekil 4.5’de de bu hattın genel grafik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.4. Tek Hatlı Bir Demiryolu Kesimi



Şekil 4.5. Genel Grafik Gösterimi

## 4.2. Operasyonel Düzeyde Çizelgeleme

Demiryolu şebekesindeki tren işletimi temel olarak taktik düzeyde sefer çizelgelemesine dayanmaktadır. Ancak, günlük işleyiş sırasında zaman zaman trenlerde gecikmeler meydana gelmesi, sistemin taktik çizelgeden sapması anlamına gelir. Bu sebeplerden bazıları şunlardır:

- Geçici hız sınırlamaları
- Arıza ve kazalar
- Ani personel eksikliği
- Yol kapanması
- Seyirden kayıp
- Uzatılmış istasyon duruşu

Bu sebeplerden kaynaklanan küçük gecikmeler bile birçok yeni çatışmanın meydana gelmesine yol açabilecektir (Mazzarello ve Ottaviani, 2007). Bu çatışmalar 4 grupta toplanabilir:

- Buluşma Çatışmaları: Bir hat üzerinde zıt yönlerde ilerlemekte olan trenler arasında meydana gelen çatışma türüdür.
- İzleme - Öne Geçme Çatışmaları: Aynı hat üzerinde aynı yönde ilerleyen trenler arasındaki çatışmalardır. İzleme çatışmaları, birbirini izleyen trenler arasında tren hızlarına göre bir ya da birden fazla blok uzunluğu ya da en küçük izleme uzaklığı bırakılması kuralı nedeniyle meydana gelirler. Öne geçme çatışmaları ise, hızlı bir trenin yavaş bir trenin önüne geçebilmesi işleminin ancak yavaş olan treni istasyonlardan birinde durdurarak yapılabilmesi nedeniyle meydana gelen çatışmalardır.
- Kavşak Çatışmaları: Demiryollarının kavşak noktalarında meydana gelebilecek olan çatışmalar, yeniden çizelgeleme faaliyetlerinde üzerinde durulması gereken çatışmalardandır.

- İstasyon Peron Çatışmaları: Yolcu trenlerinin yolcu indirme/bindirme, yük trenlerinin ise yükleme/boşaltma işlemleri için tasarlanan bölümlerde meydana gelen çatışmalardır.

Bu durumlarda yapılan yeni çizelgelemeye operasyonel düzeyde çizelgeleme denir. Operasyonel çizelgeleme, taktik çizelgelemeden sapmış bir demiryolu sistemindeki işleyişi yeniden çatışmasız bir hale getirirken, gecikmeleri de mümkün olan en düşük düzeyde tutabilmek için yapılan etkinliklerin bütünü olarak tanımlanmaktadır.

### 4.3. Matematiksel Model

Gecikmeleri azaltmak amacıyla kullanılan 0-1 tamsayılı programlama modeli verilmiştir (Tren Çizelgeleme Problemi, Aydın, 2009).

Bu modelde;

$i$	Tren indeksi
$j$	Tren indeksi
$m$	Tren indeksi
$t_i$	Tren indeksi
$I$	İstasyon indeksi
$C_i$	İstasyon kapasitesi
$s$	İstasyon indeksi
$E$	Doğuya giden trenlerin kümesi
$W$	Batıya giden trenlerin kümesi
$S$	İstasyonlar kümesi
$a_{i,s}$	$i$ numaralı trenin $s$ numaralı istasyona varış zamanı
$d_{i,s}$	$i$ numaralı trenin $s$ numaralı istasyondan kalkış zamanı
$t_{i,s,s+1}$	$i$ numaralı doğu yönlü trenin $s$ numaralı istasyon ile $s + 1$ numaralı istasyon arasındaki seyir süresi.
$t_{j,s+1,s}$	$j$ numaralı batı yönlü trenin $s + 1$ numaralı istasyon ile $s$ numaralı istasyon arasındaki seyir süresi.

$k_i$	$i$ numaralı doğu yönlü trenin 1 numaralı istasyondan sisteme giriş zamanı
$k_j$	$j$ numaralı batı yönlü trenin $s$ numaralı istasyondan sisteme giriş zamanı
$v_i$	$i$ numaralı doğu yönlü trenin $s$ numaralı istasyon için planlanmış varış zamanı
$v_j$	$j$ numaralı batı yönlü trenin 1 numaralı istasyon için planlanmış varış zamanı
$e_i$	$i$ numaralı doğu yönlü trenin $s$ numaralı istasyona ulaştığındaki gecikmesi
$e_j$	$j$ numaralı batı yönlü trenin 1 numaralı istasyona ulaştığındaki gecikmesi
$c_{i,s,j}$	$i$ numaralı doğu yönlü tren $j$ numaralı batı yönlü trenden önce $s$ ve $s + 1$ numaralı istasyonlar arasındaki hat kesimine giriş yapıyorsa 1, aksi takdirde 0 değerini alan bir 0 – 1 değişkeni
$b_{j,s,m}$	$j$ numaralı batı yönlü tren $m$ numaralı batı yönlü trenden ( $j < m$ ) önce $s$ ve $s + 1$ numaralı istasyonlar arasındaki hat kesimine giriş yapıyorsa 1, aksi takdirde 0 değerini alan bir 0 – 1 değişkeni

olarak tanımlanmıştır.

Buna göre, tam sayılı programlama modeli aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

$$\text{Min } \sum e_i + \sum e_j \quad (4.1)$$

aşağıdaki kısıtlar altında;

Başlangıç istasyonundan kalkış kısıtları:

$$d_{i,1} \geq k_i, \quad i \in E, \quad 1 \in S \quad (4.2)$$

$$d_{j,s} \geq k_j, \quad j \in W, \quad s \in S \quad (4.3)$$

Son istasyona varış ve gecikme tanımı kısıtları:

$$a_{i,s} - e_i = v_i ; i \in E, s \in S \quad (4.4)$$

$$a_{j,1} - e_j = v_j ; j \in W, 1 \in S \quad (4.5)$$

Ardışık istasyonlar arasındaki seyir süresi kısıtları:

$$a_{i,s+1} - d_{i,s} = t_{i,s,s+1}, i \in E, s \in \{1, \dots, S\} \quad (4.6)$$

$$a_{j,s} - d_{j,s+1} = t_{j,s+1,s}, j \in W, s \in \{1, \dots, S\} \quad (4.7)$$

İstasyonlarda duruş süresi kısıtları:

$$d_{i,s} - a_{i,s} \geq 1, i \in E, s \in \{1, \dots, S-1\} \quad (4.8)$$

$$d_{j,s} - a_{j,s} \geq 1, j \in W, s \in \{2, \dots, S\} \quad (4.9)$$

Buluşma (Karşılaşma) Kısıtları:

$$d_{i,s} - a_{j,s} + 120c_{i,s,j} \geq 2, i \in E, j \in W, s \in \{1, \dots, S-1\} \quad (4.10)$$

$$d_{j,s+1} - a_{i,s+1} - 120c_{i,s,j} \geq -118, i \in E, j \in W, s \in \{1, \dots, S\} \quad (4.11)$$

İzleme ve öne geçme kısıtları - kalkışlar için:

$$d_{j,s+1} - d_{m,s+1} + 120b_{j,s,l} \geq 5, j, m \in W, s \in \{1, \dots, S-1\}, j < m \quad (4.12)$$

$$d_{l,s+1} - d_{j,s+1} - 120b_{j,s,l} \geq -115, j, m \in W, s \in \{1, \dots, S-1\}, j < m \quad (4.13)$$

İzleme ve öne geçme kısıtları - varışlar için:

$$a_{j,s} - a_{m,s} + 120b_{j,s,m} \geq 2, j, m \in W, s \in \{1, \dots, S-1\}, j < m \quad (4.14)$$

$$a_{m,s} - a_{j,s} - 120b_{j,s,m} \geq -118, j, m \in W, s \in \{1, \dots, S-1\}, j < m \quad (4.15)$$



Mükerrer buluşmayı ve öne geçmeyi yasaklama kısıtları:

$$c_{i,s,j} - c_{i,s+1,j} \geq 0, i \in E, j \in W, s \in \{1, \dots, S-1\} \quad (4.16)$$

$$b_{j,s,m} - b_{j,s-1,m} \geq 0, j, m \in W, s \in \{2, \dots, S\}, j < m \quad (4.17)$$

Pozitiflik ve tamsayı kısıtları:

$$\text{Tüm değişkenler} \geq 0 \quad (4.18)$$

$$c_{i,s,j}, b_{j,s,m} \in \{0,1\}, i \in E, s \in S, j \in W, \quad (4.19)$$

Bu modelde;

(4.1) amaç fonksiyonudur ve bu amaç fonksiyonuyla sistemdeki tüm trenlerin son varış noktalarındaki gecikmelerinin toplamı en aza indirilmek istenmektedir.

(4.2) ve (4.3), trenlerin hatta (kontrol bölgesine) giriş zamanlarını belirtmektedirler. Bu kısıtlar uyarınca trenler, başlangıç istasyonlarından belirtilen zamandan önce hareket edemezler. Ancak çatışma çözümleri nedeniyle başlangıç istasyonlarında bekletilmeleri söz konusu olabilir.

(4.4) ve (4.5), her tren için, amaç fonksiyonunda yer alan gecikme değerini varış istasyonuna gerçek varış zamanı ile planlanan varış zamanı arasındaki farka eşitleyen kısıt fonksiyonudur. Bu kısıt fonksiyonları, doğrusal karışık tamsayı programlarındaki tüm değişkenlerin varsayılan özelliği olan pozitiflik ile birleştiğinde, trenlerin son varış istasyonlarına planlanan varış zamanlarına göre daha erken varmalarını da engelleyici bir nitelik kazanmaktadır.

(4.6) ve (4.7), trenlerin ardışık istasyonlar arası seyir sürelerini ilgili değerlere eşitlemek için kullanılan kısıt fonksiyonlarıdır.

(4.8) ve (4.9), bir trenin bir istasyondan kalkışının o istasyona varışından önce olmamasını, eğer o istasyonda planlanmış duruş varsa, izin verilen en küçük duruş

süresi kadar durmasını garanti eden kısıt fonksiyonlarıdır; doğuya ve batıya giden trenler için ayrı ayrı tanımlanmışlardır.

(4.10) ve (4.11), bir buluşma istasyonuna bir trenin varışından en az 2 dakika sonra aynı istasyondan zıt yönlü bir başka trenin ayrılabilmesi koşulunu getiren kısıt fonksiyonlarıdır. İlgili 0 – 1 değişkeni, ilgili istasyon ile başlayan hat kesimine hangi trenin önce gireceğini belirlemektedir. Kısıtların ikisi de hiçbir zaman ihlal edilmeyecek olmakla birlikte, ilgili hat kesimine batı yönlü tren önce giriyorsa (4.10), doğu yönlü tren önce giriyorsa (4.11) aktif olacaktır.

(4.12) ve (4.13), bir istasyondan bir trenin hareketinden en az 5 dakika sonra aynı istasyondan aynı yöne giden bir başka trenin hareket edebilmesi koşulunu getiren kısıt fonksiyonlardır. İlgili 0 – 1 değişkeni, ilgili istasyon ile başlayan hat kesimine hangi trenin önce gireceğini belirlemektedir. Kısıtların hiçbirisi hiçbir zaman ihlal edilmeyecek olmakla birlikte, ilgili hat kesimine büyük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq 5$ , küçük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq -115$  şeklindeki kısıtlar aktif olacaktır.

(4.14) ve (4.15) bir istasyona bir trenin varışından en az 2 dakika sonra aynı istasyona aynı yönde giden bir trenin varış yapabilmesi koşulunu getiren kısıt fonksiyonlardır. İlgili 0 – 1 değişkeni, ilgili istasyon ile başlayan hat kesimine hangi trenin önce gireceğini belirlemektedir. Kısıtların hiçbirisi, hiçbir zaman ihlal edilmeyecek olmakla birlikte ilgili hat kesimine büyük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq 2$ , küçük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq -118$  şeklindeki kısıtlar aktif olacaktır.

(4.16) ve (4.17), zıt yönlerde ilerleyen trenlerin yalnızca 1 kere buluşabilmesini ve aynı yönlerde ilerleyen trenlerin arasında yalnızca 1 kere öne geçme olabilmelerini garanti eden kısıtlardır. Bu kısıtlar, uygun (feasible) dal sayısını azaltarak çözüm süresini kısaltma amacıyla yazılmıştır. Bu kısıtlar olmadan da model aynı çözümü üretir; ancak çözüm süresi daha uzun olur.

(4.18), karışık tamsayı programlama modellerinin değişmez özelliği olan tüm değişkenlerin 0'dan büyük ya da 0'a eşit olmasını garanti eden kısıt fonksiyonudur.

(4.19), trenlerin istasyon aralığındaki izleme sırası değişkenlerini 0 ya da 1 olmaya zorlayan kısıt fonksiyonudur.

Beşinci bölümde en çok görülen çatışma türü olması sebebiyle buluşma çatışmaları ve izleme-öne geçme çatışmaları ile ilgili uygulamalara yer verilmiştir.

## 5. TREN ÇİZELGELEME PROBLEMİ HAKKINDA UYGULAMALAR

### 5.1. Üç Tren-Beş İstasyonlu Tek Hatlı Demiryolu Uygulaması

#### 5.1.1. Problemin Tanımlanması

Bu sayısal uygulama için, matematiksel modeli deneme amaçlı hayali demiryolu hattı üretilmiştir. Bu hat, 5 istasyonlu tek yönlü bir demiryolu hattıdır. İstasyonlara 1'den 5'e kadar numara verilmiştir. Trenlerin kalkış ve varış noktaları 1 ve 5 numaralı istasyonlardır. 1 numaralı istasyondan 5 numaralı istasyona doğru seyretilmekte olan trenler doğuya giden trenler, 5 numaralı istasyondan 1 numaralı istasyona doğru seyretilmekte olan trenler ise batıya giden trenler olarak sınıflandırılmıştır.

