

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**RAYLI SİSTEMLERDE YOL TASARIMININ ENERJİ TÜKETİMİ  
ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İlhan KESKİN**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**HAZİRAN 2013**







**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**RAYLI SİSTEMLERDE YOL TASARIMININ ENERJİ TÜKETİMİ  
ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İlhan KESKİN  
(301101054)**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Önder GÜLER**

**HAZİRAN 2013**



İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301101054 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **İLHAN KESKİN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**RAYLI SİSTEMLERDE YOL TASARIMININ ENERJİ TÜKETİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Doç. Dr. Önder GÜLER**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**        **Prof. Dr. Sermin ONAYGİL**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ**  
İstanbul Teknik Üniversitesi





*Aileme ve Demiryolculara,*



## ÖNSÖZ

Bu tezi, meslek hayatıma adım attığım endüstri olan raylı sistemler konusunda hazırlamak, gerçekten benim için manidardı. Kısa sürede raylı sistemler mühendisliğindeki ilgi çekici çalışmalara odaklanmak ve katkıda bulunabilmeye çalışmak büyük bir değerdir. Mühendislikte teori ve pratiğin beraber yol alması gerektiğine inanan genç bir mühendis olarak, raylı sistemlerin akademik çalışmalarından, uygulamalarına ve işletmelerine kadar tecrübe sahibi oldum diyebilirim.

Değerli tez danışmanım ve kıymetli hocam Doç. Dr. Önder Güler' e, raylı sistemler konusunda bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim İstanbul Ulaşım A.Ş. teknik adamlarına, enerji sistemleri konularında ufku genişleten Helsinki Aalto Üniversitesi (HUT)' nden Prof.Dr. Matti Lehtonen' e, akademik çalışma mantığımı geliştiren Budapeşte Teknik Üniversitesi (TUB)' nden György Horvath' e, tez hazırlığı sürecinde bilgi desteklerinden ötürü Seçkin Kubilay' a, Günay Tekkale' ye ve kolum, kanadım, daim istinatgahım olan aileme teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2013

İlhan Keskin  
Elektrik Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. RAYLI SİSTEMLERE GENEL BAKIŞ .....</b>	<b>3</b>
2.1 Raylı Sistemler (Demiryolları) ve Gelişimi .....	3
2.2 Ulaşım Piyasasında Raylı Sistemlerin Payı .....	3
2.2. Türkiye Taşıma Payları Açısından Mevcut Durum ve 2023 Hedefi.....	7
2.3 Şehir içi Raylı Sistemler.....	8
2.3.1 Şehir içi raylı sistemlerin tipleri.....	8
2.3.1.1 Metro.....	8
2.3.1.2 Hafif Metro.....	9
2.3.1.3 Tramvay .....	10
2.4 Türkiye’ de Şehir içi Raylı Sistemlerin Durumu .....	13
2.5 İstanbul’ da Şehir içi Raylı Sistemlerin Durumu .....	13
2.6 Raylı Sistemlerde Temel Yapılar .....	16
2.7 Raylı Sistemlerde Güç Sistemi Özellikleri.....	17
2.8 Raylı Sistem Projesi Yapım Aşamaları .....	18
2.9 Raylı Sistemlerde Yol Tasarımı ve Eğimler .....	22
2.9.1 Eğimler.....	22
2.10 Raylı Sistemlerde Enerji Tüketimi .....	24
2.11 Raylı Sistemler Elektrifikasyonu .....	28
2.11.1 Güç Merkezleri (Trafo Merkezleri) .....	29
2.11.2 Katener sistemi.....	32
2.11.2.1 Havai katener sistemi .....	33
2.11.2.1.1 Klasik havai katener hattı.....	33
2.11.2.1.2 Rijit havai katener hattı .....	35
2.11.2.3 Üçüncü Ray sistemleri .....	36
2.12 Raylı Sistem Araçları Sürüş Sistemleri.....	37
2.13 Raylı Sistemlerde Tepe-Vadi Eğrisi(Hump Profile)Düzenlemeleri ile Enerji Kazanımı .....	39
<b>3. RAYLI SİSTEMLERDE BİLGİSAYARLI SİMÜLASYON VE RAILSİM 41</b>	
3.1 RAILSİM Modülleri .....	42
3.2 RAILSİM’ de Modelleme .....	44
3.2.1 Hat Geometrisi, İstasyon Ve Hız Bölgelerinin Oluşturulması.....	44
3.2.2 Araç/Tren Modelinin Oluşturulması.....	44
3.2.3 RAILSİM TPC Modülü .....	47
<b>4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI.....</b>	<b>53</b>

4.1 Mevcut (Gerçek) Hat Simülasyonu .....	55
4.2 İstasyon Yerleri Değiştirilmiş Hat Simülasyonu .....	58
4.3 Tepe-Vadi Eğrisine Göre Yol Eğimleri Değiştirilmiş Hat Simülasyonu .....	62
4.3.1 Dörtlü Dizi İçin Hat Simülasyonu .....	63
4.3.2 Sekizli Dizi İçin Hat Simülasyonu .....	64
<b>5. ENERJİ MALİYET KAZANIMI DEĞERLENDİRMESİ.....</b>	<b>67</b>
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>69</b>
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>85</b>

## **KISALTMALAR**

<b>TVE</b>	: Tepe-Vadi Eğrisi Sistemi
<b>BTP</b>	: Bir Tam Parkur
<b>ATC</b>	: Otomatik Tren Kontrolörü
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 AB ve Dünya’ da modlara göre yük taşımacılığı.....	4
Çizelge 2.2 Demiryollarında yük ve yolcu taşımacılığı.....	5
Çizelge 2.3 Ülkeler bazında demiryolu (ana hat) uzunlukları.....	5
Çizelge 2.4 Ulaştırma türlerine göre kaza sayısı ve sonuçları .....	6
Çizelge 2.5 Çeşitli ulaşım sistemlerine göre enerji tüketim oranları.....	7
Çizelge 2.6 Türkiye taşıma payları açısından mevcut durum ve 2023 hedefi.....	8
Çizelge 2.7 Raylı sistem türlerinin karakteristikleri.....	12
Çizelge 2.8 2012 yılında ülkemiz bazında raylı sistem hatları ve şirketleri.....	13
Çizelge 2.9 İstanbul genelindeki raylı sistemlerin genel özellikleri.....	14
Çizelge 2.10 Avrupa’ daki güç sistemlerinin özellikleri.....	17
Çizelge 2.11 Raylı sistem hatlarının temel karakteristikleri.....	18
Çizelge 2.12 Yeni bir hatta yapım maliyetlerinin dağılımı.....	21
Çizelge 2.13 Amerika Federal Demiryolu kriterleri.....	23
Çizelge 2.14 Yanaşma sürüş modu ile enerji kazanımı, hız, süre değerleri karşılaştırması.....	39
Çizelge 2.15 Yanaşma sürüş modunun iki farklı profil hattı için enerji kazanımı karşılaştırması.....	39
Çizelge 4.1 Değişen yoğunluktaki araçların gün içi sefer yapma oranı.....	55
Çizelge 4.2 Mevcut hattaki istasyonlar arası mesafeler .....	55
Çizelge 4.3 Mevcut ve düzenlenmiş hatlardaki istasyonlar arası mesafeler.....	60
Çizelge 4.4 Boş araç için metre ve eğimlere bağlı enerji kazanım yüzdeleri .....	63
Çizelge 4.5 Yarı yolcu yükünde metre ve eğimlere bağlı enerji kazanım yüzdeleri.....	63
Çizelge 4.6 Talep yolcu yükünde metre ve eğimlere bağlı enerji kazanım yüzdeleri .....	64
Çizelge 4.7 Tam yolcu yükünde, 8’ li metre ve eğimlere bağlı enerji kazanım yüzdeleri .....	65
Çizelge 5.1 Yıllık sefer hesaplaması. ....	67
Çizelge 5.2 Talep yolcu yükünde, metre ve eğimlere bağlı sefer başına kWh enerji kazanımı.....	68
Çizelge 5.2 Talep yolcu yükünde, metre ve eğimlere bağlı bir yıllık ortalama sefer sayısınca başına kWh enerji kazanımı .....	68
Çizelge 5.2 Talep yolcu yükünde, metre ve eğimlere bağlı bir yıllık ortalama sefer sayısınca TL maliyet kazanımı.....	68



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 Helsinki metrosu-Finlandiya.....	9
Şekil 2.2 İstanbul hafif metro (LRT) hattı.....	10
Şekil 2.3 İstiklal caddesi nostaljik tramvay ve Helsinki tramvayı-Finlandiya.....	11
Şekil 2.4 İstanbul raylı sistem ağı-2012.....	15
Şekil 2.5 Avrupa'daki ana hatların enerji gerilim seviyeleri.....	16
Şekil 2.6 Selanik metro inşaatı.....	20
Şekil 2.7 Demiryolu, traversler ve raylar.....	21
Şekil 2.8 Raylı sistemlerde enerji tüketimi ana dağıtımı.....	24
Şekil 2.9 Yeraltı metro istasyonu enerji tüketim dağılımları-Singapur.....	25
Şekil 2.10 Yerüstü metro istasyonu enerji tüketim dağılımları-Singapur .....	25
Şekil 2.11 Tramvaylarda enerji tüketimi ana paylaşımı.....	27
Şekil 2.12 Hafif metrolarda enerji tüketimi ana paylaşımı.....	27
Şekil 2.13 Metrolarda enerji tüketimi ana paylaşımı.....	28
Şekil 2.14 Araç içi tek hat projesi.....	29
Şekil 2.15 Üç faz-12 dalga doğrultucu giriş ve çıkışları.....	30
Şekil 2.16 Güç besleme sistemi temel elektriksel devre diyagramı.....	31
Şekil 2.17 Güç merkezi genel tek hat diyagramı.....	31
Şekil 2.18 Havai katener hattı.....	33
Şekil 2.19 Havai katener hattı detay kısımları.....	34
Şekil 2.20 Havai rijit katener ve profil kesiti.....	35
Şekil 2.21 Üçüncü ray (sağda) ve demiryolu.....	36
Şekil 2.22 Araç sürüş teknikleri.....	37
Şekil 2.23 Araç sürüş hız grafiği.....	38
Şekil 2.24 Tepe-Vadi Eğrisi profili.....	40
Şekil 3.1 Railsim başlangıç ekranı.....	41
Şekil 3.2 Railsim ana menüsü.....	42
Şekil 3.3 Railsim TPC modülü ekran görüntüsü.....	43
Şekil 3.4 TPC araç editörü ekran görüntüsü.....	45
Şekil 3.5 Araç tipik cer kuvveti eğrisi.....	46
Şekil 3.6 Araç kuvvet eğrisi oluşturma editörü.....	46
Şekil 3.7 Araç karakteristik editörü.....	47
Şekil 3.8 TPC verileri yüklenmiş ve çalıştırılmış şekliyle ekran görüntüsü.....	48
Şekil 3.9 TPC sürme parametreleri girme ekran görüntüsü.....	49
Şekil 3.10 TPC sürüş başlama ve bitiş noktalarını belirleme ekranı görüntüsü.....	49
Şekil 3.11 TPC araç hızı – mesafe grafiği.....	50
Şekil 3.12 TPC net güç –mesafe grafiği.....	50
Şekil 3.13 TPC enerji tüketimi – mesafe grafiği.....	51
Şekil 3.14 TPC mesafe- zaman grafiği.....	51
Şekil 4.1 Metro günüçi yolcu talebi.....	54
Şekil 4.2 Metro günüçi ortalama araçıçi yolcu yoğunluğu.....	54

<b>Şekil 4.3</b> Mevcut istasyon yerleri .....	56
<b>Şekil 4.4</b> Dörtlü araç dizi resmi.....	56
<b>Şekil 4.5</b> Bir tam parkurda aracın normal hatta enerji tüketimi değerleri.....	57
<b>Şekil 4.6</b> Hat dikey profilinin, mevcut ve düzenlemiş istasyon yerlerinin çizimi.....	59
<b>Şekil 4.7</b> Bir tam parkurda, farklı yolcu yüklerinde, 1.tip ve 2.tip tasarımdaki araç enerji tüketim değerleri .....	60
<b>Şekil 4.8</b> Bir tam parkurda, farklı yolcu yüklerinde, 1.tip ve 2.tip tasarımdaki araç enerji tüketim kazanımı yüzdeleri.....	61
<b>Şekil 4.9</b> TVE' ye göre hat düzenleme.....	62

## RAYLI SİSTEMLERDE YOL TASARIMININ ENERJİ TÜKETİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

### ÖZET

İnsanlık gelişiminden günümüze kadar, insanoğlunun en büyük hedeflerinden biri ürünlerin ve yolcuların ulaştırılması olmuştur. Genellikle ulaşımdaki en temel icatların tekerleğin, demiryolunun ve uçağın keşfi olduğu kabul edilir.

Raylı sistemler günümüzde de sadece uzak mesafe ulaştırmaları için değil aynı zamanda şehir hayatının bir parçası olmuştur. Metro, hafif metro ve özellikle tramvay hatları şehirlerin sembolü ve en hareketli sistemleri haline gelmiştir. Raylı taşımacılık şehir içi ulaşımda diğer ulaştırma türlerine göre daha ekonomik, güvenli ve sürdürülebilir bir ulaştırma biçimi olmasından ötürü tercih edilen, devamlı ilgi ve yatırımı artan bir ulaştırma türüdür.

Ulaştırmada enerji tüketiminde raylı sistemlerin kcal/yolcu-km değeri 104 iken otomobillerde 705 kcal/yolcu-km ve uçaklarda 564 kcal/yolcu-km olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, raylı sistemlerin toplam ulaştırma içindeki payı her geçen gün yeni yatırım ve projelerle artmaktadır. Raylı sistemlerin kullanımının artışından dolayı, bu sistemlerde enerji verimliliği ve tasarruf projeleri önemli bir konu haline gelmiştir.

Tez konusu bağlamında daha proje aşamasında yapılabilecek tasarımlarla enerji tüketimini azaltmaya yönelik konular irdelenmiştir. Genel enerji tüketiminde temel tüketicilerden biri olan araç tüketimini etkileyen faktörler belirtilmiştir. Bu faktörlerde araç tasarımının yanı sıra yol tasarımının etkisi üzerinde durulmuştur.

Yol tasarımında tepe-vadi eğrisi sistemi ile enerji kazanımı yapılabileceği, çeşitli makalelere konu olmuş, ancak detaylı bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu tepe –vadi eğrisi (TVE) tasarımına göre istasyon giriş ve çıkışlarında yapılabilecek eğim düzenlemeleri ile enerji kazanımı elde edilebileceğinden hareketle, öncelikle istasyon yerlerinin projelendirilmiş olan bir hat üzerinde yerlerinin değişimi TVE’ ye uygun olacak şekilde yapılmıştır. Daha sonra planlanan istasyon yerlerinin öncesinde artan, sonrasında azalan eğimler ile araç ivmelenmesi ve frenlemesi için mekaniksel enerji tasarrufu sağlanarak enerji tüketimi kazanımı hedeflenmiştir.

Yapılan simülasyonlar sonucunda TVE sistemine göre düzenlenmiş hatta enerji tüketimlerinde azalmalar olmuştur. Bunda da en büyük etkenin eğim derecesi olduğu görülmüştür.



# **RAILWAY TRACK DESIGNING EFFECTS ON ENERGY CONSUMPTION**

## **SUMMARY**

Transporting of the goods and the people have been one of the biggest purposes of the human development in technology. Inventions of the wheel, plane and development of the railroads have been accepted as main inventions on transportation.

In today's world railway systems are not only for the long-way transportation purposes but they also became the live part of the city life. Metro, Light Rapid Transit and especially trams have been the symbols and one of most dynamic systems of the cities. Since the railway systems are safer, more economical and sustainable than the other systems with the increasing demand and investments they are the preferable solution for the transportation

In transportation industry, while the energy consumption value at railway systems is 104 kcal per passenger-km, the value for the cars is 705 and for the planes 564 kcal per passenger-km. From that comparison it can be easily made sense that railway systems are extremely eco-friendly systems according to the other transportation systems. By the way, the ratio of the railway usage to the all transportation kinds is increasing with the new investments and constructions. In that point, using energy-efficient systems and developing energy savings in railways systems has been considered as an important mission.