Bu güzergahta haftanın 7 günü 3 adet tren birlikte çalışmaktadır. İstasyonlar arası bağlantı yolları tek hatlı olduğu için, birbirine zıt yönlerde ilerleyen trenlerin istasyonlarda buluşma yapması gerekmektedir. Toplam bekleme süresini minimize etmek için kalkış saatleri ayarlanmasıyla trenlerin birbirini beklemelerinden oluşan zaman kayıplarının enazlanmasına çalışılacaktır.

#### 5.1.2. Veriler

Bu hatta, 3 tren ve 5 istasyon bulunmaktadır. Bu hatta çalışan trenler, sayısal uygulamada; 1 numaralı istasyondan 5 numaralı istasyona giden (1) nolu tren, doğuya giden tren; 5 numaralı istasyondan 1 numaralı istasyona doğru giden (2) ve (3) nolu trenler ise batıya giden trenler olarak sınıflandırılmıştır. Çizelge 5.1'de trenlerin istasyonlar arası seyir süreleri verilmiştir. Bu seyir süreleri hayali olarak üretilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Ardışık İstasyonlar Arası Seyir Süreleri (dakika) (1. uygulama)

<b>İSTASYON ARALIĞI</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>
<b>1-2</b>	48	45	60
<b>2-3</b>	38	40	40
<b>3-4</b>	50	47	50
<b>4-5</b>	54	71	64
<b>TOPLAM</b>	<b>190</b>	<b>203</b>	<b>214</b>

Çizelge 5.1'deki her hücrede bulunan sayısal değer, ilgili trenin, hücrenin bulunduğu satırda numaraları belirtilen istasyonlar arasındaki seyir sürelerini ifade etmektedir. Doğuya giden tren, 1 numaralı istasyondan hareket etmekte ve 5 numaralı istasyonda yolculuğunu sonlandırmaktadır. Batıya giden trenler ise 5 numaralı istasyondan hareket etmekte ve 1 numaralı istasyonda yolculuğunu sonlandırmaktadır.

Demiryolu hattı, aynı istikamette ve ters istikamette seyir halinde olan trenlerin aynı parça üzerinde yol aldıkları tek hatlı demiryolu hattıdır.

İstasyonlar arası bağlantı yolları tek hatlı olduğu için, birbirine zıt yönlerde ilerleyen trenlerin istasyonlarda buluşma yapması gerekmektedir. Benzer şekilde, bir trenin aynı yönde ilerleyen ve kendisinden daha yavaş olan bir trenin önüne geçebilmesi ancak istasyonlardan bir tanesinde yavaş trenin hızlı trene yol vermesiyle mümkün olacaktır. Trenlerin başlangıç istasyonlarından kalkış zamanları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

**Çizelge 5.2.** Trenlerin Başlangıç İstasyonlarından Kalkış Zamanları (1. uygulama)

<b>Tren No.</b>	<b>Kalkış İstasyonu</b>	<b>Kalkış Zamanı</b>
(1)	1	21.22
(2)	5	21.46
(3)	5	01.13

Trenlerin başlangıç istasyonlarından kalkış zamanları, modelde sisteme giriş zamanları olarak girilecektir ve çatışmalar çözülerek trenlerin son istasyonlarına vardıklarında gecikmeleri toplamı enküçüklenmeye çalışılacaktır. Bu bakımdan ele alınan problem, operasyonel çizelgeleme problemidir.

### 5.1.3. Varsayımlar ve Kısıtlamalar

Bütün ara istasyonlarda yeterli sayıda barınma yeri bulunmaktadır. Trenler için kalkış-varış süreleri esasen istasyon uzunluğuna, tren uzunluğuna, trenlerin hızlanma ve frenleme yetilerine, istasyon bölgesindeki hattın eğim, kurp gibi hat direnimlerine etki edecek geometrik özelliklerine ve trafik kontrol (sinyalizasyon) sisteminin özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir.

Zıt yönlerde ilerleyen trenler için varış – kalkış 2 dakika olarak belirlenmiştir ve istasyonlarda yolcu indirme-bindirme için bekleme süresi, her istasyonda 1 dk'lık planlanmış duruş süresi olmak üzere 3 ara istasyon için 3 dk. ( $3 \times 1 = 3$ ) olarak ayarlanmıştır.

Çizelge 5.3'de trenlerin planlanmış duruş süreleri ve planlanmış seyir süreleri verilmiştir.

**Çizelge 5.3.** Trenlerin Planlanmış Duruş Süreleri ve Planlanmış Seyir Süreleri  
(1. uygulama)

Tren No	Planlanmış duruş süresi (dk.)	Planlanmış seyir süreleri (dk.)
(1)	3	193
(2)	3	206
(3)	3	217

#### 5.1.4. Hesaplamaya Dayalı Sonuçlar

Problemin çözümünde, doğrusal ve tamsayı programlarının çözümü için geliştirilmiş bir paket program olan Lindo 6.1 kullanılmıştır. Sonuç olarak, hatta çalışan trenlerin birbirini beklemelerinden oluşan gecikme süreleri toplamının 42 dk. azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlar, Çizelge 5.4’de Mevcut Durum Çizelgesi ve Çizelge 5.5’de Optimal Çizelge olarak verilmiştir.

Çizelge 5.4. Mevcut Durum Çizelgesi (1. uygulama)

İSTASYONLAR	(1)		(2)		(3)	
	Varış	Kalkış	Varış	Kalkış	Varış	Kalkış
1	-	21.22	01.56	-	04.50	-
2	22.10	22.11	01.10	01.11	03.49	03.50
3	22.49	22.50	00.29	00.30	03.08	03.09
4	23.40	23.44	22.57	23.42	02.17	02.18
5	00.38	-	-	21.46	-	01.13

Çizelge 5.5. Optimal Çizelge (1. uygulama)

İSTASYONLAR	(1)		(2)		(3)	
	Varış	Kalkış	Varış	Kalkış	Varış	Kalkış
1	-	21.22	01.59	-	02.14	-
2	22.10	22.11	01.13	01.14	01.13	01.14
3	22.49	22.50	00.33	00.34	00.32	00.33
4	23.40	23.43	23.41	23.45	23.41	23.42
5	00.37	-	-	22.30	-	22.37

Çizelge 5.4. Mevcut Durum Çizelgesindeki karşılıklı istasyonlardan kalkan (1) ve (2) nolu trenlerin 3-4 numaralı istasyonlar arasında karşılaşacakları ve bunun önlenmesi için (2) nolu trenin, 4 numaralı istasyonda 45 dk. boyunca (1) nolu trenin geçişini beklemesi gerektiği anlaşılmaktadır ve (2) numaralı tren, 4 numaralı istasyondan kalktıktan sonra, ters yönde giden trenlerin birinin kalkmasından sonra diğerinin 2 dk. sonra kalkması kısıtı gereği, (1) numaralı tren 2 dk. bekledikten sonra kalkmaktadır. Bu durumda, hattaki toplam bekleme süresi 47 dk. olmaktadır.

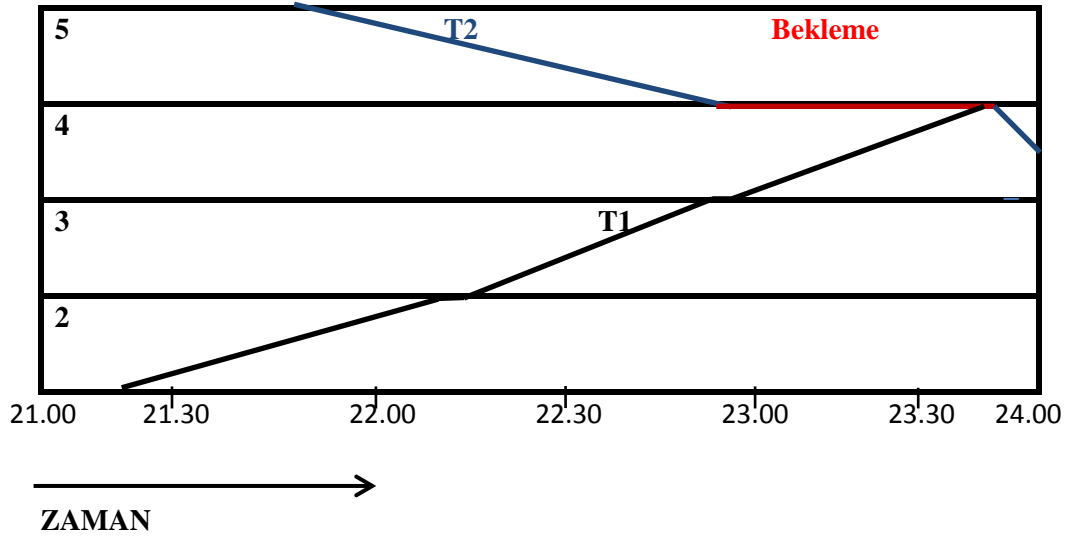
Matematiksel modelin çözümü sonucunda oluşturulan optimal çizelgede ise (2) nolu trenin kalkış saati değiştirilmesi ile (1) ve (2) numaralı trenlerin aynı zamanda 4 numaralı istasyonda karşılaşmaları sağlanarak birbirlerini beklemelerinden oluşan gecikme süresi, sadece ters yönde giden trenlerin birinin kalkmasından sonra diğerinin 2 dk. sonra kalkması kısıtı gereği 5 dk'ya indirilerek tüm hat boyunca 42 dk'lık iyileşme sağlandığı görülmektedir.

Trenlerin mevcut durumdaki çizelgeye ve optimal çizelgeye göre birbirlerini bekleme süreleri Şekil 5.1' de diyagram olarak gösterilmiştir. Siyah çizgi, T1, (1) numaralı trenin hareketini, mavi çizgi, T2, (2) numaralı trenin hareketini ifade etmektedir. Kırmızı ile gösterilen çizgi ise trenlerin birbirinin geçişi için bekledikleri süreyi ifade etmektedir. 1. diyagramda bu süre 47 dk'ya karşılık gelirken 2. diyagramda 5 dk'ya karşılık gelmektedir.

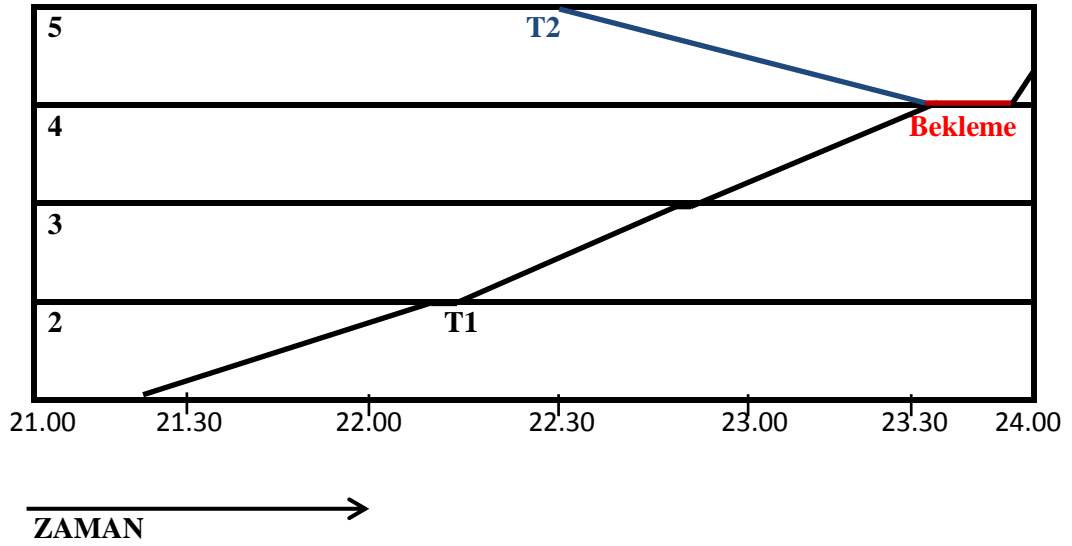
Problem boyutu büyüdükçe modele yapılan eklemelerle daha iyi sonuçlar alınacağı görülmektedir.



**Mevcut Durum:**



**Optimal Durum:**



**Şekil 5.1.** Tren Hareketlerinin Diyagram Gösterimi

### 5.1.5. Üç Tren- Beş İstasyonlu Tek Hatlı Demiryolu Uygulaması Sonucu

Hayali olarak tasarlanmış bu hat, 5 istasyonlu 3 trenin çalıştığı tek hatlı bir güzergahtır. Ancak problem boyutu büyüdükçe, örneğin tren sayısı arttırıldığında aynı yönde giden trenlerin birbirini izleme ve öne geçme kısıtları oluşacaktır. Aynı zamanda zıt yönlü ilerleyen trenler arasında da daha çok karşılaşma durumu var olacağından matematiksel model yetersiz kalacaktır. Tren sayısı arttırıldığında olumlu sonuçlar alınabilmesi için modele;

Doğuya giden trenler için  $k$ : tren indeksi ve

$b_{i,s,k}$ :  $i$  numaralı doğu yönlü tren  $k$  numaralı doğu yönlü trenden ( $i < k$ ) önce  $s$  ve  $s + 1$  numaralı istasyonlar arasındaki hat kesimine giriş yapıyorsa 1, aksi takdirde 0 değerini alan bir 0 – 1 değişkeni eklenmelidir.

Ayrıca, kalkışlar ve varışlar için ayrı ayrı izleme ve öne geçme kısıtları ve mükerrer buluşma ve öne geçmeyi yasaklama kısıtları eklenmelidir. Bu kısıtlar şu şekilde sıralanabilir.

➤ İzleme ve öne geçme kısıtları – kalkışlar için:

$i, k$ : doğu istikametinde hareket eden trenler. (en az 5 dk. arayla aynı yöne doğru kalktıkları varsayılırsa)

Bir istasyondan bir trenin hareketinden en az 5 dakika (varsayılan) sonra aynı istasyondan aynı yöne giden bir başka trenin hareket edebilmesi koşulunu getiren kısıt fonksiyonlardır. İlgili 0 – 1 değişkeni, ilgili istasyon ile başlayan hat kesimine hangi trenin önce gireceğini belirlemektedir. Kısıtların hiçbiri, hiçbir zaman ihlal edilmeyecek olmakla birlikte, ilgili hat kesimine büyük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq 5$ , küçük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq -115$  şeklindeki kısıtlar aktif olacaktır.