In that thesis, the reduction of the energy consumption of metro systems by developing new designs during the project phase has been studied. Besides defining the vehicles as the main electrical energy consumers of the railways, the effect of track design on metro energy consumption has also been discussed.

In some technical articles, scientist has touched to the hump profile design effects on energy consumption reduction but it could not been studied the numerical results or simulation on this topic. Due to the hump profile design, it can be replaced with increasing grades before railway station and decreasing grades after station to achieve mechanical energy reduction. With that target, at the beginning of studies it has been thought to change the station replacement. Since the technical limitation the idea has changed to give grade to the track alignment before and after stations. In railway systems vertical and horizontal alignment of the track geometry are under some limitation which cannot be exceed. Especially in metro lines, vertical grades has limited up to %4 depending on vehicles technical designs. Hence, metro track alignments has studied due to that and other technical limits. According to hump profile design, grades from %1 to %4 has studied for the energy consumption reduction on metro vehicle by giving after and before stations.

Simulation results shows that energy reduction can be achieved by changing the track design according to hump profile. Therefore, in that reduction grade level-changing on different distance- is important criteria in track design.









## 1. GİRİŞ

Modern ekonomilerin dayandığı temel dinamiklerden biri, insan ve eşyanın amacına uygun olarak taşınabilmesidir. Hareketlilik yaşam kalitesinin temel dinamiği olduğundan, büyüyen nüfus ve ekonomi sonucunda ortaya çıkan yeni hareketlilik gereksinimlerinin karşılanabilmesi için daha etkin bir ulaştırma altyapısının oluşturulması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Ulaştırma sektörü, karayolları, demiryolları, havayolları, denizyolları ve bilgi-iletişim altyapısı ile ülke ekonomisinin en temel unsurlarından biridir. Ekonomik ve sosyal girdileriyle toplumu sürekli etkileyen bir yapıya sahip olan ulaştırma sektörü, üretim sürecinin önemli bir parçasını oluşturması ve önemli yatırımların ekonomide yarattığı etkileri açısından, ülkelerin ekonomik yapıları içinde ağırlıklı bir yere sahiptir.

Raylı sistemler şehiriçi ulaştırmada güvenilir,kesintisiz ve enerji tasarruflu sistemler olarak düşünüldüğünden, hemen hemen her büyük şehirde birkaç hat özellikle de metropol şehirlerde ise vazgeçilmez olarak bir ağ şeklini almıştır. Raylı sistemlerin üstünlükleri günümüzde mevcut ve planlanan bir çok hattın yapımına da gerekçe olmuştur.

Artan raylı sistem hatları, şehiriçinde hareket eden yolcuların birim enerji tüketiminin azalmasına neden olurken aslında genel olarak toplamda raylı sistemlerin enerji tüketiminin diğer ulaştırma araçları arasındaki payı artmaktadır. Bu bağlamda da enerji dostu bu sistemlerde de enerji verimliliği esas haline gelmiştir. Araçların enerji tüketiminden, elektrifikasyon ve istasyon alt sistemlerine kadar bir çok enerji tüketim noktasında enerji tasarruf projeleri araştırılmakta ve uygulanmaktadır.

Tez çalışmasında, raylı sistemlerin enerji tüketimlerini etkileyen konular sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmada ayrıca tüketim farklılığına neden olan yol tasarımı üzerinde durulmuştur. Bu yol tasarımında da ana etkenin eğimler olduğu görülmüştür.

Tez çalışmasının amacı, yapım öncesinde oluşturulacak yol eğimleri ile TVE sistemi oluşturularak, raylı sistemlerin işletilmesi sırasındaki enerji tüketimlerinin azaltılabileceğinin gösterilmesidir. Her ne kadar bu tasarımlar enerji maliyetlerini düşürse de inşaat maliyetlerinin de göz önüne alınması gerekmektedir. Bu çalışmadaki asıl amaç yol tasarımı ile enerji kazanımı elde edilebileceğini gözlemlemektir.

Tez çalışmasında ilk olarak mevcut planlanmış ve projelendirilmiş bir hattaki bir aracın yolcu yüküne bağlı olarak bir tam parkurundaki elektrik enerji tüketimi simülasyon programı aracılığı hesaplanmış, daha sonra mevcut hat TVE sistemini oluşturmak için istasyon yerleri değiştirilerek yeniden düzenlenmiş ve bu durum için elektrik enerji tüketimleri simülasyon programı aracılığı ile hesaplanmıştır. Son olarak mevcut hat üzerindeki istasyon yerleri değiştirilmeden TVE oluşturulması amaçlanmıştır. Bu nedenle, istasyonlar öncesi ve sonrasında 100m' den başlayarak 500m' ye kadar 100' er metre artırılarak %1' den %4' e kadar eğimler oluşturulmuştur. Oluşturulan her durumda farklı yolcu yükü için simülasyonlar tekrarlanarak, elektrik enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Bu tez çalışması ile raylı sistemlerin hat geometrisi üzerinde yapılabilecek tasarım düzeltmeleri ile işletme süresince önemli oranda enerji kazanımlarının elde edildiği görülmüştür.

## **2. RAYLI SİSTEMLERE GENEL BAKIŞ**

Demiryolları, ilk defa 19.yüzyılın başında İngiliz maden ocaklarında şekillenmeye başlamıştır. Demiryolunun başlıca özelliği tekerleğin metal-metal teması ile bir hat tarafından kılavuzlu hareketidir. Bu hareket demiryolu aracına bir dereceli serbestlik sağlar.

### **2.1 Raylı Sistemler (Demiryolları) ve Gelişimi**

Demiryollarının gelişimi, endüstri gelişiminden, özellikle buharın kullanılması, kömür ve demir madenlerinin yaygın olarak işlenmesinden oldukça etkilenmiştir. İlk demiryolu hatları 1830 yıllarında birçok Avrupa kentinde işletmeye alınmıştır. Birçok demiryolu kurumu 20.yüzyılın başında tam kapasitede çalışmıştır. Demiryolunun bu kadar gelişmesinde en önemli etken, yüksek hız imkanı ile hızlı ulaşım imkanı sağlamasıdır. 1835' de İngiltere'de 100 km/saat, 1890 yılında Fransa'da 144 km/saat, 1903 yılında Almanya' da 213 km/saat hıza ulaşılmıştır. Maksimum işletme hızları çok daha az olmasına (test hızının  $\frac{1}{2}$  veya  $\frac{2}{3}$ ' ü) rağmen, bu hız kapasitesindeki artış, demiryolu ulaşımının hızlı gelişimine katkıda bulunmuştur [1].

20.yüzyılın başında elektrikli sistemlerin devreye girmesi ile demiryolları daha fazla gelişmiş ve 2.Dünya Savaşı öncesinde merkezi kontrol ve sinyalizasyon sistemlerinin gelişimi ile 1950' li yıllarda şimdiki raylı sistemler şeklini almaya başlamıştır [2].

### **2.2 Ulaşım Piyasasında Raylı Sistemlerin Payı**

Batı Avrupa ülkelerinde raylı ulaşımın payı düşüktür, demiryollarının 1992 yılında yolcu ulaşımındaki payı ortalama %7,2 ve yük taşımacılığında ise %17' dir. Buna karşın, Doğu Avrupa ülkeleri (40 yıldan fazla merkezi ekonomik planlama) demiryollarını kendi kamu alanında işleterek toplum ulaşım içindeki payını yüksek tutmuştur. Bundan dolayı bu ülkelerde yük taşımacılığında demiryollarının payı

1980’li yılların ortasında yaklaşık %60-80 olmuştur. Buna karşın ekonominin liberalleşmesi ile demiryollarının payı oldukça düşmüştür ve 1950-1995 yılları arasında %50 dolayına gerilemiştir [1].

Çizelge 2.1’ de AB ve dünyada yük taşımacılığının modlara göre ayrımı ele alınmıştır. Buna göre ABD, Çin ve Rusya’ nın demiryollarını çok daha etkili kullanarak, taşımalarının ciddi bir kısmını demiryollarıyla gerçekleştirdikleri; AB-27 bünyesinde sahip olunan demiryolu ağının ise diğer ülkelere göre uzun olmasına karşın, taşımalarda kullanımın karayolu ve denizyolu ağırlıklı olduğu görülmektedir. Türkiye’ de ise taşıma işlemlerinde ağırlıklı olarak karayolu kullanılmaktadır [3].

**Çizelge 2.1 AB ve dünyada modlara göre yük taşımacılığı [3]**

Tür	Milyar ton- km					
	2008	2007	2008	2007	2008	2009
	AB-27	ABD	Japonya	Çin	Rusya	Türkiye
Karayolu	1877,7	1922,9	346,4	1135,5	216,3	181,4
Demiryolu	442,7	2656,6	22,3	2379,7	2116,2	10,1
İç Ulaşım Su Yolu	145,3	472,3	*	1559,9	64	*
Boru Hattı	124,1	814,2	*	186,6	2464	*
Deniz Yolu	1498	333	187,5	4868,6	85	*

Çizelge 2.2’ de Avrupa ülkelerinin demiryollarına ait yük ve yolcu taşımacılığına ile ilgili değerler verilmektedir [4].

**Çizelge 2.2 Demiryollarında yük ve yolcu taşımacılığı (x milyon)**

Ülkeler	A	B	C	D	E	F	G
Belçika	3386	977	3139	16015	290	932	4766
Danimarka	2349	277	1688	3821	118	719	1627
Almanya	41718	8926	18944	168460	214	454	4038
İspanya	12280	1081	4273	21458	88	348	1755
Fransa	31939	5295	15799	63694	166	495	1994
Yunanistan	2474	234	869	11118	95	351	4494
İtalya	16003	3201	13494	75159	200	843	4697
İrlanda	1954	114	331	1884	58	169	964
Lüksemburg	275	76	146	2277	276	531	8280
Hollanda	2739	533	2611	4818	195	953	1759
Portekiz	2850	315	1380	3711	111	484	1302
İngiltere	16564	600	8314	1353	36	502	82
Avusturya	5672	1196	3792	21639	211	669	3815
Finlandiya	5880	656	957	14618	112	163	2486
İsveç	9782	776	1633	1455	79	167	1519
Türkiye	8607	685	1509	18532	80	175	2153
AB ortalaması	10390	1617	5158	28334	150	519	2905

A: Hat Uzunluğu (km)

B: Lokomotif Sayısı

C: Yolcu Vagon Adedi

D: Yük Vagon Adedi

E: Hat uzunluğu Başına Lokomotif Sayısı ( x1000)

F: Hat Uzunluğu Başına Yolcu Vagon Sayısı ( x1000)

G: Hat Uzunluğu Başına Yük Vagon Sayısı

Çizelge 2.3' de ülkeler bazında demiryolu (ana hat) uzunlukları verilmiştir. 2009 yılında Türkiye hat uzunluğu Almanya ile kıyaslandığında dörtte bir, İtalya ve İngiltere' nin de yarısı kadardır [3].

**Çizelge 2.3 Ülkeler bazında demiryolu (ana hat) uzunlukları (toplam yol/km)**

Ülke Adı	2007	2008	2009
ABD	226706	227058	226205
Rusya	84158	84158	85194
Çin	63637	60809	65491
Hindistan	63327	63327	63273
Kanada	57042	57216	58345
Fransa	29488	29901	33778
Almanya	33897	33862	33706
İtalya	16668	16862	16959
İngiltere	16208	16321	16173
Türkiye	8697	8699	8686

Dünya genelinde insanlar ulaşımda güvenliğe daha duyarlı olmaya başlamıştır. Karayoluna göre aynı trafikte demiryolu kazasında ölüm riski 55 kez ve yaralanma riski 2000 kez daha azdır. Bu, demiryollarının önemli bir üstünlüğüdür. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) 2011 verilerinden, ulaştırma türlerine göre kaza sayısı ve sonuçları Çizelge 2.4' te sunulmuştur [4].

**Çizelge 2.4 Ulaştırma türlerine göre kaza sayısı ve sonuçları [4]**

	2007	2008	2009	2010	2011
Karayolu	825561	950120(1)	1053346(1)	1106201(1)	1228928(1)
Denizyolu(2) Kaza	117	206	147	194	132
Demiryolu Sayısı	394	386	299	194	177
Havayolu	11	2	6	5	9
Karayolu	5007	4236	4324	4045	3835
Denizyolu(2) Ölü	18	10	18	22	11
Demiryolu Sayısı	108	111	89	69	71
Havayolu	60	3	7	3	5
Karayolu	189057	184468	201380	211496	238074
Denizyolu(2) Yaralı	3	8	4	49	28
Demiryolu Sayısı	204	247	303	142	112
Havayolu	3	1	17	*	6

1) 2008, 2009, 2010 ve 2011 yıllarında Emniyet Genel Müdürlüğü sorumluluk bölgesinde meydana gelen kazalara tarafların anlaşarak kendi aralarında tutanak tanzim ettiği maddi trafik kaza sayıları dahil edilmiştir.

(2) Denizyolunda meydana gelen olaylar da dahildir.

Raylı ulaşımda metalin metalle teması ile raylar üzerinde kılavuzla hareketi, yuvarlanma sürtünmesini önemli miktarda azaltır (3kg/t daha az). Bundan dolayı demiryolu ulaşımda aynı çekim kuvveti ile daha fazla yük taşımak mümkündür ve karayoluna göre aynı yük için harcanan enerji daha azdır [5]. Çizelge 2.5' te Türkiye için 2007 yılına ait yolcu trafik türüne bağlı enerji tüketimleri görülmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi enerji tüketim indisinin en düşük değeri demiryolu taşımacılığına ait olduğu görülmektedir.



**Çizelge 2.5 Çeşitli ulaşım sistemlerine göre enerji tüketim oranları [5]**

Yolcu Trafik Hacı	Trafik Hacmi (100 milyar yolcu-km)	Enerji Tüketimi (10 Milyar kcal)	Enerji Tüketimi (kcal/yolcu-km)	İndis Sayılar
Demiryolları	3,215	3,365	104	1
Otobüsler	1,304	1,544	149	1,4
Otomobiller	3,607	25,432	705	6,8
Uçaklar(İç hat)	306	1,727	564	5,4

## 2.2. Türkiye Taşıma Payları Açısından Mevcut Durum ve 2023 Hedefi

Ülkemiz; 21. yüzyılda dünyada stratejik ve ekonomik ağırlığı giderek artacak olan Avrasya Bölgesi'nde merkezi bir konumdadır. Bu da bölgenin ve Türkiye'nin gerek ekonomik büyüme potansiyelini ortaya koyması ve gerekse önümüzdeki dönemde daha etkin bir güç odağı konumuna gelmesi için önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu çerçevede, bölge ülkelerine yönelik yeni girişimlerin yapılması ve bölgede bugüne kadar gerçekleştirilen işbirliğinde yeni aşamalara ulaşılması önem taşımaktadır. Doğu ile batı arasında bir köprü niteliğinde olan Türkiye'nin jeopolitik konumu, ulaştırma sektörünü bölgesel ekonomik kalkınma açısından önemli bir noktaya taşımıştır. Hem bir transit ülkesi hem de çıkış ve varış noktası olması sebebiyle, Türkiye bu alanda önemli bir rol üstlenmektedir. Ciddi mali istikrarsızlık ve Avrupa Birliği'ne tam üyelikle ilgili yakın tarihli uluslararası gelişmeler ve Türkiye'nin Orta Asya ve Güney Kafkasya ticarinde giderek daha fazla rol oynamaya başlamış olması, ulaştırma konusunu daha da önemli kılmaktadır. Çizelge 2.6' da Türkiye taşıma payları açısından mevcut durum ve 2023 hedefleri gözükmektedir [6].