- İzleme ve öne geçme kısıtları - varışlar için:

i, k: doğu istikametinde hareket eden trenler. (en az 2 dk. arayla aynı istasyona vardıkları varsayılırsa)

Bir istasyona bir trenin varışından en az 2 dakika sonra aynı istasyona aynı yönde giden bir trenin varış yapabilmesi koşulunu getiren kısıt fonksiyonlardır. İlgili 0 – 1 değişkeni, ilgili istasyon ile başlayan hat kesimine hangi trenin önce gireceğini belirlemektedir. Kısıtların hiçbiri, hiçbir zaman ihlal edilmeyecek olmakla birlikte ilgili hat kesimine büyük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq 2$ , küçük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq -118$  şeklindeki kısıtlar aktif olacaktır.

- Mükerrer öne geçmeyi yasaklama kısıtları:

Aynı yönlerde ilerleyen trenlerin arasında yalnızca 1 kere öne geçme olabilmelerini garanti eder. Bu kısıtlar, uygun (feasible) dal sayısını azaltarak çözüm süresini kısaltma amacıyla yazılmıştır. Bu kısıtlar olmadan da model aynı çözümü üretir; ancak çözüm süresi daha uzun olur.

- Trenlerin istasyon aralığındaki izleme sırası değişkenlerini 0 ya da 1 olmaya zorlayan kısıt fonksiyonu da model sonuna eklenmelidir.

## **5.2. Yeniçubuk-Çetinkaya Demiryolu Hattı Uygulaması**

Kayseri-Kars demiryolu hattının Yeniçubuk-Çetinkaya güzergahının seçilmesinin sebebi; Kayseri-Kars hattının tamamen incelenerek en çok çatışmanın 6 trenin çalıştığı Yeniçubuk-Çetinkaya arasında olduğunun görülmesidir. Çetinkaya istasyonundan sonra tren sayısı ikiye düşmektedir.

### **5.2.1. Problemin Tanımlanması**

Tek hatlı Kayseri-Kars demiryolu hattının Yeniçubuk istasyonundan Çetinkaya istasyonuna kadar olan 16 istasyonlu bölümü incelenmiştir. Bu güzergahta karşılıklı olarak Doğu Ekspresi, Kurtalan (Güney) Ekspres ve 4 Eylül Mavi tren tiplerinin her birinden 2 tane olmak üzere toplam 6 tren birlikte çalışmaktadır. İstasyonlar arası bağlantı yolları tek hatlı olduğu için, birbirine zıt yönlerde ilerleyen trenlerin istasyonlarda buluşma yapması gerekmektedir. Gerçek veriler kullanılarak yapılan bu uygulamada, toplam bekleme süresini minimize etmek için kalkış saatleri ayarlamasıyla trenlerin birbirini beklemelerinden oluşan zaman kayıplarının enazlanmasına çalışılacaktır.

Yeniçubuk-Çetinkaya hattı Şekil 5.2’de verilmiştir.



**Şekil 5.2.** Yenicebuk-Çetinkaya Demiryolu Hattı

### 5.2.2. Veriler

Yenicebuk-Çetinkaya demiryolu hattında 24 saatlik gerçek verilere dayalı planlama yapılmıştır. Bu hatta 6 tren ve 16 istasyon bulunmaktadır. Sayısal uygulamada istasyonlar; 1. Yenicebuk, 2. İhsanlı, 3. Şarkışla, 4. Gücük, 5. Hanlı, 6. Gözmen, 7. Bedirli, 8. Kalın, 9. Yapı, 10. Sivas, 11. Bostankaya, 12. Eskişehir, 13. Karagöl, 14. Bozarmut, 15. Kangal, 16. Çetinkaya olarak numaralandırılmıştır.

Trenlerin kalkış ve varış noktaları 1 ve 16 numaralı istasyonlardır. 1 numaralı istasyondan 16 numaralı istasyona doğru seyretmekte olan trenler, doğuya giden trenler; 16 numaralı istasyondan 1 numaralı istasyona doğru seyretmekte olan trenler ise batıya giden trenler olarak sınıflandırılmıştır.

Doğuya giden trenler kalkış istasyonundan kalkış sırasına göre; Doğu Ekspresi (1), Kurtalan (Güney) Ekspresi (2), 4 Eylül Mavi (3) olarak; batıya giden trenler ise kalkış istasyonundan kalkış sırasına göre Doğu Ekspresi (4), 4 Eylül Mavi (5),

Kurtalan (Güney) Ekspresi (6) olarak numaralandırılmıştır. Çizelge 5.6'da trenlerin istasyonlar arası seyir süreleri verilmiştir.

**Çizelge 5.6.** Ardışık İstasyonlar Arası Seyir Süreleri (dakika) (2. uygulama)

<b>İSTASYON ARALIĞI</b>	<b>Doğu Ekspresi</b>	<b>Kurtalan (Güney) Ekspresi</b>	<b>4 Eylül Mavi</b>
<b>1-2</b>	13	14	16
<b>2-3</b>	16	17	20
<b>3-4</b>	13	14	16
<b>4-5</b>	6	6	7
<b>5-6</b>	8	9	10
<b>6-7</b>	6	6	7
<b>7-8</b>	22	24	28
<b>8-9</b>	6	6	7
<b>9-10</b>	6	6	7
<b>10-11</b>	22	24	28
<b>11-12</b>	28	30	35
<b>12-13</b>	10	11	13
<b>13-14</b>	10	11	13
<b>14-15</b>	6	6	7
<b>15-16</b>	12	13	15
<b>TOPLAM</b>	<b>184</b>	<b>197</b>	<b>229</b>

Çizelgedeki her hücrede bulunan sayısal değer, ilgili trenin, hücrenin bulunduğu satırda numaraları belirtilen istasyonlar arasındaki seyir sürelerini ifade etmektedir. Doğuya giden trenler, 1 numaralı istasyondan hareket etmekte ve 16 numaralı istasyonda yolculuğunu sonlandırmaktadır. Batıya giden trenler ise 16 numaralı istasyondan hareket etmekte ve 1 numaralı istasyonda yolculuğunu sonlandırmaktadır.

Trenlerin istasyonlarda planlanmış duruşları ana istasyonlarda (Sivas) 5 dk. ve bazı ara istasyonlarda 1 dk'dır. Diğer ara istasyonlarda ise trenler durmadan geçmektedir.

Çizelge 5.7’de trenlerin planlanmış duruş süreleri ve planlanmış seyir süreleri verilmiştir.

**Çizelge 5.7.** Trenlerin Planlanmış Duruş Süreleri ve Planlanmış Seyir Süreleri  
(2. uygulama)

<b>Trenler</b>	<b>Hay boyunca planlanmış duruş süresi toplamı (dk.)</b>	<b>Hat boyunca planlanmış seyir süreleri (dk.)</b>
(1)	11	195
(2)	16	213
(3)	11	240
(4)	12	196
(5)	12	241
(6)	15	212

İstasyonlar arası bağlantı yolları tek hatlı olduğu için, birbirine zıt yönlerde ilerleyen trenlerin istasyonlarda buluşma yapması gerekmektedir. Benzer şekilde, bir trenin aynı yönde ilerleyen ve kendisinden daha yavaş olan bir trenin önüne geçebilmesi ancak istasyonlardan bir tanesinde yavaş trenin hızlı trene yol vermesiyle mümkün olacaktır. Trenlerin başlangıç istasyonlarından kalkış zamanları Çizelge 5.8’de verilmiştir.

**Çizelge 5.8.** Trenlerin Başlangıç İstasyonlarından Kalkış Zamanları (2. Uygulama)

<b>Tren No.</b>	<b>Kalkış İstasyonu</b>	<b>Kalkış Zamanı</b>
(1)	Yeniçubuk	02.58
(2)	Yeniçubuk	20.04
(3)	Yeniçubuk	23.12
(4)	Çetinkaya	04.00
(5)	Çetinkaya	17.37
(6)	Çetinkaya	21.26

Trenlerin başlangıç istasyonlarından kalkış zamanları, modelde sisteme giriş zamanları olarak girilecektir ve çatışmalar çözülerek trenlerin son istasyonlarına vardıklarında gecikmeleri toplamı enküçüklenmeye çalışılacaktır.

### 5.2.3. Varsayımlar ve Kısıtlamalar

Bütün ara istasyonlarda yeterli sayıda barınma yeri bulunmaktadır. Trenler için kalkış-variş süreleri esasen istasyon uzunluğuna, tren uzunluğuna, trenlerin hızlanma ve frenleme yetilerine, istasyon bölgesindeki hattın eğim, kurp gibi hat direnimlerine etki edecek geometrik özelliklerine ve trafik kontrol (sinyalizasyon) sisteminin özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir.

Zıt yönlerde ilerleyen trenler için variş – kalkış en az 2 dakika ve aynı yönde ilerleyen trenler için kalkış-kalkış en az 5 dakika olarak belirlenmiştir.

TCDD'den alınan bilgiye göre trenlerin karşılaştıklarında geçiş öncelikleri, öncelikli olana göre sırasıyla şu şekildedir: Doğu Ekspresi, Güney Ekspresi, 4 Eylül Mavi treni.

### 5.2.4. Matematiksel Model

6 trenin sefer yaptığı 16 istasyonlu tek hat ele alınmıştır ve 4. bölümdeki 0-1 tamsayılı programlama<sup>4</sup> modeline aşağıdaki kısıtlar eklenerek oluşturulmuştur:

İzleme ve öne geçme kısıtları – kalkışlar için:

$$d_{i,s} - d_{k,s} + 120b_{i,s,k} \geq 5, \quad i, k \in E, s \in S, i < k \quad (4.20)$$

$$d_{k,s} - d_{i,s} - 120b_{i,s,k} \geq -115, \quad i, k \in E, s \in S, i < k \quad (4.21)$$

---

<sup>4</sup>Bakınız Matematiksel Model sf. 58



İzleme ve öne geçme kısıtları - varışlar için:

$$a_{i,s+1} - a_{k,s+1} + 120b_{i,s,k} \geq 2, i, k \in E, s \in S, i < k \quad (4.22)$$

$$a_{k,s+1} - a_{i,s+1} - 120b_{i,s,k} \geq -118, i, k \in E, s \in S, i < k \quad (4.23)$$

Mükerrer öne geçmeyi yasaklama kısıtları:

$$b_{i,s,k} - b_{i,s+1,k} \geq 0, i, k \in E, s \in S, i < k \quad (4.24)$$

0-1 tamsayı kısıtı:

$$b_{i,s,k}, \in \{0,1\}, i, k \in E, s \in S, i < k \quad (4.25)$$

(4.20) ve (4.21), bir istasyondan bir trenin hareketinden en az 5 dakika (varsayılan) sonra aynı istasyondan aynı yöne giden bir başka trenin hareket edebilmesi koşulunu getiren kısıt fonksiyonlardır. İlgili 0 – 1 değişkeni, ilgili istasyon ile başlayan hat kesimine hangi trenin önce gireceğini belirlemektedir. Kısıtların hiçbiri hiçbir zaman ihlal edilmeyecek olmakla birlikte, ilgili hat kesimine büyük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq 5$ , küçük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq -115$  şeklindeki kısıtlar aktif olacaktır.

(4.22) ve (4.23), bir istasyona bir trenin varışından en az 2 dakika sonra aynı istasyona aynı yönde giden bir trenin varış yapabilmesi koşulunu getiren kısıt fonksiyonlardır. İlgili 0 – 1 değişkeni, ilgili istasyon ile başlayan hat kesimine hangi trenin önce gireceğini belirlemektedir. Kısıtların hiçbiri hiçbir zaman ihlal edilmeyecek olmakla birlikte ilgili hat kesimine büyük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq 2$ , küçük numaralı tren önce giriyorsa  $\geq -118$  şeklindeki kısıtlar aktif olacaktır.

(4.24), aynı yönlere ilerleyen trenlerin arasında yalnızca 1 kere öne geçme olabildiğini garanti eder.

(4.25), trenlerin istasyon aralığındaki izleme sırası değişkenlerini 0 ya da 1 olmaya zorlayan kısıt fonksiyonudur.

Problemin çözümünde, doğrusal ve tamsayı programlarının çözümü için geliştirilmiş bir paket program olan Lindo 6.1 kullanılmıştır.

### 5.2.5. Hesaplamaya Dayalı Sonuçlar

6 karar değişkenli, 1293 kısıtlı problem modeli, Lindo 6.1 kullanılarak çözülmüştür. Sonuç olarak, hatta çalışan trenlerin birbirini beklemelerinden oluşan gecikme süreleri toplamının 37 dk olduğu görülmüştür. Sonuçlar Çizelge 5.9'da Mevcut Durum Çizelgesi ve Çizelge 5.10'da Optimal Çizelge olarak verilmiştir.

**Çizelge 5.9.** Mevcut Durum Çizelgesi (2. uygulama)

<b>Tren No</b>	<b>Kalkış İstasyonu</b>	<b>Varış İstasyonu</b>	<b>Kalkış saati</b>	<b>Varış saati</b>
(1)	Yeniçubuk	Çetinkaya	02.58	06.59
(2)	Yeniçubuk	Çetinkaya	20.04	00.30
(3)	Yeniçubuk	Çetinkaya	23.12	03.09
(4)	Çetinkaya	Yeniçubuk	04.00	08.13
(5)	Çetinkaya	Yeniçubuk	17.37	21.36
(6)	Çetinkaya	Yeniçubuk	21.26	01.43

**Çizelge 5.10.** Optimal Çizelge (2. uygulama)

<b>Tren No</b>	<b>Kalkış İstasyonu</b>	<b>Varış İstasyonu</b>	<b>Kalkış saati</b>	<b>Varış saati</b>
(1)	Yeniçubuk	Çetinkaya	03.05	06.21
(2)	Yeniçubuk	Çetinkaya	20.04	23.56
(3)	Yeniçubuk	Çetinkaya	23.12	03.12
(4)	Çetinkaya	Yeniçubuk	04.00	07.16
(5)	Çetinkaya	Yeniçubuk	17.37	21.46
(6)	Çetinkaya	Yeniçubuk	21.26	01.07

Mevcut durum çizelgesi ile optimal çizelge, gerçek verilere göre belirlenen hat boyunca trenlerin seyahat süresi açısından karşılaştırılarak her tren için iki durumda da gecikme süreleri Çizelge 5.11’ de verilmiştir.

**Çizelge 5.11.** Mevcut Durum ile Optimal Durumun Karşılaştırılması

Tren No	Plan-lanan Seyahat Süresi (dk)	Mevcut Durum				Optimal Durum			
		Kalkış Saati	Variş Saati	Plan-lanan Variş Saati	Gecikme Süresi (dk)	Kalkış Saati	Variş Saati	Plan-lanan Variş Saati	Gecikme Süresi (dk)
(1)	195	02.58	06.59	06.13	46	03.05	06.21	06.20	1
(2)	213	20.04	00.30	23.37	53	20.04	23.56	23.37	19
(3)	240	23.12	03.12	03.12	0	23.12	03.12	03.12	0
(4)	196	04.00	08.13	07.16	57	04.00	07.16	07.16	0
(5)	241	17.37	21.38	21.38	0	17.37	21.46	21.38	8
(6)	212	21.26	01.43	00.58	45	21.26	01.07	00.58	9

Çizelge 5.11’ de mevcut ve optimal durumda trenlerin gecikmeleri verilmiştir.

Mevcut durumda trenlerin hattaki toplam gecikmeleri 3 saat 21 dk. iken optimal durumdaki toplam gecikme 37dk. olmaktadır. Yani gecikme süresinin toplamda 2 saat 44 dk. azaldığı görülmektedir.

### 5.3. Çözümün Simülasyonla Gösterimi

Simülasyon diğer adıyla benzetim; teorik ya da fiziksel gerçek bir sistemin, bilgisayar ortamında modellendikten sonra bu model ile sistemin işletilmesi amacıyla yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmeyi sağlayan veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürüten, bu sistemlerin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar aracılığıyla değerlendiren bir tekniktir.

### 5.3.1. Kullanılan program: Arena

Arena, modelleme ve benzetim problemlerinin çözümünde büyük yeteneğe sahip bir yazılım programıdır. Benzetim ve modelleme işlemlerini adım adım tanımlama ve karar vermeye yardımcı olacak benzetim sonuçlarını gösterir.

Arena;

1. Ön görülen bir sistemin tasarım aşamasında iken gerçekleştiğinde nasıl davrandığını görme veya mevcut sistemlerde sistemin performansını anlama,
2. Benzetimi yapılan sistemin gelecekteki performansına ait karmaşık ilişkileri anlama, düzgün ilerlemesi amacıyla tanımlama,
3. Hareketli animasyon grafikleri ile yapılan benzetimi canlandırma için kullanılabilir.

Tek hatlı Kayseri-Kars demiryolu hattının Yeniçubuk istasyonundan Çetinkaya istasyonuna kadar olan 1. Yeniçubuk, 2. İhsanlı, 3. Şarkışla, 4. Gücük, 5. Hanlı, 6. Gözmen, 7. Bedirli, 8. Kalın, 9. Yapı, 10. Sivas, 11. Bostankaya, 12. Eskiköy, 13. Karagöl, 14. Bozarmut, 15. Kangal, 16. Çetinkaya olarak numaralandırılan 16 istasyonlu bölümünde çalışan Doğu Ekspresi, Kurtalan (Güney) Ekspres ve 4 Eylül Mavi tren tiplerinin her birinden 2 tane olmak üzere toplam 6 trenli problem Lindo 6.1. kullanılarak çözülmüştür.

Sonuç olarak, hatta çalışan trenlerin birbirini beklemelerinden oluşan gecikme süreleri toplamının 3 saat 21 dk'dan 37 dk'ya indiği görülmüştür. Trenlerin her biri için gecikme süreleri Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Program sonucuna göre kalkış saatlerindeki değişimler ile yeniden yapılan Çizelge 5.10. Optimal Çizelge'deki kalkış saati verileri, trenlerin istasyonlar arası seyir süreleri ve trenlerin istasyonlarda bekleme süreleri Arena komutları ile sisteme girilerek tren hareketlerinde çatışma olmadığı Arena programı ile gösterilmiştir.

## 5.3.2. Arena Komutları

### 5.3.2.1. Create Modülü

Bu modül simülasyon modelindeki entityler (varlık) için başlangıç noktasıdır. Entityler, belirli bir çizelge kullanılarak oluşturulacağı gibi varışlar arası zaman aralıklarına bağlı olarak da oluşturulabilirler. Entityler oluşturulduktan sonra işlem görmek üzere sistem içine gönderilirler. Hatta, 6 adet tren olduğundan dolayı 6 Create modülü oluşturulmuştur ve trenlerin kalkış istasyonlarından kalkış süreleri de bu modülde girilmiştir.

Create modülü bilgileri şu şekilde girilmektedir:

**Name:** Modülün isim olarak belirtecidir. Verilen isim modül üzerinde görülür.

**Entity Type:** Entity tipine verilen isimdir.

**Type:** Varış tipleri üretilir.

**Random:** Ortalaması kullanıcı tarafından belirlenen üstel (Exponential) dağılım kullanılmıştır.

**Value:** Random seçildiğinde üstel dağılımın ortalamasının belirlendiği yerdir.

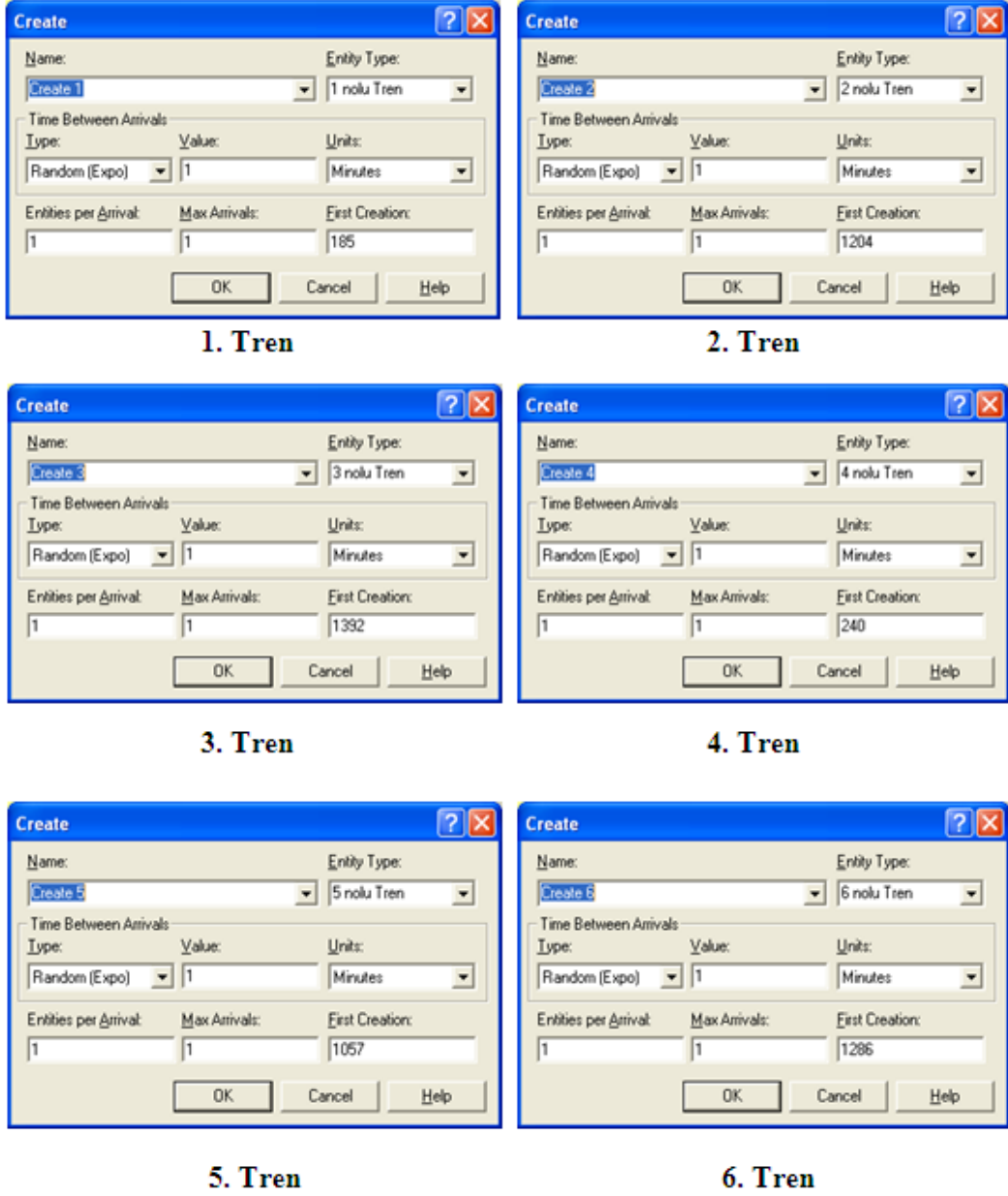
**Units:** Varışlar ve ilk entitynin oluşturulması için kullanılan zaman birimidir. Zaman birimi olarak dakika seçilmiştir.

**Entities per Arrival:** Her varış için sisteme giren entity sayısıdır.

**Max Arrivals:** Bu modülün oluşturacağı maksimum entity sayısı belirlenir. Belirlenen değer aşıldığında yeni bir entity oluşturulmaz.

**First Creation:** Entitynin sisteme gönderilmesi için başlangıç zamanı belirlenir. Burada her tren için program çıktısı verileri girilmiştir.

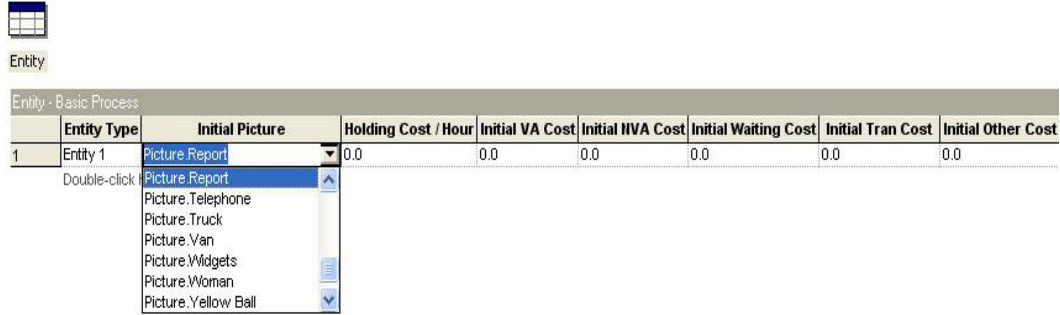
Her tren için girilen Create modülü aşağıda verilmiştir:



Şekil 5.3. Create Modülleri Veri Girişi

### 5.3.2.2. Entity Veri Modülü

Bu veri modülüyle simülasyon içerisindeki çeşitli entity tipleri ve bunlara ait başlangıç resimleri tanımlanmıştır.



Entity - Basic Process							
Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost
1	Entity 1	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Double-click

- Picture.Report
- Picture.Telephone
- Picture.Truck
- Picture.Van
- Picture.Widgets
- Picture.Woman
- Picture.Yellow Ball

Şekil 5.4. Entity Modülü Veri Girişi

Entity veri modülü bilgileri şu şekilde girilmektedir:

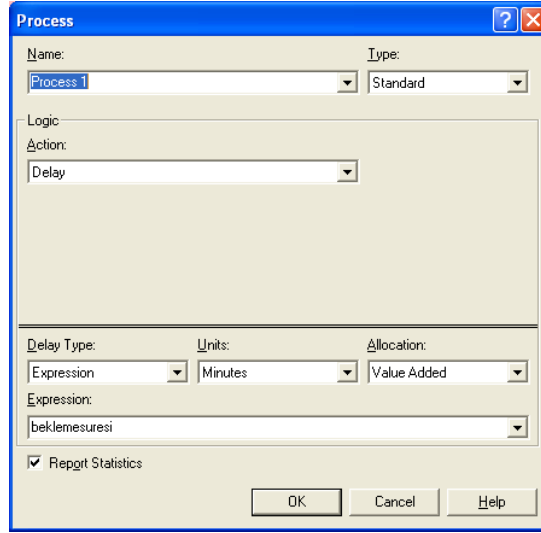
**Entity Type:** Tanımlanan entity tipinin isminin girildiği yerdir.

**Initial Picture:** Simülasyon başlangıcında entitynin resim olarak gösterimidir. Bu değer daha sonra Assign modülü ile simülasyon boyunca değiştirilebilir.

**Holding Cost/Hour:** Entitynin sistemde bir saat işlem görmesinin maliyetidir.

### 5.3.2.3. Process Modülü

Bu modülle simülasyon içerisindeki temel işlemler gerçekleştirilir. Sisteme girilen Process 1 örnek olarak gösterilmiştir. 16 adet istasyon bulunduğundan dolayı 16 process oluşturulmuştur. Trenlerin istasyonlardaki bekleme süreleri de bu modüle belirtilmiştir.



**Şekil 5.5.** Process Modülü Veri Girişi (Process 1)

Process modülü bilgileri şu şekilde girilmektedir:

**Name:** Modülün isim olarak belirteçidir. Verilen isim modül üzerinde görülür.

**Action:**Sistemde girilen ‘Delay’ işlem tipi hiçbir kaynak kullanılmadan sadece gecikme işleminin gerçekleştirileceğini gösterir.

**Delay type:** Modül içerisinde, gecikme işlemi için dağılım tipinin veya parametrelerin belirlendiği yerdir. Burada kullanıcının girmesi için ‘Expression’ seçilmiştir.