**Çizelge 2.6 Türkiye taşıma payları açısından mevcut durum ve 2023 hedefi**

Taşıma Payları Ton-Km (Yurtiçi Yük)	Mevcut Durum (%)	2023 Sonu Hedefi (%)
Karayolu	80,63	60
Demiryolu	4,76	15
Havayolu	0,44	1
Denizyolu	2,66	10
Boru Hatları	11,51	14

Taşıma Payları Yolcu-Km (Yurtiçi Yolcu)	Mevcut Durum (%)	2023 Sonu Hedefi (%)
Karayolu	89,59	72
Demiryolu	2,22	10
Havayolu	7,82	14
Denizyolu	0,37	4

Avrupa'daki demiryolu ile ilgili kuruluşlar ve AB, 2020 hedef yılı için pazar payının yolcuda %6' dan %10' a, yükte %8' den %15' e çıkarılmasını hedeflemiş bulunmaktadır. Türkiye açısından ise hedeflerin gerçekleşmesi, hatta bir atılımı öngören stratejik yaklaşım ile, 2023 yılı sonunda demiryolunun yük taşımacılığındaki payını %15' in üzerine çıkarılabilmesi ve yolcu taşımacılığında ise %10' un üzerine çıkarılabilmesi hedeflenmiştir.

### **2.3 Şehir içi Raylı Sistemler**

Şehir içi raylı sistemler sınıflandırılırken en önemli kriter sistemin yolcu kapasitesidir. Ticari hız, bir dizideki vagon sayısı, aracın ivmesi, yolun geometrik özellikleri, sinyal sistemi, karayolu ile kesişme noktalarının varlığı, istasyon uzunlukları, istasyonlar arasındaki mesafe, yoğun saatte dizi çalıştırma sıklığı gibi parametreler kapasite ile ilişkili olan faktörlerdir. 2013 yılı rakamlarına göre dünya genelinde yapımı tamamlanmış 161 metro hattı vardır.

#### **2.3.1 Şehir içi raylı sistemlerin tipleri**

Şehir içi raylı sistemler Bölüm 2.3' deki kriterler bağlamında temel olarak üç tip olarak tasarlanmakta ve işletilmektedir. Bunlar metro, hafif metro ve tramvaydır.

##### **2.3.1.1 Metro**

Tek yönde saatteki yolcu kapasitesi 60000 - 70000 arasında olan şehir içi raylı toplu ulaşım sistemidir. Genellikle 1435 mm ray açıklığına sahip, 4' lü, 6' lı ve 8' li

araçlardan oluşan diziler halinde seyir ederler. Metrolar, katener veya 3.ray hattından enerji alan, sinyalizasyon sistemine sahip, maksimum seyir hızı 70km/h- 90km/h olan şehir içi raylı sistemlerdir. Metrolarda genellikle istasyonlar yeraltında olmaktadır. Bu da metro inşaat maliyetlerinin yüksek olmasında büyük etkindir. Genellikle 750V DC veya 1500V DC işletme gerilimi kullanılır. Günümüzde hemen hemen hepsi otomatik kontrol sistemine (ATC) sahip olarak işletilmektedir. Şekil 2.1' de Helsinki metrosuna ait bir görüntü verilmektedir.



**Şekil 2.1 Helsinki metrosu- Finlandiya**

### **2.3.1.2 Hafif Metro**

Tek yönde saatteki yolcu kapasitesi 34000 - 35000 civarında olan, genellikle 2' li, 3' lü veya 4' lü diziler halinde ve katener hattı ile çalışan sistemlerdir. İstasyonlar arası mesafeler metrolara göre daha kısadır ve otomatik kontrol sistemi ve tam sinyalizasyon ile çalışabileceği gibi, bir makinist tarafından ilgili sinyalizasyon sistemi bağlamında sürüşü gerçekleştirilebilir. Kendine ait rezervli hattı olmasına karşın, bazen yer altı bazen de yerüstü istasyonlara sahip, aç-kapa,yarma,viyadük ve kısa tünellerden ve genellikle zemin seviyesinden oluşan hattı mevcuttur. Maksimum seyir hızı 60km/saat - 80km/saat' tir. Şekil 2.2' de İstanbul Hafif Metro (LRT) hattına ait bir görüntü verilmektedir.



**Şekil 2.2 İstanbul hafif metro (LRT) hattı**

### **2.3.1.3 Tramvay**

Diğer şehiriçi raylı sistemlerden farklı olarak genellikle kendisine ait rezervli hattı olmayan, karayolu ulaşım araçları ile aynı yolu ve trafik sistemini kullanabilen ve maksimum seyir hızı 40km/h olan raylı sistem türüdür. İstasyonları hemzemin istasyon olup bazı uygulamalarda harici istasyon kullanmayanları da mevcuttur. Caddede tramvayında istasyonlar arası mesafe oldukça kısadır. Araçlar alçak tabanlı, hemzemin istasyonlara uygun olacak şekilde tasarlanmıştır.

Genellikle tekli veya ikili dizi halinde seyir ederler. Yatay kurp çapları 25 metreye düştüğünden dolayı ara sokak ve caddelere rahatlıkla dönebilmektedirler. Diğer metro sistemlerine göre maliyeti, enerji tüketim değerleri, birim yolcu taşıma kapasiteleri oldukça düşüktür. Genellikle bir makinist tarafından sürüşü gerçekleştirilir. En eski tramvaylarda 600V DC işletme gerilimi kullanılırken, günümüzde tramvaylarda 750V DC işletme gerilimi kullanılmaktadır. Şekil 2.3' de İstiklal Caddesi Nostaljik Tramvay ve Helsinki Tramvayı-Finlandiya' ya ait görüntüler verilmektedir.



**Şekil 2.3 İstiklal Caddesi nostaljik tramvay ve Helsinki tramvayı-Finlandiya**

Çizelge 2.7’ de raylı sistem türlerine ait karakteristikler detaylı olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 2.7 Raylı sistem türlerinin karakteristikleri [7]**

Karakteristikler	Raylı sistem türü				
	Hafif metro	Metro	Banliyö	Şehirlerarası Tren	Hızlı Tren
Taşıtlar	Modern Körüklü Otomotris Vagonlar	Modern Yerü veya Yerü Otomotris Vagon	Lokomotifle Çekilen veya Otomotris Vagonlar	Lokomotifle Çekilen Vagonlar	Lokomotifle Çekilen veya Otomotris Vagonlar
Tren Uzunluğu	1-3 Vagon	4-10 Vagon	2-8 Vagon	2-14 Vagon	8-12 Vagon
Çekim Sistemi	Katanerden Alınan Elektrikle	3. Raydan Alınan Elektrikle	Elektrik veya Dizel-Elektrik (A)	Elektrik veya Dizel-Elektrik	Katanerden Alınan Elektrikle
Yol Gereksinimleri	Yeni Bir Yol	Yeni Bir Korunmuş Yol	Mevcut Demiryolu Hatları	Mevcut Demiryolu Hatları	İyileştirilmiş Demiryolu Hatları veya Yeni Hatlar
Ortalama Yol Uzunluğu (km)	5-25	10-25	30-80	80-3000	150-800
Ortalama İstasyon Aralığı (km)	0,4 - 1,6	0,8 - 3,2	3,2 - 8	8 - 80	15 - 80
İstasyon Peronları	Alçak - Yüksek	Yüksek	Alçak	Alçak	Yüksek
Tipik Ücret Toplama Yöntemi	Self - Servis	İstasyonda	Taşıtta	Taşıtta	İstasyon veya Taşıtta
Maksimum Hız (km/sa)	80	110	130	130 - 150	200 - 400
Ortalama Hız (km/sa)	15 - 30 ( B ) 30 - 50 ( C )	40 - 65	50-80	60-120	160-250
Kullanıldığı Yolculuklar	Yoğun kentsel Bölgeler İçinde	Yoğun Kentsel Bölgeler İçinde	Metropol Bölgelerde, Banliyöler ile Merkezi İş Alanlarına Sahip Kent Merkezleri Arasında	Kentler Arasında Uzun Mesafeli	Büyük Metropol Bölgeler Arasındaki Uzun Mesafeli
Minimum Sefer Aralığı	5 - 10 dk	5 - 10 dk	30 - 60 dk	1 - 2 saat	30 - 60 dk
Normal Sefer Aralığı	10 - 20 dk	10 - 20 dk	1 - 3 saat	günlük	1 - 2 saat

Not :(a) Oto motrisler, dizel-elektrik, dizel-hidrolik ya da dizel-mekanik olabilir

(b) Yolun diğer karayolu araçları ile ortak kullanımı

(c) Sisteme özgün korunmuş yol bulunması

## 2.4 Türkiye’ de Şehiriçi Raylı Sistemlerin Durumu

Son yıllarda genel raylı sistem politikası bağlamında hızlı trenler,yeni metro ve tramvay hatları ülkenin dört bir yanında inşa edilmektedir. Çizelge 2.8’ de ülkemizdeki şehiriçi raylı sistem hatları ve uzunlukları verilmiştir.

**Çizelge 2.8 2012 yılında ülkemiz bazında raylı sistem hatları ve şirketleri**

Raylı Sistem	Raylı Sistem Tipi	Hat Uzunluğu(km)
İstanbul Ulaşım A.Ş.	Metro,Hafif Metro,Tramvay, Füniküler, Teleferik	111
Ankaray	Metro	8,7
İzmir Metro A.Ş	Metro	11,5
Adana Ulaşım A.Ş	Hafif Metro	13,5
Antray (Antalya)	Nostaljik Tramvay, Hafif Raylı Sistem	16,5
Kayseray	Kayseri Tramvay	17,5
Konyaray	Tramvay	20,0
Samray(Samsun)	Hafif Raylı Sistem	15,7
Estram (Eskişehir)	Tramvay	32,0
Bursaray	Hafif Metro	31,0

## 2.5 İstanbul’ da Şehiriçi Raylı Sistemlerin Durumu

Günümüz İstanbul’ unda raylı sistemler nüfusa oranla yeterli olmamakla birlikte, son yıllarda hizmete açılan yeni hatlar ile yakın ve orta vadede planlananlarla raylı sistemlere gerekli önemin verildiği gözlenmektedir. Şuanda İstanbul’ da 111km’ lik raylı sistem hatları hizmet etmektedir ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi’ nin internet sitesinde belirtilmiş planlamalara göre 293 km’ lik raylı sistem ağına erişilmesi hedeflenmektedir. Şekil 2.4’ te İstanbul’da tamamlanmış raylı sistemler gösterilmiştir. Çizelge 2.9’ da ise İstanbul genelindeki raylı sistemlerin özellikleri detaylı gösterilmiştir.

**Çizelge 2.9 İstanbul genelindeki raylı sistemlerin genel özellikleri [8]**

Hat Tipi	No	Güzergah	Faaliyete Geçiş Yılı	Uzunluk (km)	İstasyon	Sefer Süresi (dk)	Günlük Ort.	Sefer Sayısı	Sefer Sıklığı (Zirve) (dk)	Günlük Ort. Yolcu	Kapasitesi
Hafif Metro	M1	Aksaray-Havalimanı	1989-2002	19,6	18	32	180	5	220.000		
Metro	M2	Şişhane-Haciosman	2000-2011	16,5	13	27	240	4	230.000		
Metro	M3	Başakşehir-Kirazlı	2012	15,9	11	20	-	5	70.000/saat*		
Metro	M4	Kadıköy - Kartal	2012	22	16	32	-	4	700.000/gün*		
Tramvay Nostaljik	T1	Karaköy-Bağcılar	1992-2006	18,5	31	65	295	2	320.000		
Tramvay	T3	Kadıköy - Moda	2003	2,0	10	20	82	10	1.800		
Tramvay	T4	Topkapı - Habibler	2007-2009	15,3	22	42	165	5	95.000		
Finiküler	F1	Karaköy - Taksim	2006	0,594	2	5	195	3	30.000		
Teleferik	T1	Maçka - Taşkışla	1993	0,347	2	5	90	5	1.000		
Teleferik	T2	Eyüp - Piyerloti	2005	0,384	2	8	200	5	4000		

\*Teorik planlanmış değer

- Mevcut olmayan değerler



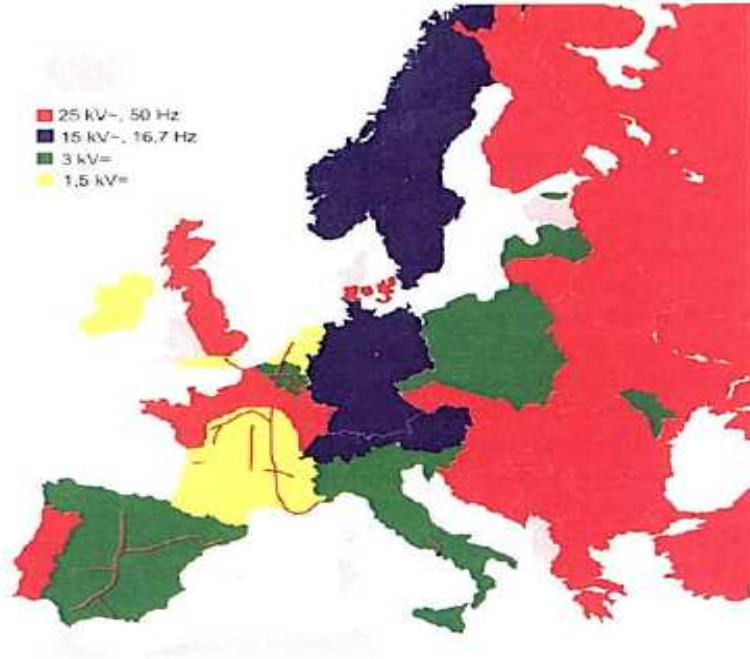


## 2.6 Raylı Sistemlerde Temel Yapılar

Raylı sistemlerle ilgili tesisler, demiryolu bölümü (Alt yapı, viyadükler, köprüler, tüneller, demiryolu ray inşası, istasyon inşaları vb.) ve elektromekanik bölümü olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Elektromekanik bölüm ise raylı sistem araçları (Metro, tramvay, şehir hatları, banliyö araçları vs.) ve elektrifikasyon olarak ikiye ayrılmaktadır. Elektrifikasyonu oluşturan alt sistemler ise aşağıdaki şekildedir;

- Cer trafo merkezleri (Güç merkezleri)
- Katener sistemi veya 3.ray
- Sinyalizasyon, haberleşme, SCADA sistemleri
- Depo ve bakım tesisleri

Dünyada ve Türkiye’ de demiryolu elektrifikasyonu AC veya DC gerilimle yapılmaktadır. Alman ve diğer Avrupa demiryollarında AC 15kV, 55kV, 110kV veya 132kV 16,7Hz katener hatları cer gücü sisteminin parçası olarak hizmet etmektedir. Şekil 2.5’ te Avrupa’ daki ana hatların enerji gerilim seviyeleri gösterilmektedir [8].



Şekil 2.5 Avrupa’ daki ana hatların enerji gerilim seviyeleri [8]

## 2.7 Raylı Sistemlerde Güç Sistemi Özellikleri

Şehir içi metro ve tramvay hatlarında 600V, 750V, 1500V ve 3kV kullanılmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları ( TCDD ) şehirlerarası ve banliyö hatlarında 25kV 50Hz, nostaljik tramvaylarda 600V DC, tramvaylarda 750V DC ve hafif metro ile metro sistemlerinde 750V/1500V DC hatlar kullanılmaktadır. Küresel olarak elektrik katener sistemlerinin yarısından çoğunda doğru akım kullanılmaktadır. Çizelge 2.10' da farklı ülkelerdeki hat tiplerine göre, enerji besleme çeşitleri, aracın enerji naklini sağlayan pantograf genişliği ile bu pantografin katener hattındaki gezinme değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.10 Avrupa' daki raylı sistemlerin güç özellikleri [8]

Ülke	Özellikler		
	Enerji Besleme Çeşitleri	Gezinme (mm)	Pantograf Genişliği
<b>Fransa</b>			
Yüksek Hızlı Trenler	AC 25 kV 50 Hz	200	1450 veya 1600
Geleneksel Hatlar	DC 1,5 kV	200	1600 veya 1950
<b>Almanya</b>			
Yüksek Hızlı Trenler	AC 15 kV 16,7 Hz	300	1600 veya 1950
Geleneksel Hatlar	AC 15 kV 16,7 Hz	400	1950
<b>Avusturya</b>			
Geleneksel Hatlar	AC 15 kV 16,7 Hz	400	1950
<b>Danimarka</b>			
Geleneksel Hatlar(2)	AC 25 kV 50 Hz	275	1950
<b>İspanya</b>			
Yüksek Hızlı Trenler	AC 25 kV 50 Hz	300(3) veya 200(4)	1950 ve 1600
Geleneksel Hatlar	DC 3 kV	200	1950
<b>Hollanda</b>			
Yüksek Hızlı Trenler	AC 25 kV 50 Hz	200	1600
Geleneksel Hatlar(1)	DC 1,5 kV	350	1600 veya 1950
<b>Portekiz</b>			
Geleneksel Hatlar	AC 25 kV 50 Hz	200	1450 veya 1600
<b>İtalya</b>			
Yüksek Hızlı Trenler	DC 3kV veya 25 kV 50 Hz	300	1600
Geleneksel Hatlar	DC 3 kV	300	1600
<b>Belçika</b>			
Yüksek Hızlı Trenler	AC 25 kV 50 Hz	200	1450 veya 1600
Geleneksel Hatlar	DC 3 kV	350	1950
<b>İngiltere</b>			
Yüksek Hızlı Trenler	AC 25 kV 50 Hz	200	1600
Geleneksel Hatlar	DC 0,75kV veya 25 kV 50 Hz	230	1600

(1) Planlanan Yüksek Hızlı Trenler

(2) Planlanan Geleneksel Hatlar

(3)Madrid-Sevilla Yüksek Hızlı Tren

(4)Madrid-Barcelona Yüksek Hızlı Tren

Şehir içi raylı sistem taşımacılığında hızlar, istasyon mesafeleri ve yol durumları ortalama seyir hızı genellikle sistemin türüne göre değişmekle birlikte bu hızlarda yol tasarımı, yol rezervasyonu, elektrifikasyon (tahrik gücü ve katener tasarımı) yapısı, sinyalizasyon gibi etkenler rol oynamaktadır. Çizelge 2.11’ de raylı sistem türlerine göre temel karakteristikler gösterilmektedir.

**Çizelge 2.11 Raylı sistem hatlarının temel karakteristikleri [8]**

<b>Özellikler</b>	<b>Tramvay</b>	<b>Hafif Raylı Sistemler</b>	<b>Metro Hatları</b>
<b>Araç Genişlikleri</b>	2,20 - 2,30 m	2,30 - 2,65 m	2,50 - 3,00 m
<b>Ortalama Hız</b>	20 - 25 km/h	25 - 40 km/h	> 40 km/h
<b>Ayrılmış Yol/Şerit İstasyonlar Arası Uzaklık</b>	-	merkezi yerlerde	özel ayrılmış
	<400 m	400 - 800 m	500 - 1000 m

## **2.8 Raylı Sistem Projesi Yapım Aşamaları**

Raylı sistemlerin faydaları, yolculuk süresinin kısalması, ulaştırma maliyetlerinin düşmesi, kazaların azalması, servis kalitesinin iyileşmesi, bölgesel ve ulusal gelişme, ulaştırma güvenliğinin artması, ulusal entegrasyonun sağlanması şeklinde özetlenebilir. Bir raylı sistem projesinin kararı, politikacı, ekonomist ve mühendislerin katıldığı çok yönlü bir çalışmanın ürünüdür. Fizibilite çalışmaları alternatifler arasında ekonomik olarak projenin seçilmesinde kullanılan güçlü bir araçtır. Fizibilite çalışmaları alternatif projeler arasındaki fayda-maliyet karşılaştırmalarını verir. Toplam maliyetler yapım ve işletme maliyetleri kısımlarından oluşur.

Projenin yapılmasına karar verildikten sonra ilk atılması gereken adım etüt çalışmasıdır. Zaman serileri modeli, regresyon modeli, çekim modeli, ekonometri modeli gibi yöntemlerle, projenin beklenen yolcu talebi de mümkün oldukça doğru bir şekilde belirlenmelidir. Bu aşamada beklenen yolcu ve yük trafik sayıları, talep edilen yolculuk süreleri, hattın geçtiği bölgeler ve nüfus yoğunlukları çıkartılmalıdır. Beklenen talep tahminlerine göre mevcut en uygun işletme araç tipi belirlenebilir. Her bir aracın karakteristik gücü ise aracın maksimum hızı, ivmesi ve maksimum

eğimidir. Buna karşın fizibilite çalışmalarında hesaplanan yolculuk süreleri normal ve maksimum hızları, bunlar da maksimum kurp yarıçaplarını belirler.

İlk etüt başlangıcında mühendislik açısından mümkün oldukça veri toplamalı, en azından da aşağıdaki bilgiler ön etütte yer almalıdır:

- 1/50 000 veya 1/ 25 000 ölçekli harita
- Mevcut hava fotoğrafları (Uydudan çekilmiş)
- Arazi kullanımı, şehir planları, tarım planları
- Mevcut jeolojik, hidrolojik, meteorolojik ve diğer teknik bilgiler
- Çalışma alanı ile ilgili önceki raporlar

Bu ön etüt çalışmasında tüm uygun güzergahlar araştırılmalıdır. Ön etüt çalışmasında hat güzergahı koridoru, düzlük bölgelerde 50m genişlikte ve dağlık arazilerde 2km ve daha fazla genişlikte tanımlanır. Her alternatif güzergah ve boyuna kesitler incelenmelidir. Tasarım mühendisi, iyi bir düşey profil elde etmek için eğimleri ve kurpları gerektiğinde değiştirerek düzeltir. Bunlara dayanarak önemli teknik projelerde kamuya faydası ve tahmini maliyetleri hesaplanmalıdır.

Taslak dizaynında genelde 100 m aralıklarla 1/5000 ölçekli planlar kullanılır. Bu aşamada aşağıdaki konularla ilgili çalışmalar yapılır:

- Gelecek trafik ve işletme talepleri
- Dingil yükü ve ekartman parametreleri
- Eğimler, minimum yarıçap ve diğer güzergah karakteristikleri
- Altyapı ve drenaj durumu
- Köprü ve tüneller
- İnşa planları

Bu aşamanın sonunda seçilen çözüm detaylı etütte ayrıntılı olarak incelenir. Detaylı etüt genelde zor alanlarda 1/2000 veya 1/1000 ölçekli haritalarda, kent bölgelerinde 1/1000 veya 1/2000 ölçekli haritalarda hazırlanır. Bu aşamada hız, eğim, kurp, zemin mekaniği ile daha iyi bir yaklaşım elde etmek için birkaç çalışma yapılır. Hat yerleştirilmeden önce alt yapı uygun bir şekilde iyileştirilir ve %3-5'lik bir yatay eğim verilir. Özel vagonlarla yol taşları (balast yapısı için) sahaya taşınır, hatta serilir ve sıkıştırılır.

Balast tabakasının üstünü kazıyan kazıyıcıyı çekmek için bir vinç veya hafif bir araç, balastı sıkıştırmak için tekerlekli veya plakalı vibratörler kullanılır. Şekil 2.6' da Selanik Metro inşaatına ait bir görüntü verilmektedir.



**Şekil 2.6 Selanik metro inşaatı**

Raylar ve traversler daha kompleks makinelerle yerleştirilir. Günümüzde Plasser & Theurer SVM 1000S yol döşeme trenleri ile bir saatte 600m yol döşemek mümkündür. Raylar uzun kaynaklı olarak ve dikkatli bir şekilde yapılır. Başka önemli bir konu da rayların temizliği ve oksitlenme ile paslanmamasıdır. Traversler doğru ve eşit mesafelerde yerleştirilir. Traversler arasındaki mesafeler ve traverslerin yanal doğrultusundaki düzgünlüğü de önemlidir. Şekil 2.7' de travers ve raylara ait bir görüntü verilmektedir.



**Şekil 2.7 Demiryolu, traversler ve raylar**

Bağlantı elemanları ve ray altı elastik plakalar traverslere düzgün bir şekilde monte edilir. Bağlantı elemanlarının tamirat görmemesi istenir ama gerektiği takdirde pahalı olmamalı ve kolay monteli olmalıdır. Hat yerleştirildikten sonra raylar makine ile yerleştirilir [2].

Yeni bir raylı sistem hattının yapım maliyeti raylı sistem tipine, güzergah özelliklerine, özellikle köprü-tünel sayısına ve ebatlarına, kamulaştırma maliyetine ve işçilik maliyetine bağlıdır.

Yeni hatlarda farklı raylı sistem alt sistemlerinin yapım maliyetleri çok farklılık göstermektedir. Çizelge 2.12, Fransa, İspanya, Yunanistan ve Almanya' nın verilerine göre büyük arkeolojik yapıların olmadığı hatlarda ortalama maliyet yüzdelerini göstermektedir [1].

**Çizelge 2.12 Yeni bir hatta yapım maliyetlerinin dağılımı**

Altyapı	45-30%
Sanat Yapıları	10-25%
Hat	20%
Sinyal ve telekomünikasyon	10%
Elektrik çekim	10%
Proje	5%

## 2.9 Raylı Sistemlerde Yol Tasarımı ve Eğimler

Raylı sistemlerde hat geometrisi birçok parametreden oluşur. Her bir parametrenin birbiri üzerinde etkisi ve esasında temel fizik kaideleri ile çeşitli ülkelerdeki oluşturulmuş kabuller ve standartlar kullanılmaktadır. Bu parametreler şöyle sıralanabilir:

- Hat ekartmanı, travers aralıkları ve ray-tekerlek mesafeleri
- Yatay kurplar ve geçiş eğrileri
- Dever (Merkezkaç kuvvetine karşı yapılan yoldaki açısız eğrilik)
- Dairesel kurplar ve yarıçapları
- Eğimler
- Düşey eğim kurpları

Tez çalışması kapsamında, enerji kazanımı konusunda tasarım çalışmaları hat geometrisi üzerinde yapılacağından 2.9.1' nci bölümde eğimler konusuna detaylı değinilmiştir.

### 2.9.1 Eğimler

Raylı sistemlerde inşa maliyetlerini azaltmak için, mümkün oldukça hattın boyuna profilinin, zemin profiline uyması gerekir. Raylı sistemlerde boyuna eğimler, karayoluna göre oldukça düşük olabilmektedir [2].

Uygulanabilecek maksimum eğim, raylı sistem fiziksel standartlarına, araçların güç karakteristiği, elektrifikasyon ve araç mekanik tasarımına bağlıdır. Karışık trafik ve 200km/saat hızda olan cari hatta maksimum eğim %1,2 - 1,6 arasındadır.

Alman demiryollarında ana hatlarda maksimum eğim %1,25 iken, Fransa TGV (yalnız yolcu trafiği) hattında ise %3,5'dur. TCDD' de azami eğim %4 olarak kabul edilmiştir.

Aracın dikey tırmanması (adhezyon) sorunlarından dolayı maksimum eğim %4 sınırına zorlukla ulaşabilir. Örneğin, hafif metro sistemlerinde, dingillerin yarısı tahriklidir bu yüzden eğim %4' e kadar çıkabilir. Bu eğimlerin üzerinde askılı veya föniküler sistemleri kullanılabilir. Örneğin İstanbul' daki Taksim Karaköy föniküler sisteminde %22' lere varan eğimler mevcuttur.



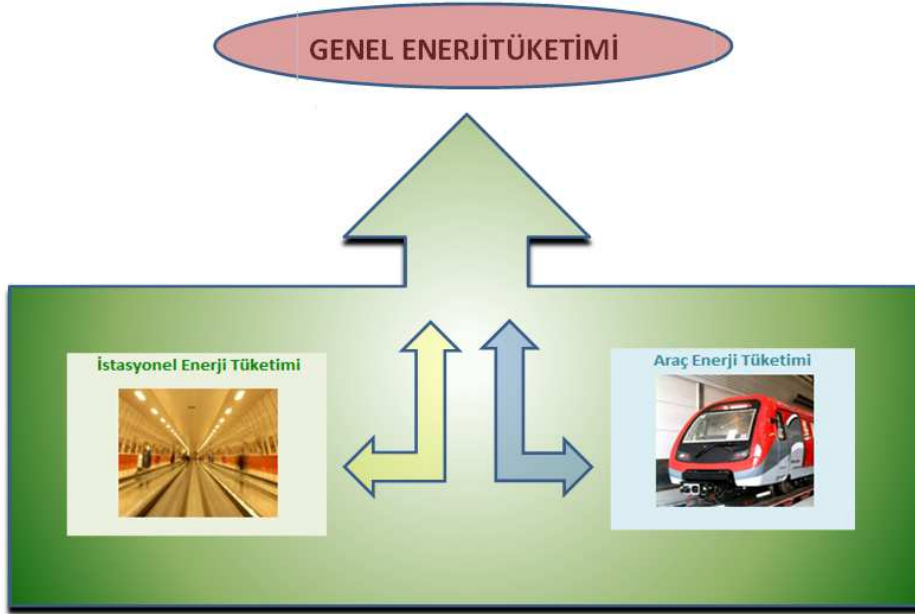
İstasyonlarda ve tali yollarda eğimin düz olması istenir ama %0,1' e izin verilir [2]. Ancak bakım atölyeleri,depo ve park bölgelerinde eğim kesinlikle sıfır (0) olmalıdır. Çizelge 2.13' de Amerikan Federal demiryollarının yol ile ilgili detaylı kriterleri gözükmektedir. Bu değerler bir çok ülke tarafından kabul edilmiş ve uygulanan kriterler olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Çizelge 2.13 Amerikan federal demiryolu kriterleri[5]**

<b>Kriterler</b>	<b>İstenenler</b>	<b>Zorunlu durumda</b>
Ters kurblar arasında asgari aligman uzunluğu	0,57 V, Araç boyu 60 m	9,5 m, boji aralığı+aks aralığı
Asgari yatay kurp yarıçapı (Balastlı hat)		90 m
Asgari yatay kurp yarıçapı (Balastsız hat)	35 m	25 m
Asgari yatay kurp yarıçapı (Tali hat)	30 m	25 m
Asgari developman boyu	0,57 V	15 m
Birleşik kurplar arasında asgari parabol boyu	$L_s=0,38 (d_2-d_1)$ , $L_s=0,006 (hd_2-hd_1)$ , $L_s=0,008 (d_2-d_1)V$	$L_s=2(d_2-d_1)$ veya 20 m
Azami dever	100 mm	150 mm
Azami dever eksikliği	40 mm	115 mm
Asgari parabol boyu	20 m, 0,38d, 0,008 Vhd, 0,0046 Vd	10 m
Düşey kurplar arası minimum rampa boyu	30 m, 0,57 V	12 m
Mak.eğim(kurp some noktaları arası >750 m'den fazla)	4%	
Mak.eğim(kurp some noktaları arası 150-750 m)	6%	
Mak.eğim(kurp some noktaları arası 150 m'den az)	7%	
Min.eğim(balastsız hatta drenaj için)	0,20%	
Tali hattın mak.eğim(Tali hat)	0	1%
Mak.eğim(istasyon)	0	2%
Mak.eğim(makas)	0	4,50%
Asgari düşey kurba boyu	60Δ (tercih30Δ) 60 m	Tepe - $\Delta V^2/215$ Dere - $\Delta V^2/387$ , 45 m
Asgari düşey kurba yarıçapı	250 m(tepe kurp), 350 m(dere kurp)	100L /eğim farkı
Makasa giriş ve çıkışta minimum aliyman uzunluğu	15 m	6 m
Yatay ve düşey kurp birleşimi		R=50 m ve Rv=500 m R=27 m ve Rv=350 m (dere) R=30 m ve Rv=250 m (tepe)
Peron başlarındaki asgari aliyman uzunluğu	20 m	15 m

## 2.10 Raylı Sistemlerde Enerji Tüketimi

Raylı sistemler (Metro, Hafif Metro-LRT- ve Tramvay) hatlarının enerji tüketimleri genel olarak Şekil 2.8’ de gösterildiği gibi, araç cer gücü enerji tüketimi (Dinamik Yükler) ve istasyyonel yükler (Sabit Yükler) olmak üzere iki temel gruba ayrılır.