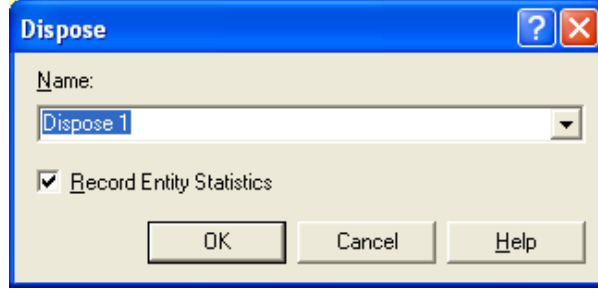
**Units:**Gecikme parametreleri için belirlenecek olan zaman birimidir ve dakika olarak girilmiştir.

**Allocation:** İşlem zamanı ve işlem maliyetinin entitiye nasıl tahsis edileceğinin belirlenmesi gerçekleştirilir.

#### 5.3.2.4. Dispose Modülü

Bu modül simülasyon modelindeki entityleri için son noktadır. Entity istatistikleri entity sistemden atılmadan önce kayıt altına alınabilir.





Şekil 5.6. Dispose Modülü Veri Girişi

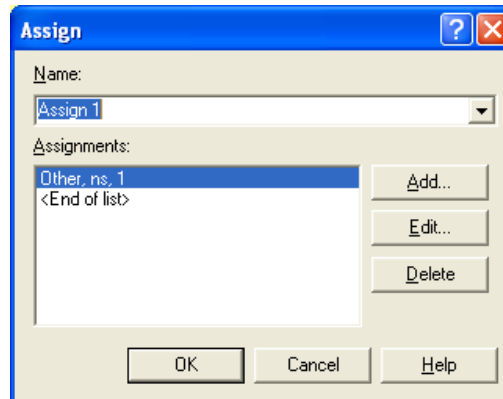
Dispose modülü bilgileri şu şekilde girilmektedir:

**Name:** Modülün isim olarak belirteçidir. Verilen isin modül üzerinde görülür.

**Record Entity Statistics:** Modüle gelen entityye ait istatistiklerin kayıt altına alınıp alınmayacağı belirlenir.

### 5.3.2.5. Assign Modülü

Bu modül değişkenlere, entity özelliklerine, entity tiplerine, entity resimlerine veya diğer sistem değişkenlerine yeni değerler atayabilmek için kullanılmaktadır. Tek bir Assign modülü ile birçok atama gerçekleştirilebilir.



Şekil 5.7. Assign Modülü Veri Girişi

Assign modülü bilgileri şu şekilde girilmektedir:

**Name:** Modülün isim olarak belirteçidir. Verilen isim modülün üzerinde görülür.

**Assignments:** Entity modüle geldiğinde yapılabilecek olan bir veya daha fazla atamanın belirlendiği yerdir.

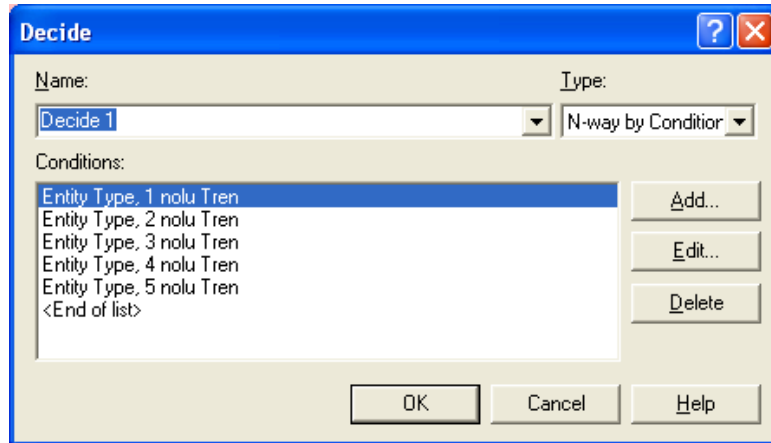
**Type:** Atama tiplerini belirtir.

**Attribute Name:** Type olarak Attribute seçildiğinde aktif hale gelir. Entity modüle girdiğinde yeni değer atanacak entity özelliklerinin ismini gösterir.

**New Value:** Özelliklere, değişkenlere veya diğer sistem değişkenlerine atama yapmayı sağlar. 'TNOW' olarak ayarlanır.

### 5.3.2.6. Decide Modülü

Bu modül sistem içerisinde karar verme işleminin gerçekleştirilmesini sağlar. Sistemde, kalkış sırası gelen trenin hareketini sağlamaktadır. Karar verebilmek için bir veya daha fazla duruma veya bir veya daha fazla olasılık değerine dayanan çeşitli seçenekleri barındırır. Durumlar, özellik değerlerine, değişken değerlerine, entity tipine veya tanımlamalara bağlı olabilirler.



Şekil 5.8. Decide Modülü Veri Girişi

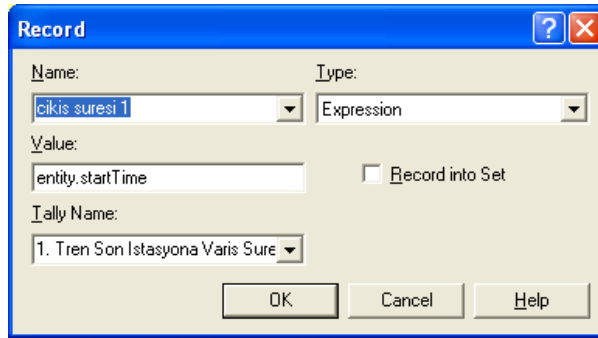
Decide modülü bilgileri şu şekilde girilmektedir:

**Name:** Modülün isim olarak belirtecektir. Verilen isim modülün üzerinde görülür.

**Type:** Karar durumlarını ifade eder. 6 tren bulunduğundan dolayı N-way by Condition seçilerek 6 tren için durumlar oluşturulmuştur.

### 5.3.2.7. Record Modülü

Bu modül simülasyon modelindeki istatistikleri toplamak için kullanılır. Modüller arasındaki zaman, entity istatistikleri ve aralık istatistikleri gibi çeşitli gözlem değerlerini elde etmek mümkündür. Ayrıca record modülü sayaç gibi kullanılıp sayma işlemi de yaptırılabilir.



Şekil 5.9. Record Modülü Veri Girişi

Record modülü bilgileri şu şekilde girilmektedir:

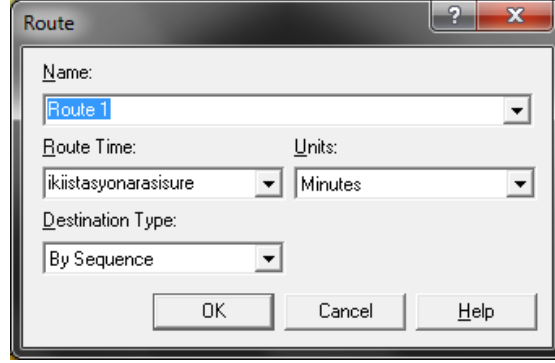
**Type:** Üretilecek olan gözlem tipi veya sayı istatistiklerinin tipi belirlenir. Burada, 'Expression' girilerek kullanıcı tarafından belirlenen bir tanımsal ifadenin değerini kaydeder.

**Value:** Kayıt altına alınacak gözlem istatistiği değeridir, trenlerin sisteme giriş zamanları olarak belirlenmiştir.

**Tally Name:** Gözlemin kayıt altına alınacağı adı girilir. 1. tren için Şekil 5.9' da örnek olarak gösterilmiştir.

### 5.3.2.8. Route Modülü

İstasyonları birbirine bağlayan modüldür. İstasyonlar arası seyir süreleri bu modülde tanımlanmıştır. Tren rotalarını ifade eder.



Şekil 5.10. Route Modülü Veri Girişi

Route modülü bilgileri şu şekilde girilmektedir:

**Name:** İsim olarak belirteçidir. Verilen isim modülün üzerinde görülür.

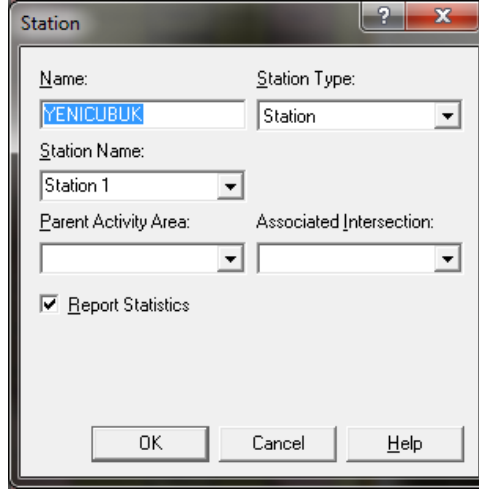
**Route Time:** İki istasyon arasındaki süreyi ifade eder.

**Units:** Zaman birimidir ve dakika olarak girilmiştir.

**Destination Type:** Rota sırasını ifade etmektedir.

### 5.3.2.9. Station Modülü

Station modülü ile istasyonlar tanımlanmıştır. 16 adet istasyon için Station modülü oluşturulmuştur.



Şekil 5.11. Station Modülü Veri Girişi

Station modülü bilgileri şu şekilde girilmektedir:

**Name:** Modülün isim olarak belirteçidir. Verilen isim modülün üzerinde görülür. İstasyon isimleri girilmiştir.

**Station Name:** İstasyonun numarası ile birlikte girildiği bölümdür.

### 5.3.3. Yeniçubuk-Çetinkaya Demiryolu Hattı Simülasyon Sonucu

Yeniçubuk-Çetinkaya demiryolu hattında gerçek veriler kullanılarak uygulama yapılmıştır. Bu hat, 16 istasyonlu 6 trenin çalıştığı tek yönlü bir demiryolu hattıdır. Bu hattın seçilme sebebi, Çetinkaya istasyonundan Kars istasyonuna kadar olan hat kesiminde tren sayısının 2'ye düşmesi ve bu bölümde çatışma bulunmamasıdır. Kayseri-Kars demiryolu hattında en çok çatışmanın Yeniçubuk-Çetinkaya istasyonları arasında olması da bu hattın tercih edilmesinin diğer sebebidir.

Bu hattaki trenlerin seyir süreleri, 0-1 tamsayılı model ile modellenmiş, Lindo 6.1. kullanılarak matematiksel model çözülmüştür. Optimal çizelge, Çizelge 5.10'da ve mevcut durum ile optimal durumun karşılaştırılmasına ilişkin sonuçlar Çizelge 5.11'de verilmiştir. Sonuç tablolarına göre optimal durumda trenlerin birbirlerinin geçişi için bekledikleri süre toplamının 37 dk. olduğu görülmüştür.

Simülasyon programı Arena 13.5 ile matematiksel modelin sonucu simüle edilmiştir. Bilgisayar zamanına göre 1 haftalık çalıştırılan ve 10.272 dk'lık zaman diliminde sonuçlanan deterministik simülasyona ait görüntü Şekil 5.12'de verilmiştir ve şu sonuçlara varılmıştır:

- Sayısal uygulamada (2) nolu tren olarak adlandırılan Yeniçubuk istasyonundan Çetinkaya istikametine doğru hareket eden Kurtalan (Güney) Ekspres treni ile (5) nolu tren olarak adlandırılan Çetinkaya istasyonundan Yeniçubuk istikametine doğru yol alan 4 Eylül Mavi treninin 3. istasyon olan Şarkışla istasyonu ile 4. istasyon olan Gücük istasyonu arasında karşılaşmaması için 4 Eylül mavi trenin 5. istasyonunda beklemesi gerekmektedir. Şarkışla-Gücük istasyonları arası 16 km'lik bir hattın ibarettir. Trenlerin karşılaşma noktaları da Gücük istasyonundan itibaren Şarkışla istasyonuna doğru 8 km'lik bir hatta denk gelmektedir. Koşulların uygun olması halinde, bu bölüme 8 km'lik ikinci hattın yapılmasının trenlerin beklemesini önleyeceği düşüncesine varılmıştır.

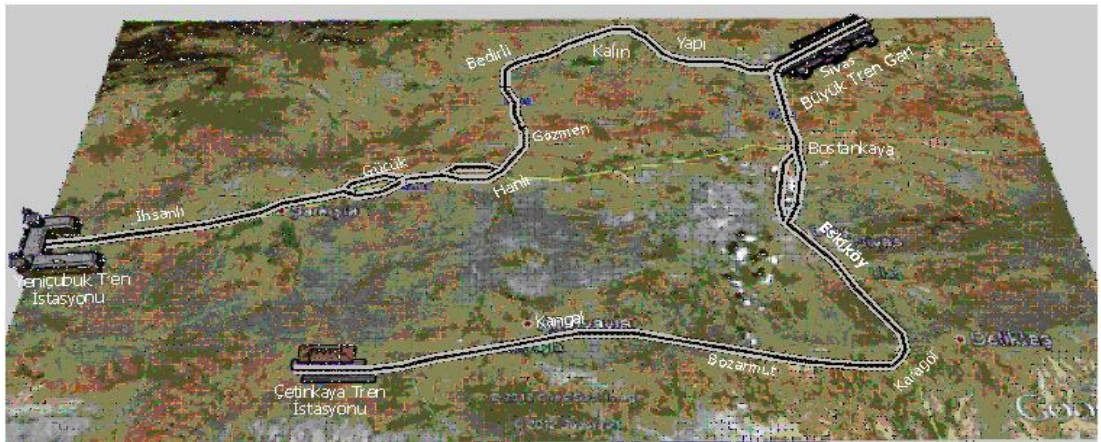
- (2) nolu tren olarak adlandırılan Yeniçubuk istasyonundan Çetinkaya istikametine doğru hareket eden Kurtalan (Güney) Ekspres treni ile (6) nolu tren olarak adlandırılan Çetinkaya istasyonundan Yeniçubuk istikametine doğru yol alan Kurtalan (Güney) Ekspres treninin 11. istasyon olan Bostankaya istasyonu ile 12. istasyon olan Eskiköy istasyonu arasında karşılaşmaması için (2) nolu Kurtalan (Güney) Ekspres treninin Bostankaya istasyonunda beklemesi gerekmektedir. Bostankaya-Eskiköy istasyonları arası 35 km'lik bir hattan ibarettir. Trenlerin karşılaşma noktaları ise Bostankaya istasyonundan itibaren Eskiköy istasyonuna doğru 18 km'lik bir hatta denk gelmektedir. Koşulların uygun olması halinde, bu bölüme 18 km'lik ikinci hattın yapılmasının trenlerin beklemesini önleyeceği düşüncesine varılmıştır.
  
- (3) nolu tren olarak adlandırılan Yeniçubuk istasyonundan Çetinkaya istikametine doğru hareket eden 4 Eylül Mavi treni ile (6) nolu tren olarak adlandırılan Çetinkaya istasyonundan Yeniçubuk istikametine doğru yol alan Kurtalan (Güney) Ekspres treninin 4. istasyon olan Gücük istasyonu ile 5. istasyon olan Hanlı istasyonu arasında karşılaşmaması için (6) nolu Kurtalan (Güney) Ekspres treninin Hanlı istasyonunda beklemesi gerekmektedir. Gücük-Hanlı istasyonları arası 7 km'lik bir hattan ibarettir. Trenlerin karşılaşma noktaları ise Hanlı istasyonundan itibaren Gücük istasyonuna doğru 5 km'lik bir hatta denk gelmektedir. Koşulların uygun olması halinde, bu bölüme 5 km'lik ikinci hattın yapılmasının trenlerin beklemesini önleyeceği düşüncesine varılmıştır.



**Şekil 5.12.** İyileştirme Yapılmış Hattın Simülasyon Görüntüsü

İncelenen 240 km'lik Yeniçubuk-Çetinkaya hattında trenlerin birbirinin geçişini beklemesinden kaynaklanan toplam 37 dk'lık gecikmenin, ikinci hattın yapılması için koşulların uygun olması halinde hattın yukarıda belirtilen 31 km'lik kısımlarına ikinci hat yapılarak 30dk. azaltılacağı düşünülmektedir.

Bu düşüncenin denenmesi amacıyla simülasyon uygulaması olarak Arena 13.5 kullanılmıştır. Bilgisayar zamanına göre 1 haftalık çalıştırılan ve 10.272,24 dk'lık zaman diliminde sonuçlanan deterministik simülasyona ait görüntü Şekil 5.13'de verilmiştir



**Şekil 5.13.** Belirli Kısımların Çift Hat Yapıldığı Simülasyon Görüntüsü



İkinci hat yapılmadan önceki ve yapıldıktan sonraki simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında trenlerin toplam gecikme süresinin 30 dk. daha kısaldığı görülmektedir.

Matematiksel modelin sonucuna göre iyileştirme yapılmış hattın simülasyonunun sonuç tablosu Çizelge 5.12’de ve belirli kısımların çift hat yapıldığı simülasyonun sonuç tablosu ise Çizelge 5.13’de verilmiştir. Simülasyon sonuçları da EK-1 ve EK-2 olarak verilmiştir.

**Çizelge 5.12.** İyileştirme Yapılmış Hattın Simülasyon Sonuç Tablosu

Açıklama	Ortalama	Minimum Değer	Maksimum Değer
1. Tren son istasyona varış süresi	4701.00	381.00	9021.00
2. Tren son istasyona varış süresi	5756.00	1436.00	10076.00
3. Tren son istasyona varış süresi	5952.00	1632.00	10272.00
4. Tren son istasyona varış süresi	4756.00	436.00	9076.00
5. Tren son istasyona varış süresi	5626.00	1306.00	9946.00
6. Tren son istasyona varış süresi	5827.00	1507.00	10147.00

**Çizelge 5.13.** Belirli Kısımların Çift Hat Yapıldığı Simülasyon Sonuç Tablosu

Açıklama	Ortalama	Minimum Değer	Maksimum Değer
1. Tren son istasyona varış süresi	4701.28	381.26	9021.24
2. Tren son istasyona varış süresi	5740.28	1420.26	10060.24
3. Tren son istasyona varış süresi	5951.28	1631.26	10271.24
4. Tren son istasyona varış süresi	4756.24	436.21	9076.21
5. Tren son istasyona varış süresi	5618.24	1298.21	9938.21
6. Tren son istasyona varış süresi	5820.24	1500.21	10140.21

Sonuç olarak, Kayseri-Kars demiryolu hattında en çok çatışma bölgesi olduğundan dolayı seçilen 16 istasyonlu Yeniçubuk-Çetinkaya hattında sefer yapan 6 trenin mevcut gecikmelerinden yola çıkararak tamsayı matematiksel model geliştirilmiş ve Lindo 6.1' de çözülmüştür.

Çözüme göre mevcut durumdaki 3 saat 21 dk'lık gecikme 37dk'ya indirilerek hatta % 81.6 oranında verimlilik sağlanmıştır. Çözüme göre tren hareketleri, simülasyon ile incelenmiştir. Koşulların uygun olması halinde hattın belirli yerlerine ikinci hattın yapılması ile 37 dk'lık gecikmenin 30 dk'ya indirilebileceği düşüncesine varılmıştır ve simülasyon kullanılarak Arena 13.5 ile 240 km'lik hattın 31 km'lik kısmına ikinci hat yapılarak sonuçlar incelenmiştir ve gecikmeler bazında sonuçlar Çizelge 5.14. Sonuç Tablosu'nda verilmiştir.

**Çizelge 5.14.** Sonuç Tablosu

<b>Tren No</b>	<b>Mevcut Durumda Gecikmeler (dk.)</b>	<b>Matematiksel Modelin Sonucuna göre Gecikmeler (dk.)</b>	<b>İkinci Hat Yapıldıktan Sonraki Gecikmeler (dk.)</b>
(1)	46	1	1
(2)	53	19	3
(3)	0	0	0
(4)	57	0	0
(5)	0	8	0
(6)	45	9	3
<b>TOPLAM</b>	<b>201</b>	<b>37</b>	<b>7</b>

Çizelge 5.14'e göre mevcut durumda hatta toplam 3 saat 21 dk'lık gecikmenin 37 dk'ya indirilmesi ile hatta toplam % 81.6 oranında verimlilik sağlanmıştır. Koşulların uygun olması halinde belirli kısımlara ikinci hat yapıldıktan sonra ise gecikmeler toplamı 7 dk'ya indirilerek % 81.1 oranında verimlilik sağlanmıştır. Son durumda mevcut duruma göre % 96.5 oranında verimlilik sağlanmıştır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, Türkiye'deki demiryolu taşımacılığının mevcut durumu incelenmiş ve demiryolundaki problemler sınıflandırılmıştır. Bu problemler içinde trenlerdeki gecikmelerle ilgili sorunlara çözüm bulmak için önerilerde bulunulmuştur.

Önerilen 0-1 tamsayılı matematiksel model, 5 istasyonlu 3 trenin çalıştığı hayali bir demiryolu hattı üzerinde denenmiştir. Bu uygulamada, % 89.36 oranında iyileşme ile olumlu sonuç alındığı görülmüş ve model geliştirilerek, gerçek verilerle Kayseri-Kars demiryolu hattının bir bölümü olan Yeniçubuk-Çetinkaya hat kesimi üzerinde uygulanmıştır. 16 istasyonu 6 trenin çalıştığı bu hat çatışmanın en çok olduğu bölüm olması sebebiyle tercih edilmiştir. Bu hattaki trenlerin 3 saat 21 dakika olan toplam gecikme süresi, ilk olarak tren hareket saatlerinin düzenlenmesi ile 37 dk'ya indirilerek % 81.59 oranında iyileşme sağlanmış ve simülasyon programı Arena 13.5 ile incelenmiştir. Uygun koşullarda 240 km'lik hattın gecikmelere neden olan 31 km'lik kısmının çift hatta dönüştürülmesi durumunda gecikme süresi 7 dk'ya indirilerek toplamda % 96.52 oranında iyileştirme olacağı simülasyon çalışması ile gösterilmiştir.

Bu çalışmada 240 km'lik hat ele alınmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda daha uzun hatlar ele alınabileceği gibi, Türkiye'deki tüm hat ele alınarak çözüm yaklaşımları geliştirilebilir. Ancak problemin boyutu büyüyeceğinden optimal çözümleri bulmak mümkün olamayacağı görülmektedir. Bunun için optimum olmasa da optimuma yakın çözümler veren sezgisel yaklaşımlara ihtiyaç olacağı düşünülmektedir. Ayrıca deterministik simülasyon yerine stokastik simülasyon da kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Ahuja, K. R., Liu J., Orlin B. J., Sharma D., Shughart A. L., Solving Real-Life Locomotive Scheduling Problems. Institute for Operations Research and Management Sciences, Transportation Science, Vol.39 503-517, November, 2005.
- Akçay,V., Lojistikte Demiryolu Taşımacılığının Önemi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2005.
- Alev, I., Çavdar, B., Çelik, B., Demirel, V., Yük Treni İstasyonlarında Hareket Planlaması. Endüstri Mühendisliği Dergisi 20 (3): 2-21, 2009.
- Aydın, G., Tren Çizelgelemesi Problemi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- Barda, S., Münakale Ekonomisi. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1964.
- Bayındırlık Bakanlığı, Bayındırlıkta 50 yıl. Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 1983.
- Canan, E.A.,Sürdürülebilir(Yeşil) Demiryolu Yolcu Taşımacılığı: Yolcu Perspektifinden Bir Değerlendirme, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- Caprara, A.,Fischetti, M., Toth, P., Modeling and Solving The Train Timetabling Problem, Operations Research Vol50, No.5 Eylül- Ekim, 2002.
- Chang, Y., Wey W., Tseng, H., Using ANP Priorities With Goal Programming For Revitalization Strategies In Historic Transport: A Case Study Of The Alishan Forest Railway. Expert Systems with Applications 36 8682-8690, 2009.

- Charnes, A., Miller, M.H., A Model For The Optimal Programming of Railway Freight Train Movements, Purdue University and Carnegie Institute of Technology, 1956.
- Chen, C., Using Integer Programming to Solve the Crew Scheduling Problem in the Taipei Rapid Transit Corporation. Wseas Transactions on Information Science & Applications, Issue 4, Vol 5 331-341, Nisan, 2008.
- Cordeau, J-F., Toth, P., Vigo D., A Survey of Optimization Models for Train Routing and Scheduling, doi: 10.1287/trsc.32.4.380, Transportation Science, vol. 32 no. 4, 380-404, Kasım, 1998.
- Çekerol, G.S., Nalçakan, M., Lojistik Sektörü İçerisinde Türkiye Demiryolu Yurtiçi Yük Taşıma Talebinin Ridge Regresyonla Analizi, Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, Cilt XXXI, Sayı II, S. 321-344, 2011.
- Danescu, E., Integration and Interoperability of Rail Transport in Europe. Implications of The Network in Romania and Moldova, DH 34-08.00.14-Nord Economy, International Economic Relations, 2013.
- D'Ariano, A., Pacciarelli, D., Pranzo, M., A Branch and Bound Algorithm for Scheduling Trains in a Railway Network, Transportation Research Part B: Methodological Vol183, Issue 2, 643-657, 2007.
- Dengiz, B., Kutay, F., Duman, I., Türkiye'de ve Avrupa Birliği Ülkelerinde Demiryolları, 2. Ulusal Demiryolu Kongresi, Tisamat Basım Sanayii, Ankara.
- Dorfman M.J., Medanic J., Scheduling Trains On A Railway Network Using A Discrete Event Model Of Railway Traffic, Transportation Research Part B: Methodological, Vol 38, Issue 1, 81-98, 2004.
- DTP-Devlet Planlama Teşkilatı, VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Demiryolu Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 2001.

- Duman, İ., Demiryollarında Verimlilik ve Enerji Tasarrufu, TCDD Yayınları, Ankara, 1994.
- Dündar, S., Şahin, İ., Train Re-scheduling With Genetic Algorithms and Artificial Neural Networks for Single-track Railways, Transportation Research Part C: Emerging Technologies Volume 27, 1–15, Şubat, 2013.
- Ergün, İ., Türkiye'nin Ekonomik Kalkınmasında Ulaştırma Sektörü. H.Ü. İİBF. Yayınları, Ankara, 1985.
- EU Transport in Figures, TCDD İstatistik yıllıkları, 2011.
- Evren, G., Demiryolu, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.
- Gao, Ya, Zhang, L., Gao, S., A Bilevel Model for Railway Train Set Organizing Optimization, International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering, Atlantis Yayınevi, 777-782, 2007.
- Ghoseiri, K., Szidarovszky, F., Asgharpour, M.J., “A Multi – Objective Train Scheduling Model and Solution”, Transportation Research Part B 38:927 – 952., 2004.
- Ghoseiri, K, Morshedsolouk, F., Acs-Ts: Train Scheduling Using Ant Colony System, Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences, ID 95060, 28 doi:10.1155/JAMDS/95060, 2006.
- Göde, M.G., Yük ve Yolcu Taşımacılığında Göller Bölgesi İçin Kombine Taşımacılık Sistemlerinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi Isparta, 2011.
- Gürsoy, M., A Decision Supportive Method For Freight Transportation Mode Choice: An Example From Tukey, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B: Engineering, Vol. 34, No. B4, 461-470, 2005.

Harrod, S., Auction Pricing of Network Access for North American Railways, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review Volume 49, Issue 1, 176–189, Ocak 2013.

Higgins, A., Ferreira, L., Kozan, E., “Modelling Single – Line Train Operations”, Transportation Research Record 1489, Journal of the Transportation Research Board, Railroad Transportation Research, ISSN: 0361-1981, 9-16, 1996.

Ingolotti, L., Tormos, P., Lova, A., Barber, F., Salido, M.A., A Decision Support System (DSS) For The Railway Scheduling Problem, Artificial Intelligence Applications and Innovations 14226, 465-474, 2004.

Kabasakal, A., Solak, A.O., Demiryolu ve Karayolu Ulaştırma Sistemlerinin Ekonomik Etkinlik Analizi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi cilt/vol: 10-sayı/no: 1, 123-136, 2010.

Kaynak, M., “Sanayi Devrimi ve Demiryolları”, UTA, Uluslararası Taşımacılık Haber-Araştırma Dergisi, Sayı: 11, İstanbul, 1996.

Kaynak, M., Yeni Demiryolu Çağı, Yüksek Hızlı Trenler ve Türkiye, Türkiye İktisat Kongresi, 2001.