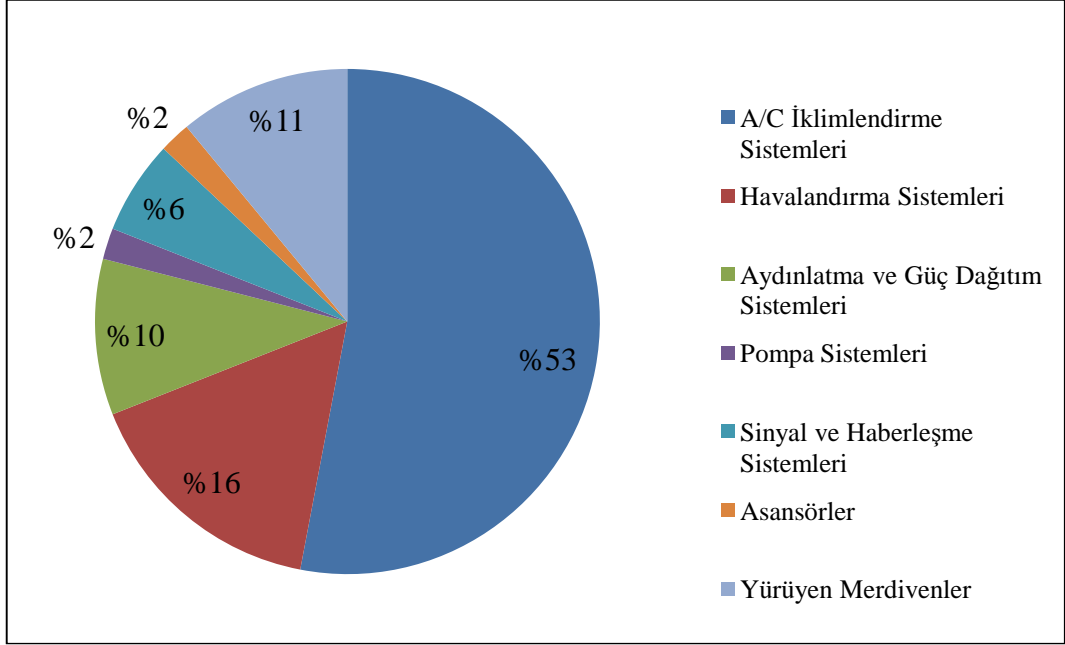


**Şekil 2.8 Raylı Sistemlerde Enerji Tüketimi Ana Dağıtımı**

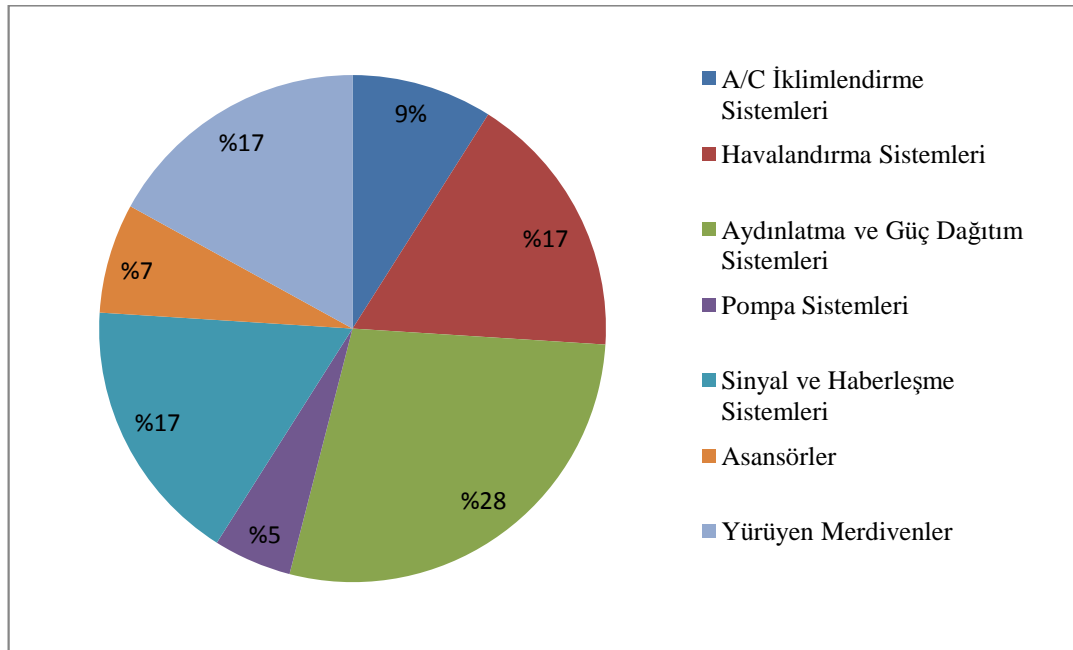
İstasyonel (sabit) yükler; aşağıdaki alt ana tüketicilerden oluşmakta ve bu alt sistemlerin adedi ve tasarıma bağlı olarak istasyyonel (iç ihtiyaç) enerji tüketimlerini oluştururlar.

- Aydınlatma
- Yürüyen Merdivenler
- Asansörler
- Havalandırma
- İklimlendirme
- Diğer (Ofis ve Ticarethaneler)

Şekil 2.9 ve 2.10' da Singapur metrosunda bulunan yer altı ve yerüstü istasyonlarına ait istasyonlardaki alt sistemlerinin enerji tüketim oranları verilmiştir. Bu farklılıktaki temel etken birinin yeraltı istasyon değerinin ise yerüstü istasyon olmasıdır.



Şekil 2.9 Yer altı metro istasyonu enerji tüketim dağılımları – Singapur [9]



Şekil 2.10 Yerüstü metro istasyonu enerji tüketim dağılımları - Singapur [9]

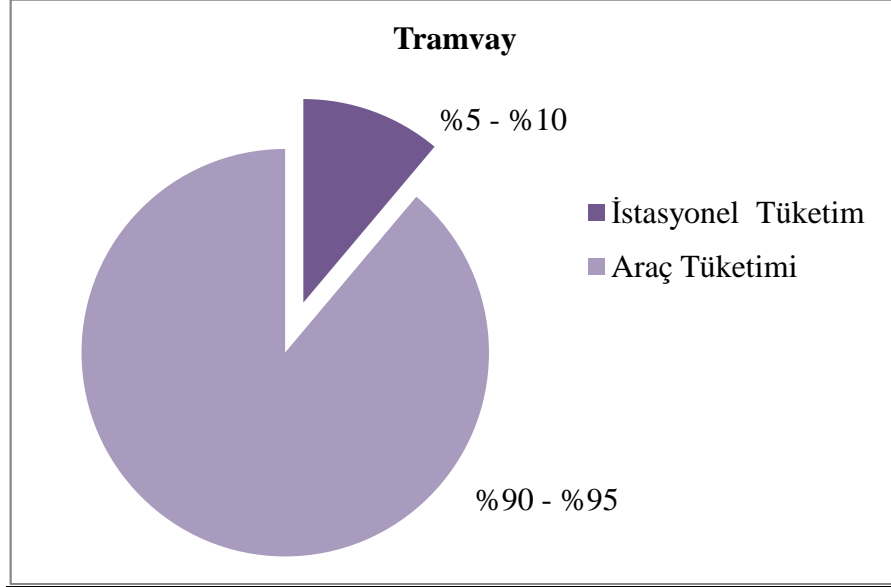
Araç cer gücü enerji tüketimi(dinamik yükler) ise

- Hattın geometrik yapısına;
- Hattın düşey ve yatay geometrisine
- Eğimlere ve kurplara,
- Hız limitlerine,
- İstasyon yerleri ve istasyonlar arası mesafelere
- Araç Karakteristiğine,
  - Araç mekaniksel ve elektriksel tasarımına
  - Kullanılan araç-motor gücü ve karakteristiğine
  - Tren dizisi oluşturulma setlerine (MC-M-T-M)
  - Araç yüküne
  - Araç iç enerji tüketimine
  - Araç sürüş tekniğine ve moduna
  - Rejeneratif (frenleme) vb. enerji tasarruf sistemlerinin kullanımına vb.
- Dağıtım ve enerji tesisleri sistemine,
  - Katener dizaynına(havai katener/3.Ray)
  - Kullanılan gerilim seviyesine (750V/1500V)
  - Trafo (Güç ) Merkezleri tasarım,adet ve yerleşimine
  - Kablo dağıtım,nakil hatlarının yapısına ve dizaynına
  - Enerji kayıplarına
- Trafik İşletmesine ;
  - Sefer sayısına
  - Sefer sıklığına
  - Tren dizisi oluşturulma setlerine
  - Yolcu ve araç yüküne
  - Hız limitlerine,

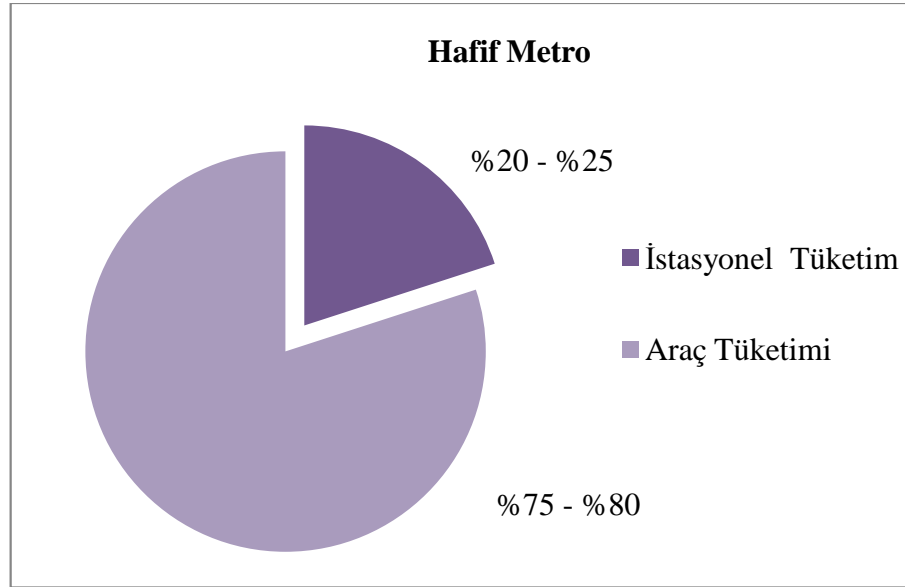
vb. bir çok nedene bağlıdır.

Dinamik ve sabit yüklerin elektrik enerji tüketim oranları raylı sistem tipine göre değişmektedir. Bunda da en büyük etken yukarıda belirttiğimiz sabit yüklerin ve dinamik yüklerin kriterlerdir.

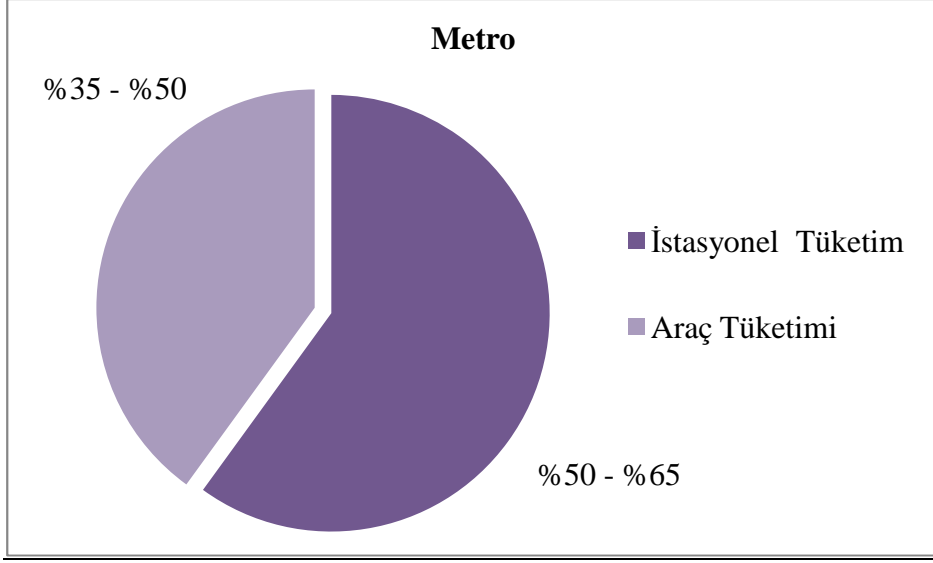
Metro, hafif metro ve tramvayda istasyonel yüklerin araç tüketimine oranları dünya üzerindeki sistemlere göre farklılık göstermekle beraber yaklaşık olarak oranlar Şekil 2.11, 2.12 ve 2.13' deki gibidir [10].



**Şekil 2.11 Tramvaylarda enerji tüketimi ana paylaşımı**



**Şekil 2.12 Hafif metrolarda enerji tüketimi ana paylaşımı**



**Şekil 2.13 Metrolarda enerji tüketimi ana paylaşımı**

Sabit yüklerin ve dinamik yüklerin kriterlerinde yapılabilecek enerji tasarruf çözümleri toplam enerji tüketimini direkt olarak etkilemektedir. Bu tez kapsamında dinamik yüklerin konusu olan araç cer gücü tüketimi değişkenlerinden hat geometrisi üzerindeki düzenlemelerin, enerji tüketimi üzerindeki kazanımı üzerinde durulacaktır.

## **2.11 Raylı Sistemler Elektrifikasyonu**

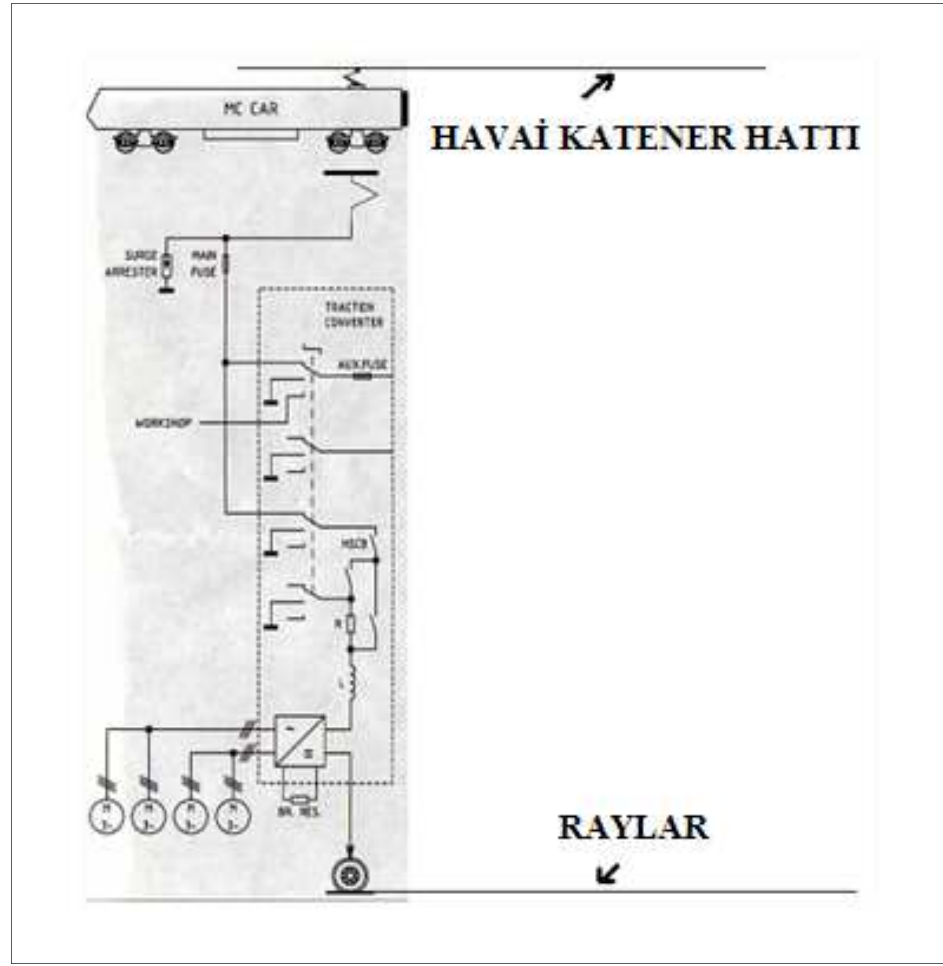
Raylı Sistemlerin elektrifikasyonu aşağıdaki sistemlerden oluşur:

- Güç merkezleri
- Katener/3.ray Sistemi
- Sinyalizasyon/trafik sistemleri
- Haberleşme sistemleri
- SCADA ve uzaktan kontrol sistemleri
- İstasyon ve diğer tesis elektrik-elektronik sistemleri

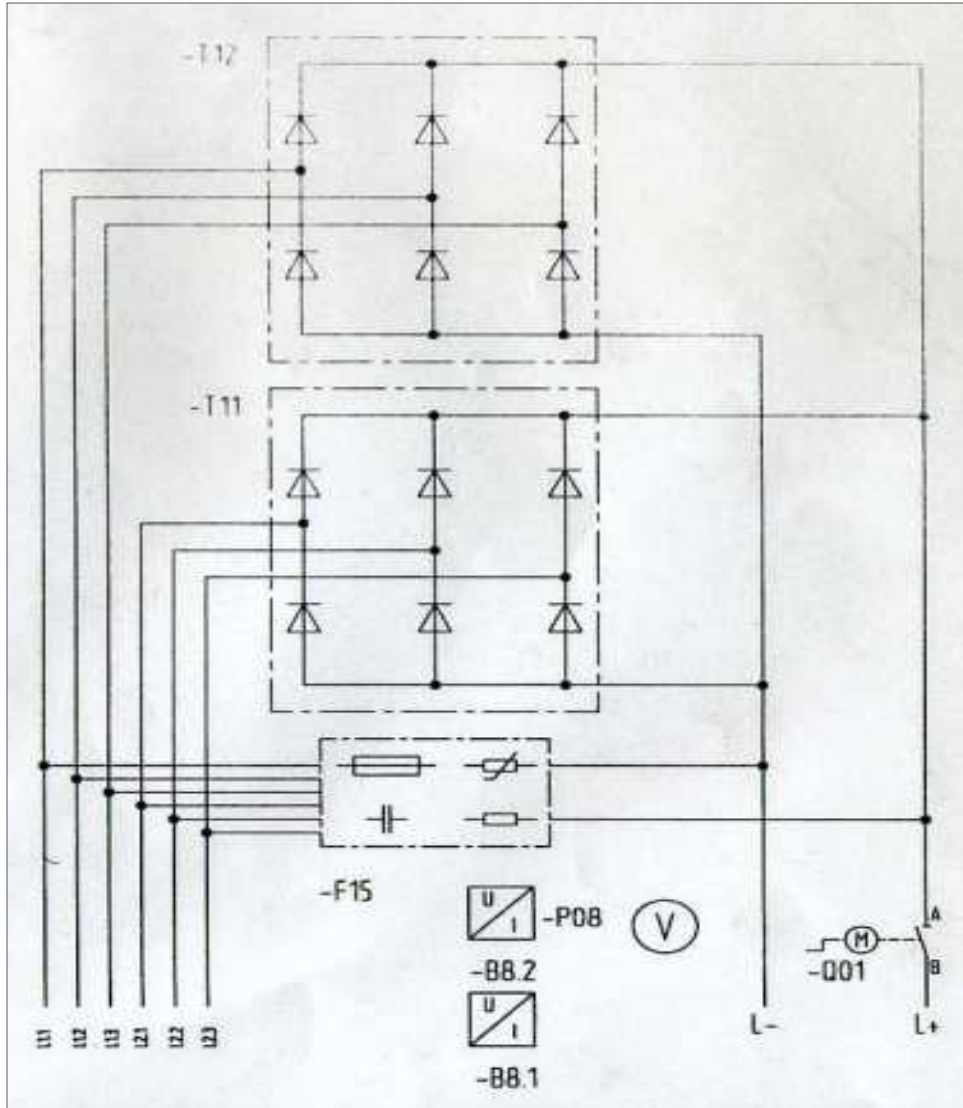
Konu bağlamında enerji tüketiminde direk etkili elektrifikasyon sistemleri incelenecektir.

### 2.11.1 Güç Merkezleri ( Trafo Merkezleri )

Raylı sistem hatlarında araçların ve istasyonlarının elektrik enerjisi, hat boyunca devam eden trafo merkezleri tarafından karşılanmaktadır. Bu merkezler tramvay ve hafif metroda istasyonlardan bağımsız olmasına karşın metro hatlarında istasyonlarla aynı bölgede yer almaktadır. Bu trafo merkezlerinin adedi ve konfigürasyonu raylı sistem tipine ve hat uzunluğuna bağlı olarak değişir. Örneğin; tramvay sisteminde 1,5MVA' lık ikiz transformatör merkezi kullanılmasına karşın, hafif metro da 2,4 MVA ve metro da 3,3 MVA' lık ikiz transformatörler ve onlara uygun doğrultucu grupları kullanılmaktadır. Şekil 2.14' te bir metro aracının iç enerji tüketiminin tek hat şeması ve Şekil 2.15' de ise havai katenera gelen AC gerilimi DC' ye çeviren doğrultucunun tek hat şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Araç içi tek hat projesi



**Şekil 2.15 Üç faz-12 dalga doğrultucu giriş ve çıkışları**

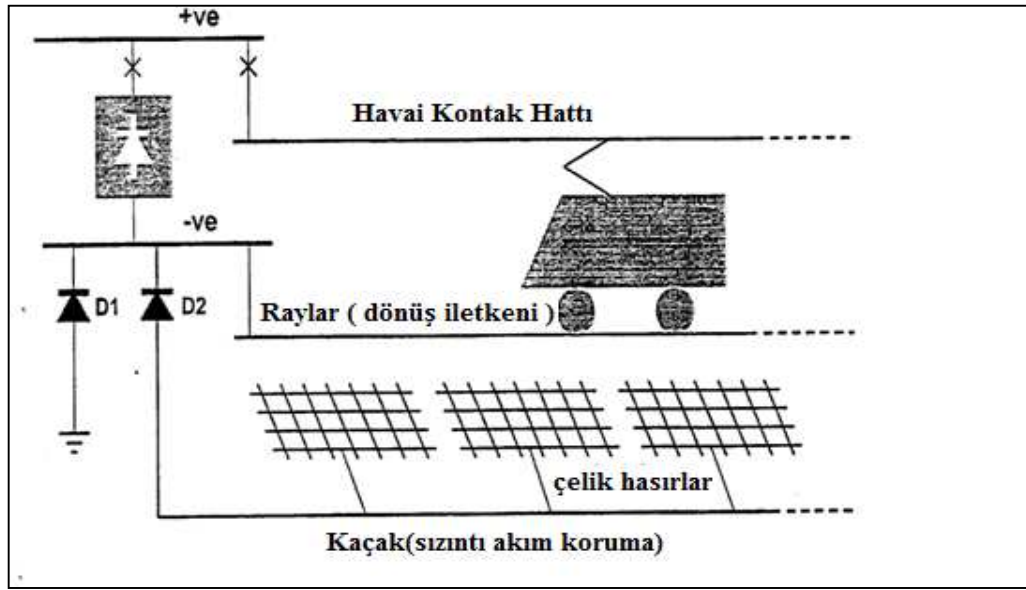
Trafo merkezleri 36kV' luk orta gerilim elektrik enerjisi TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.) yüksek gerilim şalt tesisinden fider aracılığı ile mevcut OG Şalt sistemine kesici üzerinden bağlanır. OG şalt sisteminde doğrultucular AC 36kV/580V'luk trafolar üzerinden beslenir. Her trafo merkezinde ikiz sistem bulunmaktadır. İkiz sistem iki doğrultucu trafosu ve iki doğrultucu ile dört adet çıkış fiderinden oluşmaktadır. Doğrultucular 580V AC gerilimi 750V DC nominal gerilime çevirirler. Bu DC gerilim DC şalt sistemi kesici ve ayırıcı sisteminden geçerek havai katener sistemini veya 3.ray sistemini besler ve pozitif tarafı oluşturur.

1500V' luk sistemler 750V' luk sistemlere göre, şebekeden, dolayısıyla elektrik hatlarından çekilen akımın azalması nedeniyle iletken kayıplarında ( $P=I^2.R$ ) ve



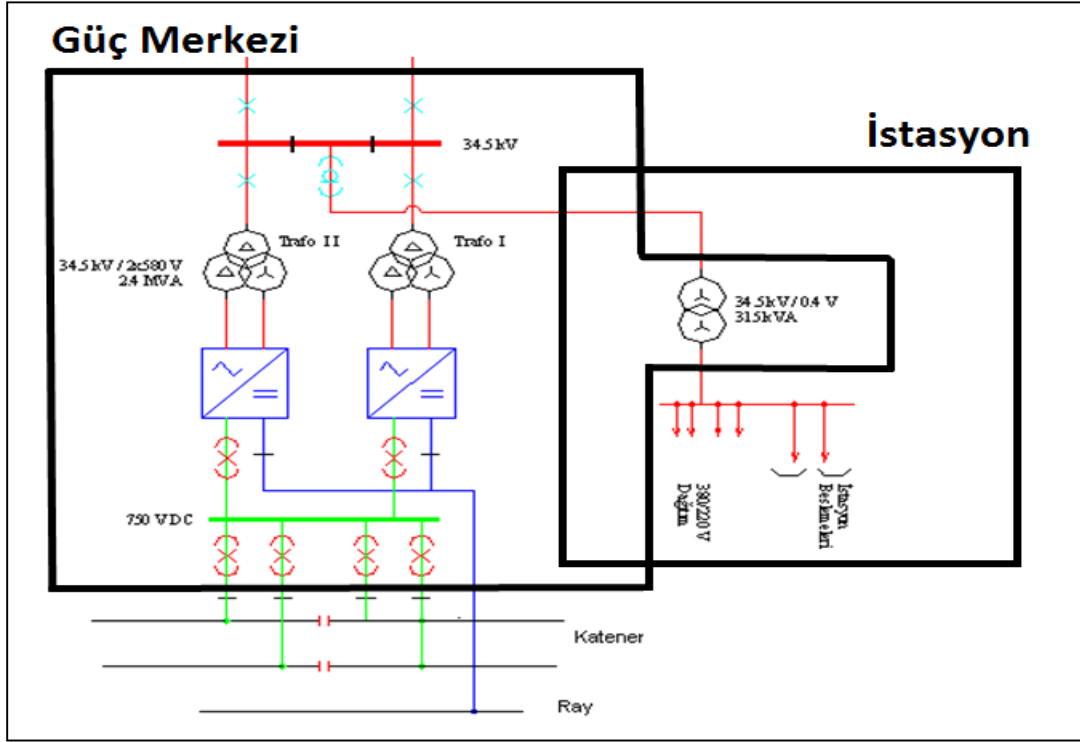
kesitlerinde azalma sağlamaktadır. Bu nedenlerden ötürü yeni inşa edilen metro hatlarında, üstünlükleri olan 1500V tercih edilmektedir. Buradaki gerilimi yükseltmede yolcu güvenliği sınır olarak kabul edilerek, şehiriçi hatlarında çok yüksek gerilimler kullanılmamaktadır.

Şekil 2.16' da güç besleme sistemi temel elektriksel devre diyagramı ile Şekil 2.17' de güç merkezi genel tek hat diyagramı verilmiştir.



**Şekil 2.16 Güç besleme sistemi temel elektriksel devre diyagramı**

Şehiriçi DC beslemeli raylı sistem hatlarında, raylar bir iletken gibi elektriksel devreyi tamamlayan bir eleman olarak hizmet etmektedir. Trafo merkezinde doğrultucu pozitif ucundan çıkan ve katenere gelen DC besleme akımı, araç tekerinden geçtikten sonra raylar üzerinden devam eder ve tekrar trafo merkezinde doğrultucu negatif ucuna bağlanarak devresini tamamlar. Böylelikle DC devre tamamlanmış olur.



**Şekil 2.17 Güç merkezi genel tek hat diyagramı**

Trafo merkezlerinde kullanılan sistemler aşağıdaki gibidir;

- OG doğrultucu transformatörleri
- AG transformatörleri
- AG dağıtım Sistemi
- İkiz doğrultucu grubu
- DC hücre grupları(şalt tesisi)
- Uzaktan izleme ve kumanda sistemi (PLC)
- 110V DC besleme akü grupları
- Kesintisiz güç kaynakları (UPS)

### 2.11.2 Katener sistemi

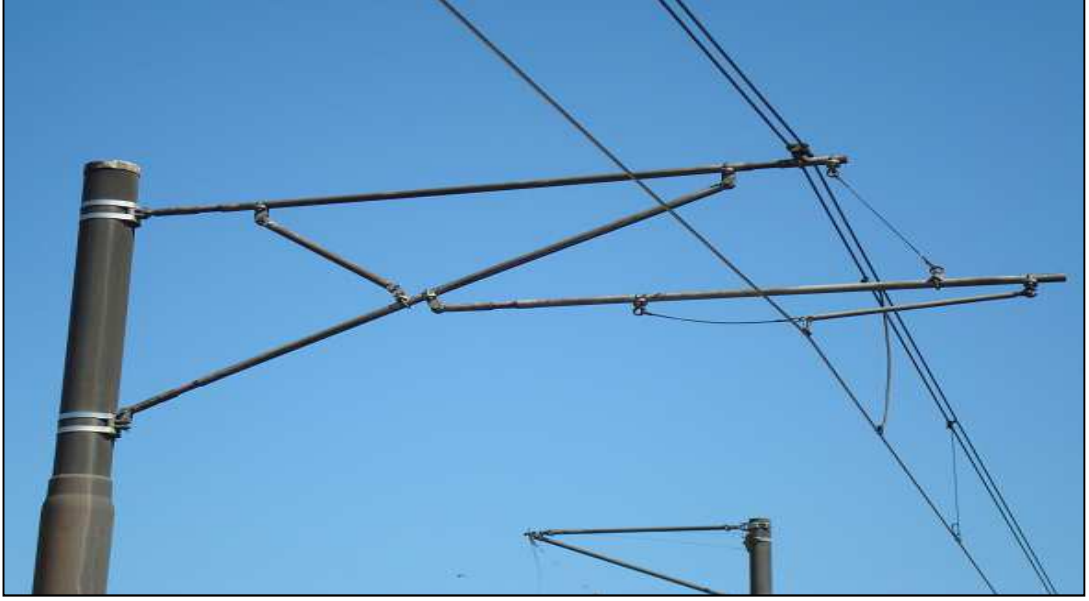
Katener sistemi, araç pantografının elektrik enerjisini aldığı sistemin en genel adıdır. Bu sistem raylı sistem tipine ve tasarımına göre farklı yapılardan oluşmaktadır. Ancak hepsinde temel görev, güç merkezinden iletilen elektrik enerjisinin araç motorlarına naklini sağlamaktır.

### 2.11.2.1 Havai katener sistemi

Havai katener sistemi geçmiş yıllardan beri çok fazla değişmemekle birlikte, teknolojik gelişmeler, üretimdeki teknik ilerlemeler, montaj ve bakım kolaylıkları nedeniyle yeni ilave bir forma kavuşmuştur. Bu bağlamda havai katener hatları klasik ve rijit havai katener hattı olarak iki kısımda incelenmiştir.