Kraay, D., Harker, P.T., Chen, B., Optimal Pacing of Trains in Freight Railroads: Model Formulation and Solution, Operations Research, vol.39 no. 1, 82-99, 1991.

Kroan, L., Dororthea, G., Zaroliagis, C., Algorithmic Methods for Railway Optimization, Dagstuhl Seminar Proceedings 04261, Algorithmic Methods for Railway Optimization, 471, 2006.



- Lee, C., Chen, C., Scheduling of Train Driver For Taiwan Railway Administration. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Vol.5 292-306, October, 2003.
- Lee, Y., Chen, C., Modeling and Solving The Train Pathing Problem, Journal of Systemics, Cybernetics & Informations, Vol. 7 Issue 2, 63, 2009.
- Linder, T., Zimmermann, U.T., Train Schedule Optimization in Public Rail Transport, Mathematics—Key Technology for the Future: Joint Projects Between Universities and Industry, pp. 703-716, 2000.
- Long, D., International Logistics: Global Supply Chain Management, Kluwer Academic Publishers, Boston, 299-306, 2003.
- Mazzarello, M. ve Ottaviani, E. A Traffic Management System for Real – Time Traffic Optimization for Railways, Transportation Research Part B, 41:246-274, 2007.
- Nissen, A., Development of Life Cycle Cost Model and Analyses for Railway Switches and Crossings, Lund Institute of Technology, Department of Chemical Engineering II, Issn: 0282-1990/978-91-74-39-026-1, 2009.
- Özyüksel, M., Anadolu ve Bağdat Demiryolları. Osmanlı, Yeni Türkiye Yayınları, 1999.
- Petersen, E., Taylor, A.J., A Structured Model for Rail Line Simulation and Optimization, Transportation Science, vol. 16 no. 2, 192-206, 1982.
- Pyke, S., Kozan, E., An Event Based Optimisation Model For Train Scheduling, Conference Paper, 0-9596291-7-3, 2004.
- Rangaraj, N., A Note on Section Scheduling on The Indian Railways, Industrial Engineering and Operations Research, IIT Bombay, 2008.

- Reimann M., Nyström B., ACO For The Single Line Train Scheduling Problem. Working Paper Series. Institute of Production and Operations Management University of Graz 01/2009.
- Sivilevicius H., Maskeliūnaite L., The Criteria For Identifying The Quality of Passengers' Transportation by Railway and Their Ranking Using AHP Method. *Transport* 25 (4): 368-381, 2010.
- Söderholm P., Nyström B., The Analytic Hierarchy Process (AHP) For Decision-Making And Expert Judgement in Railway Infrastructure Maintenance. IRSC, Bastad, Sweden, 2009.
- Stanojevic P., Miroslav M., Kratia J., Bojovic N., Milenkovic M., Mathematical Optimization for the Train Timetabling Problem, *Mathematica Balkanica, New Series*, Vol. 24, 3-4, 2010.
- TCDD İstatistik Yıllığı (1997-2001), TCDD, Ankara.
- Tek, Ö.B., Pazarlama İlkeleri: Türkiye Uygulamaları: Global Yönetimsel Yaklaşım, 8. Baskı, Beta Yayınları, İstanbul, 1996.
- Tian, W., Demeulemeester, E., On the interaction between roadrunner or railway scheduling and priority lists or resource flow Networks, *Flexible Services and Manufacturing Journal*, Volume 25, Issue 1-2, pp 145-174, Haziran, 2013.
- Uluslararası Demiryolları Birliği, TCDD, 1999.
- Wey, W., Wu, K., Using ANP Priorities With Goal Programming in Resource Allocation in Transportation. *ScienceDirect, Mathematical and Computer Modelling* 46 985-1000, 2007.
- Yao, X., Zhao, P., Qiao, K., Simulation and evaluation of urban rail transit network based on multi-agent approach, Vol 6, No 1 (2013). Special Issue: LISS 2012.

Zhou, X., Zhong, M., Bicriteria Train Scheduling For High-Speed Passenger,  
European Journal of Operational Research, Vol. 167 Issue 3, 752-771, 2005.

#### **İNTERNET KAYNAKLARI**

<http://tr.wikipedia.org/wiki/Demiryolu> (Erişim Tarihi: 17.03.2012)

<http://www.demiryolportali.com/> (Erişim Tarihi: 12.04.2012)

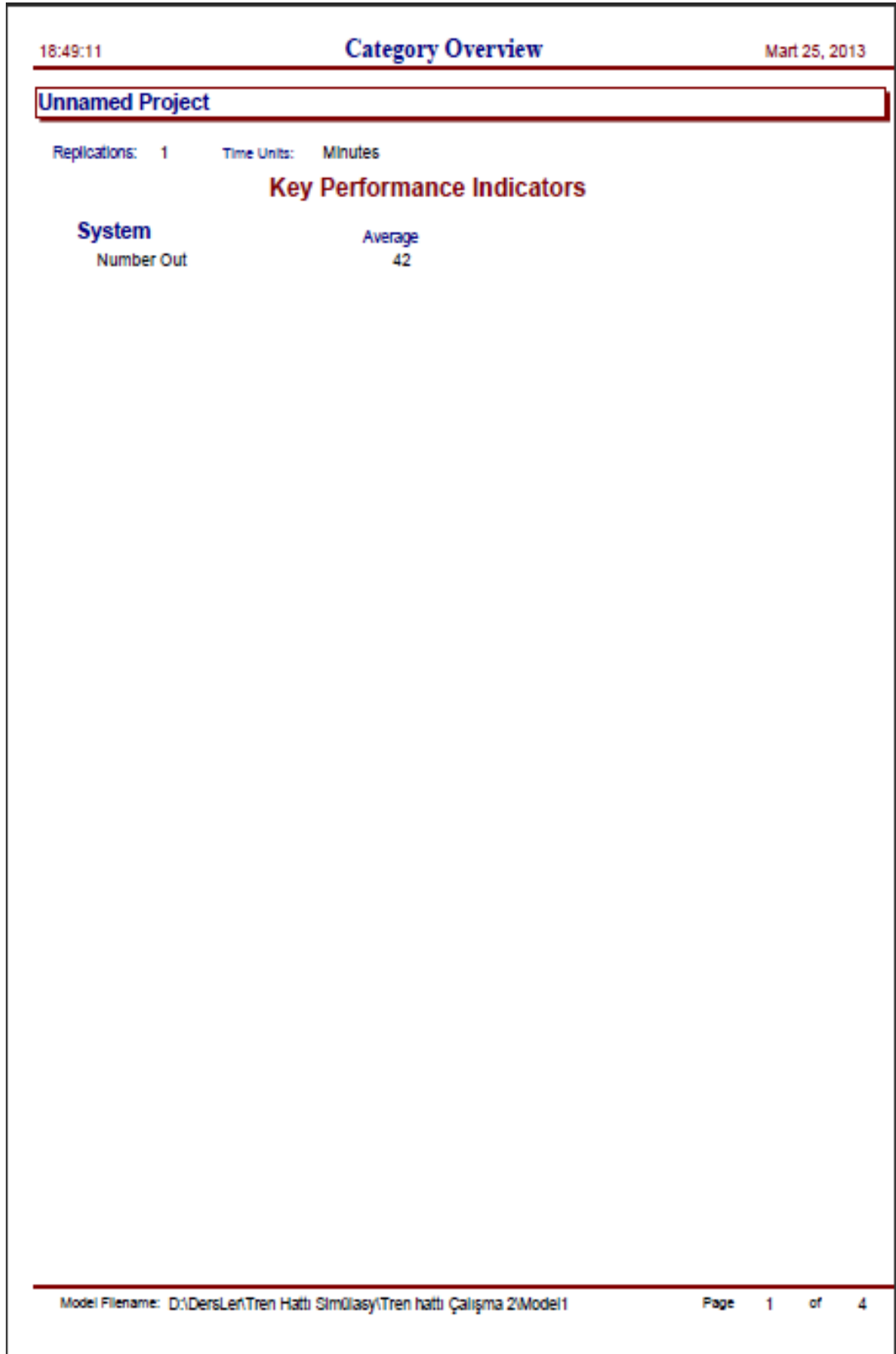
<http://www.tcdd.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 25.11.2012)

<http://www.die.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 20.05.2012)

<http://bayındırlık.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 17.05.2012)

## EKLER

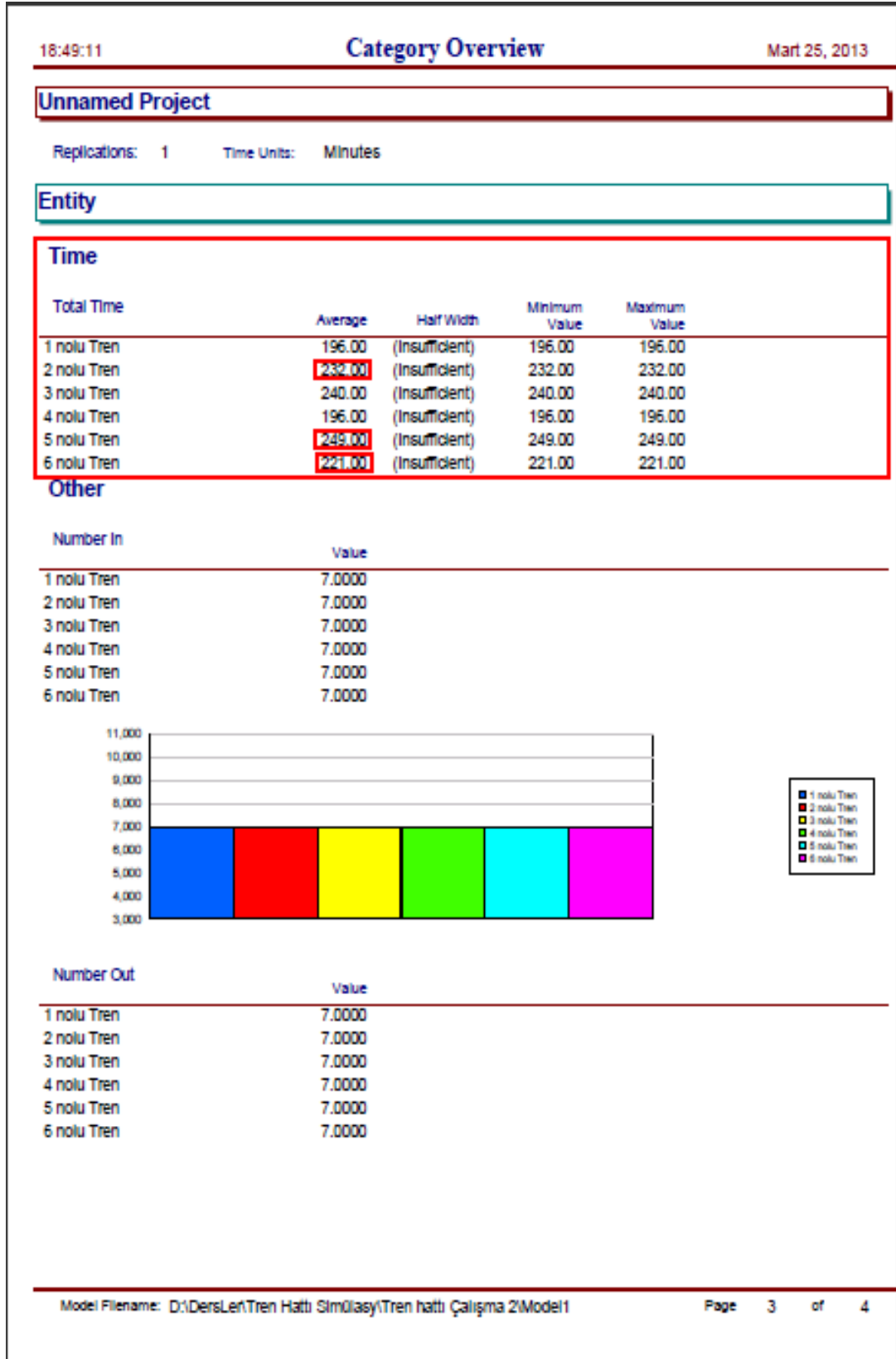
### EK 1: İYİLEŞTİRME YAPILMIŞ HATTIN SİMÜLASYON SONUCU



**EK 1: İYİLEŞTİRME YAPILMIŞ HATTIN SİMÜLASYON SONUCU  
(DEVAM)**

18:49:11		Category Overview			Mart 25, 2013	
<b>Unnamed Project</b>						
Replications: 1		Time Units: Minutes				
<b>Entity</b>						
<b>Time</b>						
<b>VA Time</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
1 nolu Tren	11.0000	(Insufficient)	11.0000	11.0000		
2 nolu Tren	35.0000	(Insufficient)	35.0000	35.0000		
3 nolu Tren	10.0000	(Insufficient)	10.0000	10.0000		
4 nolu Tren	11.0000	(Insufficient)	11.0000	11.0000		
5 nolu Tren	20.0000	(Insufficient)	20.0000	20.0000		
6 nolu Tren	24.0000	(Insufficient)	24.0000	24.0000		
<b>NVA Time</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
1 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
2 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
3 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
4 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
5 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
6 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
<b>Wait Time</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
1 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
2 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
3 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
4 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
5 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
6 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
<b>Transfer Time</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
1 nolu Tren	185.00	(Insufficient)	185.00	185.00		
2 nolu Tren	197.00	(Insufficient)	197.00	197.00		
3 nolu Tren	230.00	(Insufficient)	230.00	230.00		
4 nolu Tren	185.00	(Insufficient)	185.00	185.00		
5 nolu Tren	229.00	(Insufficient)	229.00	229.00		
6 nolu Tren	197.00	(Insufficient)	197.00	197.00		
<b>Other Time</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
1 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
2 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
3 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
4 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
5 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
6 nolu Tren	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Model Filename: D:\Dersler\Tren Hattı Simülasyonu\Tren hattı Çalışma 2\Model1		Page 2 of 4				