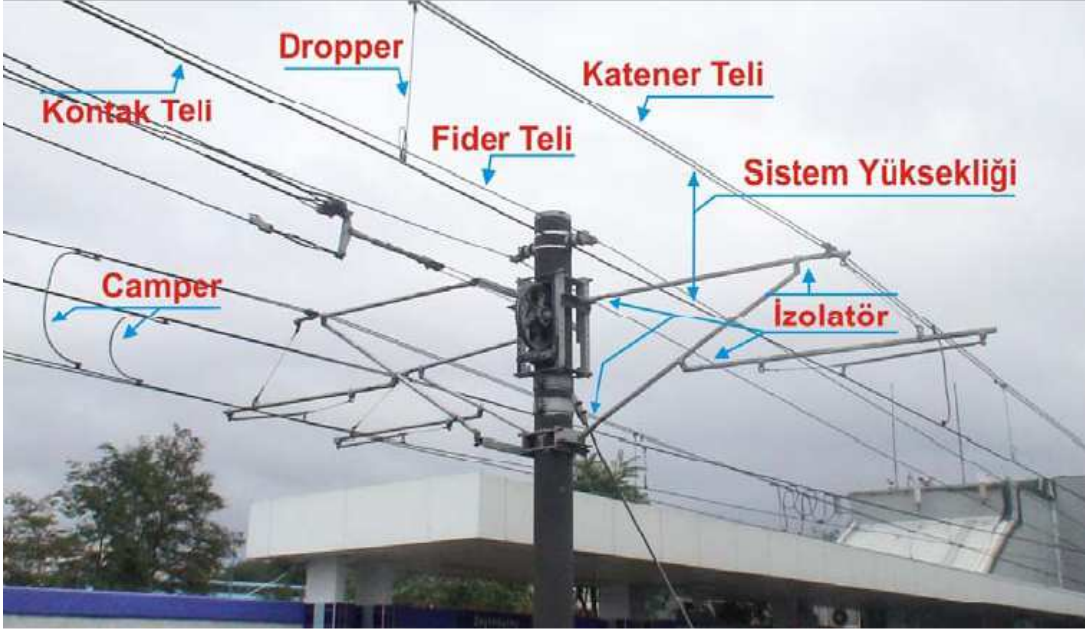
#### 2.11.2.1.1 Klasik havai katener hattı

Güç merkezinden iletilen enerjinin hat boyunca araçlara naklini sağlayan ve besleme telleri, kontak teli, askı teli, dropper telleri, iletken taşıma yapıları, direkler, yalıtkanlar, elektrik hattı mekaniksel gergi aparatları, ağırlıkları, montaj aparat ve ara parçalarından oluşan havai katener hattı tipidir. Şekil 2.18’ de klasik bir havai katener hattı gözükmektedir.



**Şekil 2.18 Havai katener hattı**

İstanbul’da Havalimanı - Aksaray (M1) Hafif Metro Hattı ile Kabataş – Bağcılar (T1), Topkapı-Habipler (T4) ve Nostaljik Tramvay hatlarında farklı tasarımlarda klasik katener hattı bulunmaktadır. Bu tasarımda araçların işletme sıklıkları ve tükettikleri elektrik gücünün büyüklüğü (hatların akım taşıma kapasiteleri) en büyük etkindir. Şekil 2.19’ da klasik bir havai katener hattında iletkenler ve isimleri gösterilmektedir.



**Şekil 2.19 Havai katener hattı detay kısımları**

Havai katener sistemlerinin genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Katener sistemi genel olarak bir taşıyıcı tel, pantografin temas ettiği seyir teli, taşıyıcı direkler ve tellerin asılmasında kullanılan askı (hoban) tertibatlarından oluşur.
- Katener, pantografin mümkün olduğunca homojen olarak aşınmasını sağlamak için yol eksenine göre gezinerek (zig-zag) ilerler.
- Katener sistemi, belli uzunluktaki etaplarda sonlandırılır (mekanik olarak). Etaplar orta noktalarından sabitlenir.
- İki trafo bölgesi arasında S/I (bölge izolatörü) konularak elektriksel ayırma sağlanır.

Bir hafif metro hattının otomatik gergili katener sisteminin özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Raylı sistem tipine göre değişmekle birlikte ikiz taşıyıcı(messenger wire) teli, bir seyir teli(contact line) ve bir fider teli (feeder wire) içerir.
- Katener ve seyir teli otomatik gergilidir. Otomatik gergi sistemi tellerin her zaman nominal gerilme kuvvetlerini muhafaza etmesini ve sarkmalarını

sağlar. Bu, hat sonlandırma noktalarında ağırlık tertibatları konularak sağlanır.

- Bu sistem 120 km/h işletme hızına izin verir.
- İkiz katener telleri toplam 2400 kg, kontak teli ise 1100 kg ile gerilmiştir.
- Gezinme  $\pm 250$  mm, kurplarda 400 mm' dir.
- Direkler arası açıklık 22-60 m arasında değişir.
- Taşıyıcı olarak konsol sistemi kullanılmaktadır.

### 2.11.2.1.2 Rijit havai katener hattı

Rijit katener sistemi klasik katener sistemine nazaran daha yeni bir teknolojidir. Son yıllarda yumuşak çelik yerine, alüminyum kompozit dış çerçeve ve bakır kontak teli ile birlikte katener iletkenlerini oluştururlar. Bakımlarının az ve kolay olması, mekaniksel arıza azlığı, sabit ve bütünsel yapısı, akım taşıma kapasitesi gibi avantajlarından dolayı özellikle yeni yeraltı metro hatlarında 3.ray sistemi yerine tercih edilmektedir.

Avrupa'da halihazırda 3. ray sistemine sahip olup da sonradan rijit katener sistemine geçiş yapan metrolar da (Barselona metrosu gibi) bulunmaktadır. Rijit katener sisteminin özellikle tünel yapısına sahip yer altı metrolarında kullanılması tercih edilmektedir. Ayrıca İstanbul Galata Köprüsü gibi açılıp-kapanarak hareket eden köprülerde de sabit yapısı nedeniyle bu yapı kullanılmaktadır. Şekil 2.20' de havai rijit katener profili ve bu profilin dikey kesiti gösterilmiştir.



**Şekil 2.20 Havai rijit katener ve profil kesiti**

İstanbul' da 2012 yılında hizmete açılan Kadıköy-Kartal (M3) ve Kirazlı-Başakşehir-Olimpiyatköy (M4) metro hatları 1500V DC rijit katener sistemine sahiptir.

### 2.11.3 Üçüncü Ray sistemleri

3.ray, raylı sistemlerde en eski elektrik nakil formudur. Özellikle yer altı ve şehiriçi raylı sistemlerde araçlara enerji iletiminde kullanılmıştır. 1000V altında işletme gerilimi kullanan raylı sistemlerin %80' inde 3.ray kullanılmışken, 1000V üzerinde işletme gerilimi kullanan raylı sistemlerin %90'unda havai katener hattı kullanılmıştır. 1500V üzerinde ise sadece deneysel olarak 3.raylar mevcuttur. Şekil 2.21' de demiryolu raylarına paralel montaj edilen üçüncü ray gözükmemektedir.



**Şekil 2.21 Üçüncü ray (sağda) ve demiryolu**

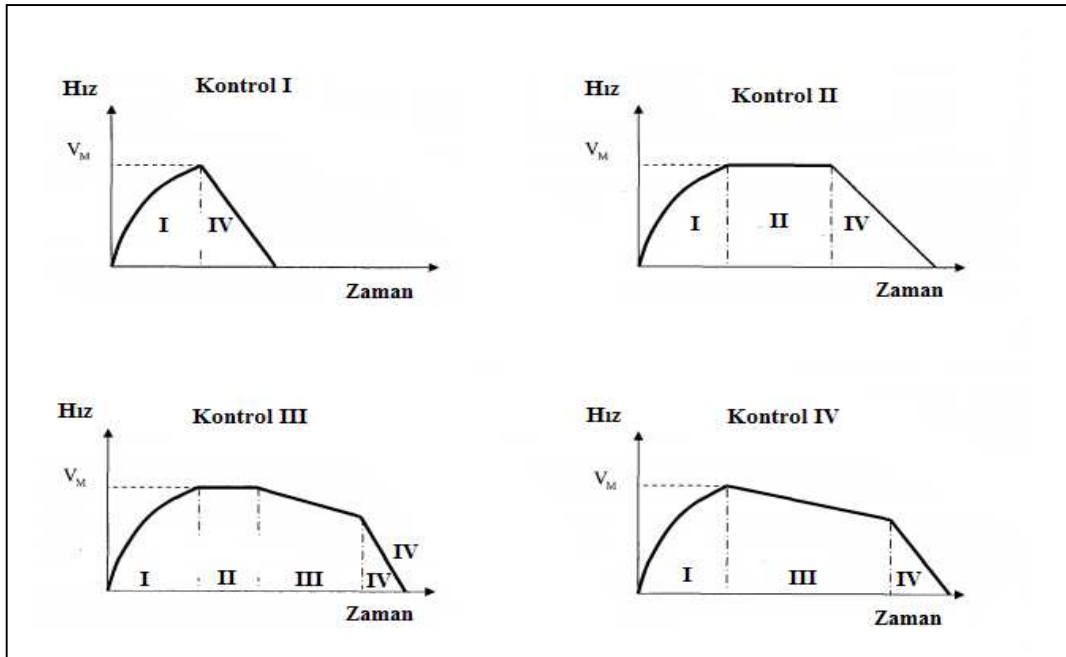
3.raylar özellikle istasyon tarafının aksi yönünde ve rijit olarak yerleştirilirler. 3. raylarda araçlar enerjileri bu busbarların üstünden, yanından ya da alt yüzeyinden, akım kolektör pabucu vasıtasıyla alarak motorlarında kullanırlar. Fransa, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri' nde üst yüzeyinden; Almanya, Rusya, Avusturya ve diğer Avrupa ülkelerinde alt yüzeyinden; Hamburg (S-Bahn) da ise yanından, akım kolektör pabucu ile enerjisini alan raylı sistemler mevcuttur [7].

## 2.12 Raylı Sistem Araçları Sürüş Sistemleri

Raylı sistem taşımacılığında araçların çeşitli sürüş teknikleri esasına göre seyir hızları, frenleme ve ivmelenme hızları belirlenmektedir. Otomatik sürüş sistemleri - özellikle eski sistemlerde- bu hızlar, daha önceden makiniste (Wattman) belirtilmiş noktalarda, belirtilen yerlere göre ayarlanırken; artık son dönem motor sürücülü ve teknolojiye sahip otomatik kontrol sistemleri (ATC) ile daha önceden belirlenmiş sürüş eğrileri programlanarak tam otomatik olarak kontrol edilmektedir.

Enerji tüketimi ve sefer süresi, otomatik kontrol sürüşlü sistemlerde araç motor sürüş tekniği, trafik, sinyal ve harici etkenlerin azlığı ile çok büyük oranda etkilidir.

Genel olarak, dört farklı araç sürüş teknikleri mevcuttur. Bunlar ivmelenme, süzülme, yanaşma (coasting) ve frenleme bölgelerinden oluşmaktadır. Şekil 2.22' de farklı rejimlerdeki dört farklı sürüş tekniği gösterilmektedir [11].



Şekil 2.22 Araç sürüş teknikleri

Kontrol 1: İvmelenme ve ardından frenleme

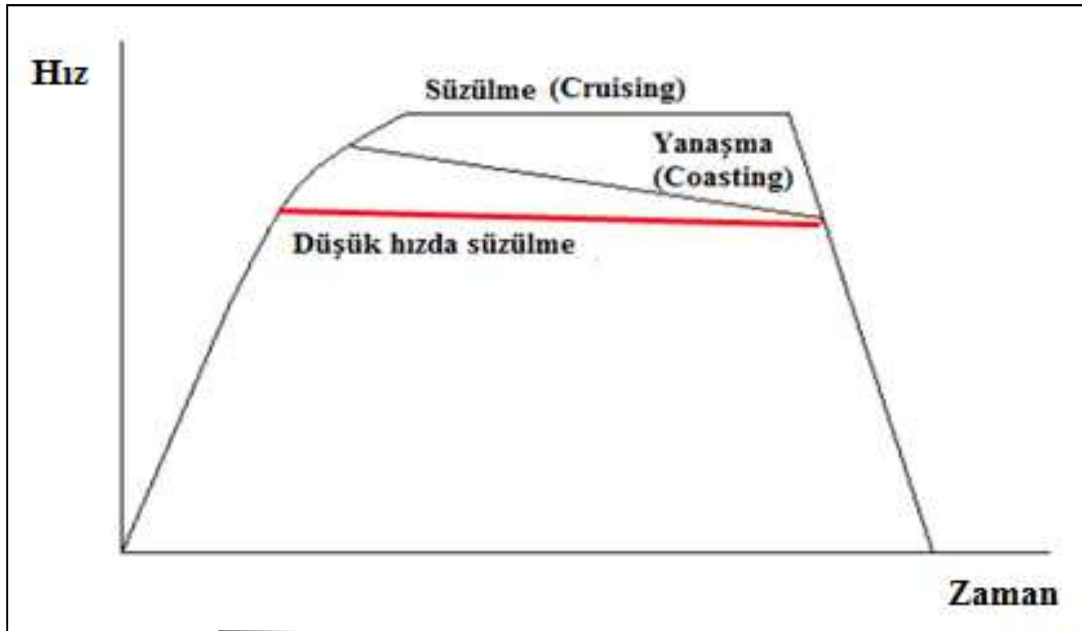
Kontrol 2 : İvmelenme, süzülme ve ardından frenleme

Kontrol 3: İvmelenme, süzülme, yanaşma ve ardından frenleme

Kontrol 4: İvmelenme, yanaşma ve ardından frenleme

Bu sürüş tekniklerindeki rejimlerin başlangıç ve bitiş noktaları, toplamda istenen sefer süresine, istasyonlar arası mesafelere, hız limitlerine, raylı sistemin rezervli veya rezervsiz (tramvay hatları) olmasına bağlı olarak değişmektedir. Otomatik kontrolsüz sistemlerde genellikle Kontrol-2 şeklinde bir sürüş istenmektedir.

Yapılan bazı simülasyon sonuçları ve gerçek ölçümler, yavaşma (crusing) rejimi ilave edilmiş sürüş teknikleri ile enerji tüketiminde kazanımlar elde edildiğini göstermektedir. Çizelge 2.14'te simülasyon sonuçlarında iki farklı tipteki düz ve V hat için enerji tüketimi kazanımları gösterilmiştir. Hat biçimine göre sefer süresi artarken enerji tüketiminde %30 ile %44' lere varan azalmalar gözlemlenmiştir. Şekil 2.23' de süzülme ve yavaşma hız grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.23 Araç sürüş hız grafiği [10]



**Çizelge 2.14 Yanaşma sürüş modu ile enerji kazanımı, hız, süre değerleri karşılaştırması [10]**

	$T_{min}$	Yanaşma (Coasting)		Süzülme (Düşük hızda)	
Düz Profil	Süredeki artış (%)	Maksimum Hız (km/saat)	Enerji Kazanımı (%)	Maksimum Hız (km/saat)	Enerji Kazanımı (%)
Hat	1	73,6	16,30	72	13,50
	3	70,1	23,80	67,5	20,60
	5	66,8	30	64	25,90

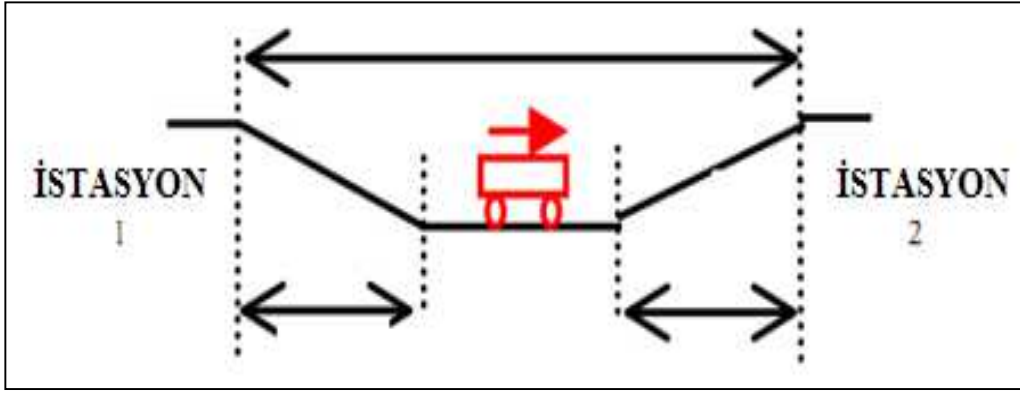
  

	$T_{min}$	Yanaşma (Coasting)		Süzülme (Düşük hızda)	
V Profil	Süredeki artış (%)	Maksimum Hız (km/saat)	Enerji Kazanımı (%)	Maksimum Hız (km/saat)	Enerji Kazanımı (%)
Hat	1	79,7	25,40	76	6,10
	3	76,2	34,90	71,5	12,40
	5	72,7	44	68,5	16,60

### 2.13 Raylı Sistemlerde Tepe-Vadi Eğrisi ( Hump Profile ) Düzenlemeleri ile Enerji Kazanımı

Mümkün oldukça raylı sistem istasyonlarının yükselen tepelerde yerleştirilmesi ve istasyon öncesinde yükselen eğimlerin ve istasyon çıkışlarında düşen eğimlerin kullanılması çok basit bir mekaniksel rejeneratif frenleme sağlar ve enerji tüketiminde azalma sağlar.