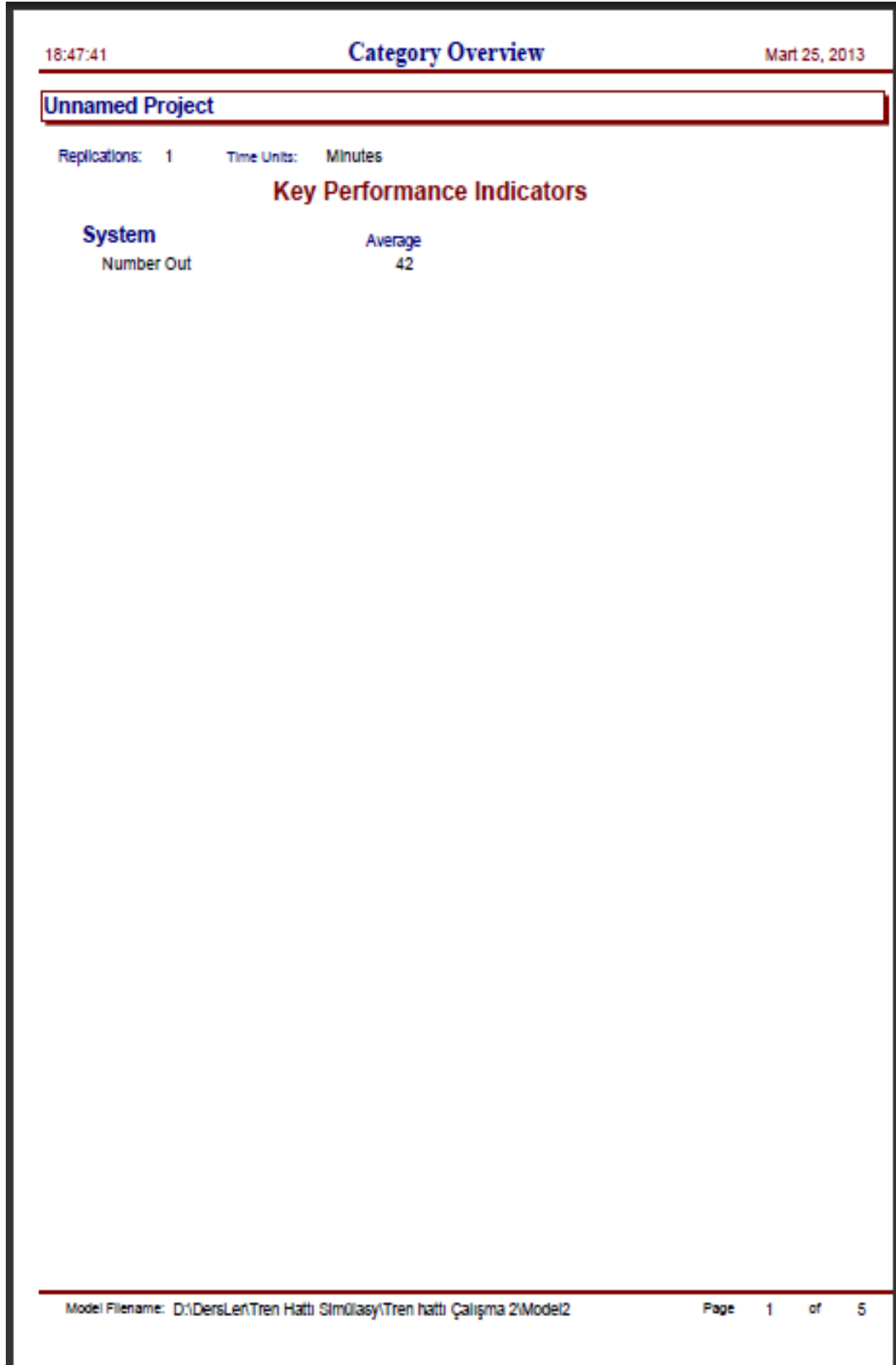
EK 1: İYİLEŞTİRME YAPILMIŞ HATTIN SİMÜLASYON SONUCU  
(DEVAM)



**EK 1: İYİLEŞTİRME YAPILMIŞ HATTIN SİMÜLASYON SONUCU  
(DEVAM)**

18:49:11		Category Overview		Mar 25, 2013	
<b>Unnamed Project</b>					
Replications: 1		Time Units: Minutes			
<b>Entity</b>					
<b>Other</b>					
WP	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value	
1 nolu Tren	0.1336	(Insufficient)	0.00	1.0000	
2 nolu Tren	0.1581	(Insufficient)	0.00	1.0000	
3 nolu Tren	0.1636	(Insufficient)	0.00	1.0000	
4 nolu Tren	0.1336	(Insufficient)	0.00	1.0000	
5 nolu Tren	0.1697	(Insufficient)	0.00	1.0000	
6 nolu Tren	0.1506	(Insufficient)	0.00	1.0000	
<b>User Specified</b>					
<b>Tally</b>					
Expression	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value	
1. Tren Son Istasyona Varis Suresi	4701.00	(Insufficient)	381.00	9021.00	
2. Tren Son Istasyona Varis Suresi	5756.00	(Insufficient)	1436.00	10076.00	
3. Tren Son Istasyona Varis Suresi	5952.00	(Insufficient)	1632.00	10272.00	
4. Tren Son Istasyona Varis Suresi	4756.00	(Insufficient)	436.00	9076.00	
5. Tren Son Istasyona Varis Suresi	5626.00	(Insufficient)	1306.00	9946.00	
6. Tren Son Istasyona Varis Suresi	5827.00	(Insufficient)	1507.00	10147.00	
Model Filename: D:\DersLer\Tren Hattı Simülasy\Tren hattı Çalışma 2\Model1					
Page 4 of 4					

**EK 2: BELİRLİ KISIMLARIN ÇİFT HAT YAPILDIĞI SİMÜLASYON SONUCU**

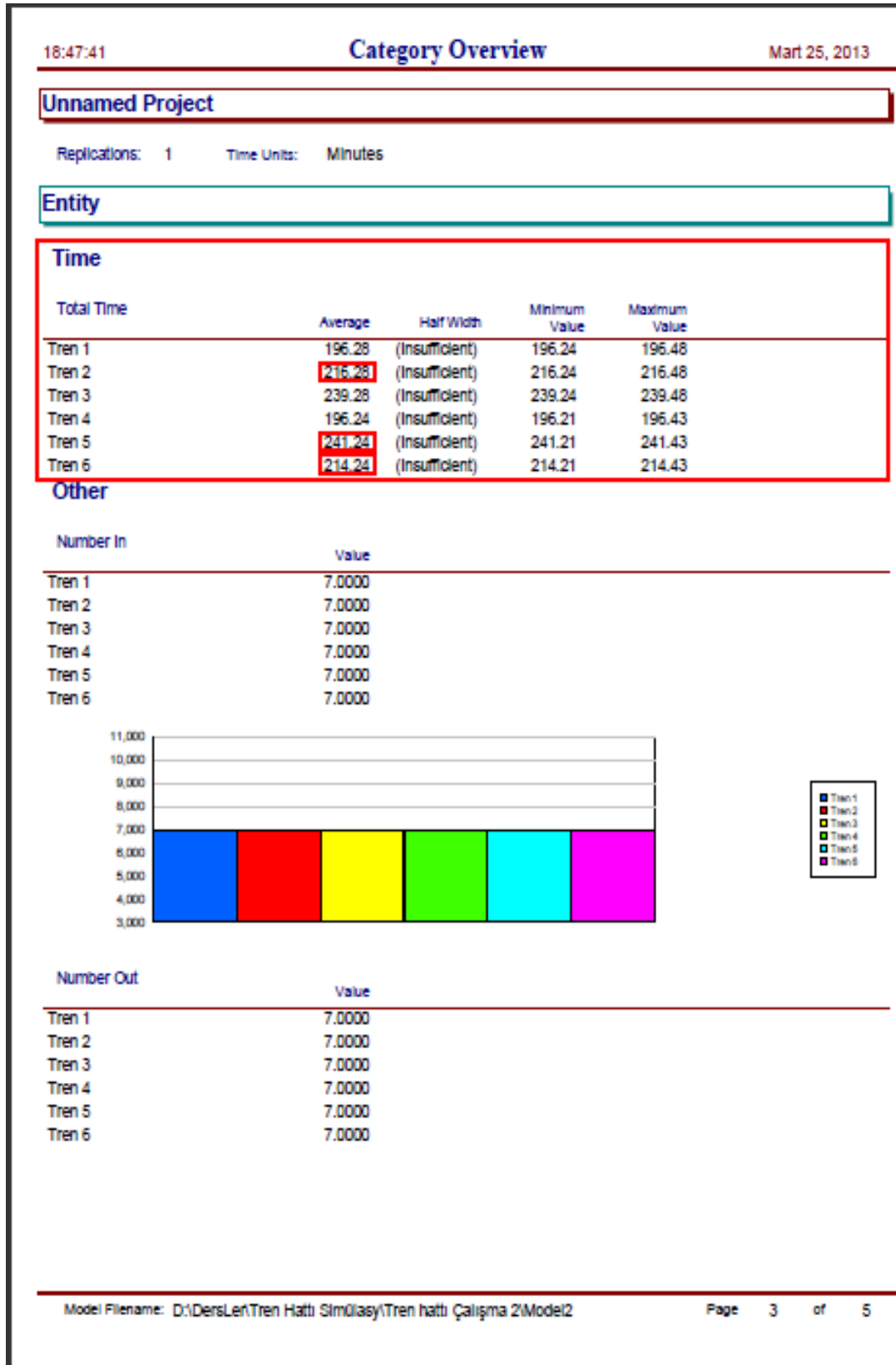




**EK 2: BELİRLİ KISIMLARIN ÇİFT HAT YAPILDIĞI SİMÜLYASYON  
SONUCU (DEVAM)**

18:47:41		Category Overview			Mart 25, 2013	
<b>Unnamed Project</b>						
Replications: 1		Time Units: Minutes				
<b>Entity</b>						
<b>Time</b>						
<b>VA Time</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
Tren 1	196.00	(Insufficient)	196.00	196.00		
Tren 2	216.00	(Insufficient)	216.00	216.00		
Tren 3	239.00	(Insufficient)	239.00	239.00		
Tren 4	196.00	(Insufficient)	196.00	196.00		
Tren 5	241.00	(Insufficient)	241.00	241.00		
Tren 6	214.00	(Insufficient)	214.00	214.00		
<b>NVA Time</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
Tren 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Tren 2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Tren 3	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Tren 4	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Tren 5	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Tren 6	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
<b>Wait Time</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
Tren 1	0.03657143	(Insufficient)	0.00	0.2400		
Tren 2	0.03657143	(Insufficient)	0.00	0.2400		
Tren 3	0.03657143	(Insufficient)	0.00	0.2400		
Tren 4	0.03042857	(Insufficient)	0.00	0.2130		
Tren 5	0.03042857	(Insufficient)	0.00	0.2130		
Tren 6	0.03042857	(Insufficient)	0.00	0.2130		
<b>Transfer Time</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
Tren 1	0.2400	(Insufficient)	0.2400	0.2400		
Tren 2	0.2400	(Insufficient)	0.2400	0.2400		
Tren 3	0.2400	(Insufficient)	0.2400	0.2400		
Tren 4	0.2130	(Insufficient)	0.2130	0.2130		
Tren 5	0.2130	(Insufficient)	0.2130	0.2130		
Tren 6	0.2130	(Insufficient)	0.2130	0.2130		
<b>Other Time</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
Tren 1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Tren 2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Tren 3	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Tren 4	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Tren 5	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Tren 6	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Model Filename: D:\Dersler\Tren Hattı Simülasyonu\Tren hattı Çalışma 2\Model2		Page 2 of 5				

**EK 2: BELİRLİ KISIMLARIN ÇİFT HAT YAPILDIĞI SİMÜLASYON SONUCU (DEVAM)**



**EK 2: BELİRLİ KISIMLARIN ÇİFT HAT YAPILDIĞI SİMÜLYASYON SONUCU (DEVAM)**

18:47:41		Category Overview			Mart 25, 2013	
<b>Unnamed Project</b>						
Replications: 1		Time Units: Minutes				
<b>Entity</b>						
<b>Other</b>						
WP	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
Tren 1	0.1338	(Insufficient)	0.00	1.0000		
Tren 2	0.1474	(Insufficient)	0.00	1.0000		
Tren 3	0.1631	(Insufficient)	0.00	1.0000		
Tren 4	0.1337	(Insufficient)	0.00	1.0000		
Tren 5	0.1644	(Insufficient)	0.00	1.0000		
Tren 6	0.1460	(Insufficient)	0.00	1.0000		
<b>Queue</b>						
<b>Time</b>						
<b>Waiting Time</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
Request 1.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Request 2.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Request 3.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Request 4.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Request 5.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Request 6.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
<b>Other</b>						
<b>Number Waiting</b>						
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value		
Request 1.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Request 2.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Request 3.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Request 4.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Request 5.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Request 6.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00		
Model Filename: D:\DersLER\Tren Hatlı Simülasy\Tren hatlı Çalışma 2\Model2		Page 4 of 5				

**EK 2: BELİRLİ KISIMLARIN ÇİFT HAT YAPILDIĞI SİMÜLASYON  
SONUCU (DEVAM)**

18:47:41		Category Overview		Mart 25, 2013	
<b>Unnamed Project</b>					
Replications: 1		Time Units: Minutes			
<b>User Specified</b>					
<b>Tally</b>					
Expression	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value	
1. Tren Son Istasyona Varis Suresi	4701.28	(Insufficient)	381.26	9021.24	
2. Tren Son Istasyona Varis Suresi	5740.28	(Insufficient)	1420.26	10060.24	
3. Tren Son Istasyona Varis Suresi	5951.28	(Insufficient)	1631.26	10271.24	
4. Tren Son Istasyona Varis Suresi	4756.24	(Insufficient)	436.21	9076.21	
5. Tren Son Istasyona Varis Suresi	5618.24	(Insufficient)	1298.21	9938.21	
6. Tren Son Istasyona Varis Suresi	5820.24	(Insufficient)	1500.21	10140.21	
Model Filename: D:\Dersler\Tren Hattı Simülasy\Tren hattı Çalışma 2\Model2		Page 5 of 5			