Şekil 2.24' te gözüktüğü üzere tepe-vadi eğrisine göre yerleştirilen istasyonların çıkışlarında araç ivmelenmesini kolaylaştıran düşüş eğimleri ile frenleme eğrileri sağlanır. Ancak yükselen eğimler ise, araçların mekaniksel yapısındaki sınırlar dolayısı ile %4 ile sınırlıdır. Bununla birlikte eğimli yol tasarımı aynı zamanda metro hattının jeografik yapısına da bağlıdır. Singapur' daki bazı istasyonlar arası yollar eğimsiz düz olarak inşa edilmişlerdir aksi takdirde istasyonların yerden derinliği artmaktadır [9].



**Şekil 2.24 Tepe-Vadi eğrisi profili**

Melvyn, Malvin ve Sim Siow tarafından yapılmış olan çalışmadan da görüldüğü üzere oluşturulan tepe-vadisi eğrisi ile raylı sistemlerin enerji tüketimlerinde azalmalar sağlanmaktadır[9]. Bu sistem herhangi bir ek donanım,elektriksel dönüştürücü vs. ekipmana gerek duymadan sınırların elverdiği ölçüde mekaniksel enerji kazanımı sağlamaktadır. Ayrıca Açıkbaş' ın yanaşma sürüşünü yapmış olduğu simülasyonlarda, V profil hatta, düz hatta göre daha fazla enerji kazanımı elde edilmiş ve Çizelge 2.15' teki sonuçlar elde edilmiştir [10].

**Çizelge 2.15 Yanaşma sürüş modunun iki farklı profil hattı için enerji kazanımı karşılaştırması[10]**

Düz Profil Hat	$T_{min}$	Yanaşma (Coasting)		V Profil Hat	$T_{min}$	Yanaşma (Coasting)	
	Süre deki artış	Maksimum Hız	Enerji Kazanımı		Süre deki artış	Maksimum Hız	Enerji Kazanımı
%1		73,6	%16,30	%1		79,7	%25,40
%3		70,1	%23,80	%3		76,2	%34,90
%5		66,8	%30	%5		72,7	%44

Tepe-vadi eğrisi sistemine göre mevcut istasyon yerleri değiştirildiğinde belirtmiş olan istasyon yerleşim yerleri kıstasları çerçevesinde istasyon derinliği artmakta ve bu da enerji işletme maliyetleri ile yolcu erişimini zorlaştırmaktadır.

### 3. RAYLI SİSTEMLERDE BİLGİSAYARLI SİMÜLASYON VE RAILSİM

Raylı sistemlerde tasarım, analiz, bakım ve işletme planlama işlevleri için çok sayıda paket program oluşturulmuştur. Bu programlar raylı sistemlerde inşaat, elektrifikasyon, sinyalizasyon ve işletme gibi bir çok konuda analiz ve tasarım imkanı sunmaktadır.

RAILSIM raylı sistemlerde modelleme çalışmalarında kullanılmak üzere özel geliştirilmiş analitik bir simülasyon programıdır. RAILSİM araçlar, fiziksel tesisler, kontrol sistemleri ve tren işletmesi ilişkilerinde karmaşık raylı sistemleri simüle etmek üzere tasarlanmıştır. Şekil 3.1' de Railsim programının başlangıç ekranı görülmektedir.



**Şekil 3.1 Railsim başlangıç ekranı**

İlk olarak 1990 yılında sunulan RAILSİM;

- Tren/Araç performans analizi,
- Network simülasyonu,
- Yük akış analizi
- Trafik sinyal tasarımı

modülleri ile kullanıcıların simülasyon ihtiyaçlarına çözüm sunmaktadır.

RAILSIM ihtiyaca bağlı olarak Metro, Hafif Metro, Tramvay, Banliyö, Şehirlerarası ana hatlar vb raylı sistemlerin doğru ve güvenilir modellenmesinde kullanılabilir.

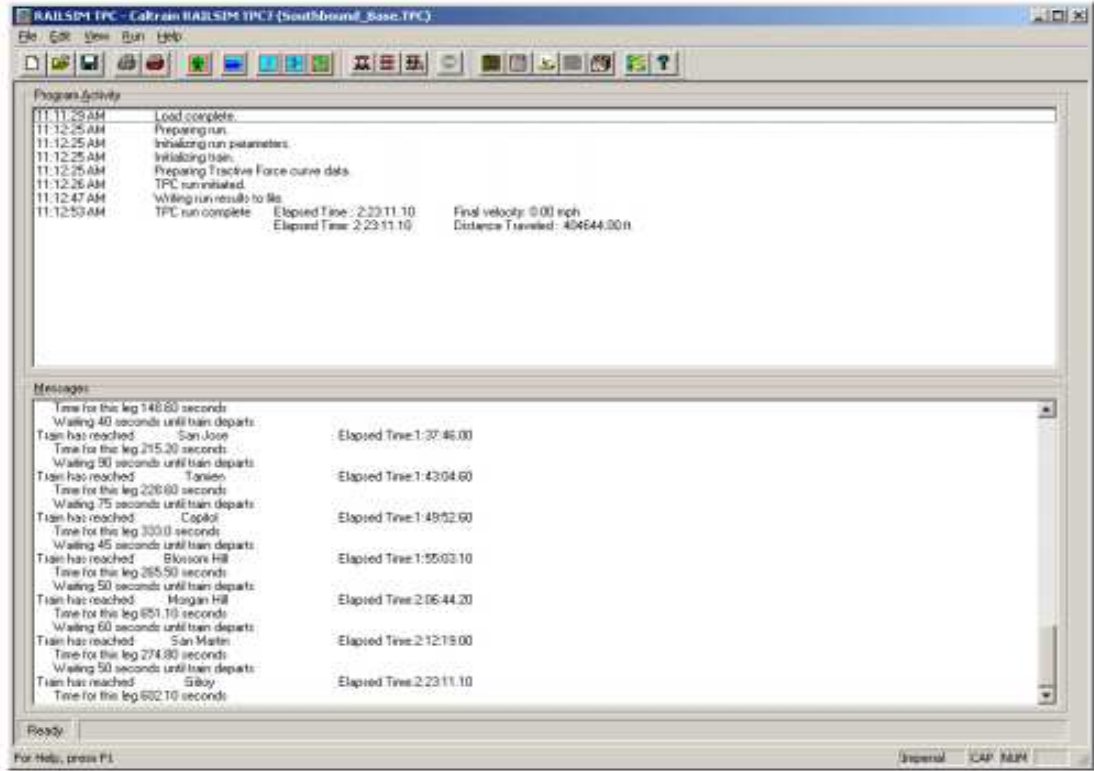
### 3.1 RAILSİM Modülleri

Tam bir RAILSİM sürümü Şekil 3.2' de gösterilen uygulama kısımlarından oluşur:



Şekil 3.2 Railsim ana menüsü

- **RAILSIM Editör:** Demiryolu alt yapısı ve sabit tesisleri ile işletme karakteristiklerinin oluşturulduğu bölümdür. Ayrıca trafik sinyal optimizasyonu, trafik güvenli frenleme hesaplamalarında ve sefer aralarının (headway) hesaplanmasında kullanılır. Tanımlanmış bir modelden yol ve trafik sistemi ve bütün işletme sistemi oluşturulabilir.
- **RAILSIM TPC (Araç Performans Hesaplayıcısı):** Tanımlanmış ve detayları girilmiş bir demiryolunda ilgili bir aracın detaylı ve yüksek doğrulukta enerji, güç ve performans analizlerinde kullanılır. Bu modülde hız, zaman, mesafe, ivmelenme, frenleme, güç, enerji ve mekanik kuvvetler gibi pek çok performans analizi sonucu elde edilebilir. Şekil 3.3'te Railsim TPC modülü ekran görüntüsü gösterilmektedir.



**Şekil 3.3 RAILSIM TPC modülü ekran görüntüsü**

- **RAILSIM Network Simulator:** Belirlenmiş bir hatta belirlenmiş bir zaman periyodunda girilen raylı sistemin trafik modellemesinde kullanılır. Çok hatlı ve çok modlu işletmelerin bile simülasyonunu başarı ile tamamlar. Grafikselleştirilmiş ve zaman-temelli olarak çıktı verebilir.
- **RAILSIM Yük Akış Analizörü:** Detayları girilmiş bir elektriksel şebeke ve raylı sistem elektrifikasyonunda yük akış analizi yapılmasında kullanılır. Bu modülde yükün, potansiyellerin ve rejeneratif fren enerji tüketebilme kapasitelerinin tanımlanmış AC ve DC elektrifikasyon modelinde ve belirlenmiş işletme koşullarında analizini sağlar. Yük akış analizörü RAILSIM TPC den gelen performans, araç ve yol bilgisi üzerine analizini kurar. Trafo güç merkezleri, fider beslemeleri, araç pantograf voltajı, zirve güç yüklenmeleri ve enerji tüketim dağılımı gibi detaylı analiz sonuçlarını sunar.
- **RAILSIM Rapor Oluşturucu:** Kullanıcın isteği üzerine, düzenlenebilen ve modüllerde kullanılmış analizlerin raporlarını oluşturmada kullanılır [12].

## 3.2 RAILSİM' de Modelleme

Railsim' de modelleme iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar modelleme için gerekli sabit ve hareketli alt yapıyı oluştururlar. Hat geometrisi ve istasyonlar sabit yapı için gerekli olmakla beraber, araç modellemesi de hareketli yapı benzetimi için gereklidir. Bu konular iki alt başlık altında incelenecektir.

### 3.2.1 Hat Geometrisi, İstasyon Ve Hız Bölgelerinin Oluşturulması

RAILSIM de simülasyon yapabilmek için programın kabul ettiği formatta ilgili hattın uzunluğu, tipi (tünel veya açık), geometrisi, istasyon yerleri, bölge hız bilgileri girilerek temel model elde edilir ve excel formatında hazırlanabilecek bir formatla text formatına çevrilerek programa yüklenebilir. Örnek Excel tablosu EkA' daki gibi hazırlanabilir:

Ek-A' daki tabloda detaylı olarak hazırlanan Excel formatında sırasıyla:

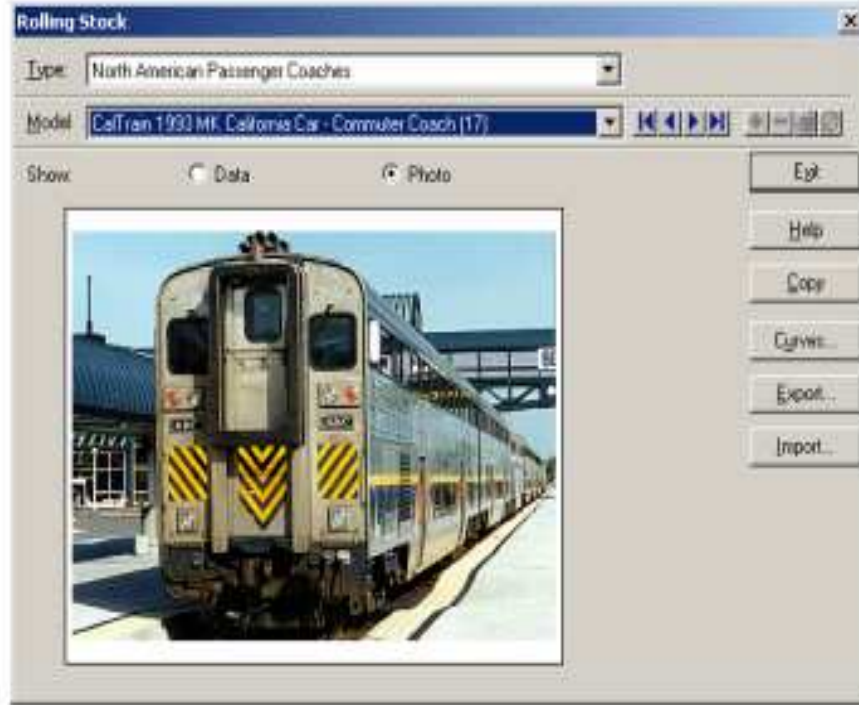
- Hat veya Segment uzunluğu/Hat-Segment başlangıç ve bitiş kilometresi (SG- Segment Data)
- Hat boyu eğimler/dikey geometri/Eğimlerin dereceleri ve başlangıç-bitiş noktaları (GR-Grade Data)
- Hat boyu kurplar/yatay geometri/Kurpların yarıçapları ve başlangıç ve bitiş notaları(CV-Curve Data)
- İstasyon yerleri/başlangıç ve bitiş kilometreleri (PD-Platform Data)
- Hız limitleri/İstasyonlar arası ve istasyonlarda (CS-Speed Data)
- Tünel bölgeleri/başlangıç ve bitiş kilometreleri (TU-Tunnel Data)

girilerek oluşturulur ve Excel formatından Ek B 'de görüldüğü gibi text formatına çevrilerek RAILSİM programında yüklenmek üzere hazır hale getirilir.

### 3.2.2 Araç/Tren Modelinin Oluşturulması

RAILSIM TPC (Araç Performans Hesaplayıcısı) için hazırlanan ilgili formattaki text TPC modülü çalıştırılarak yüklenir ve program tarafında datalar oluşturulduğunda hata olup olmadığı denetlenerek kullanıcıya ekranda bildirilir. Herhangi bir problem yok ise araç detayları hazırlanmaya başlanır. Araç detayları istenirse ve mevcut ise RAILSİM' in araç kütüphanesinden (Rolling Stock Library) seçilerek tren dizileri oluşturulabilir. İstenirse bu araçlar üzerinden değişiklik yapılabilir veya tamamen

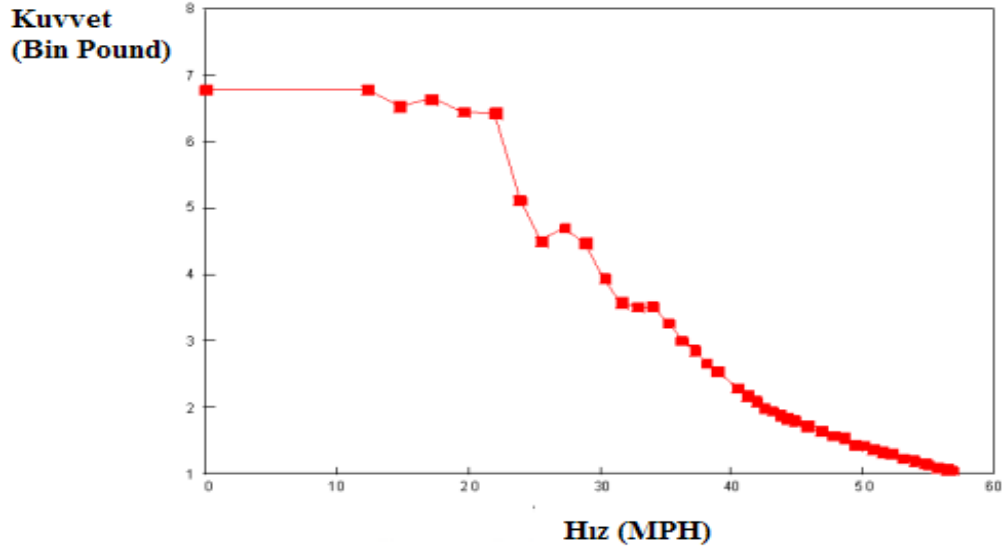
sıfırdan bir araç oluşturulabilir. Şekil 3.4' te TPC araç editörü ekran görüntüsü görülmektedir.



**Şekil 3.4 TPC Araç editörü ekran görüntüsü**

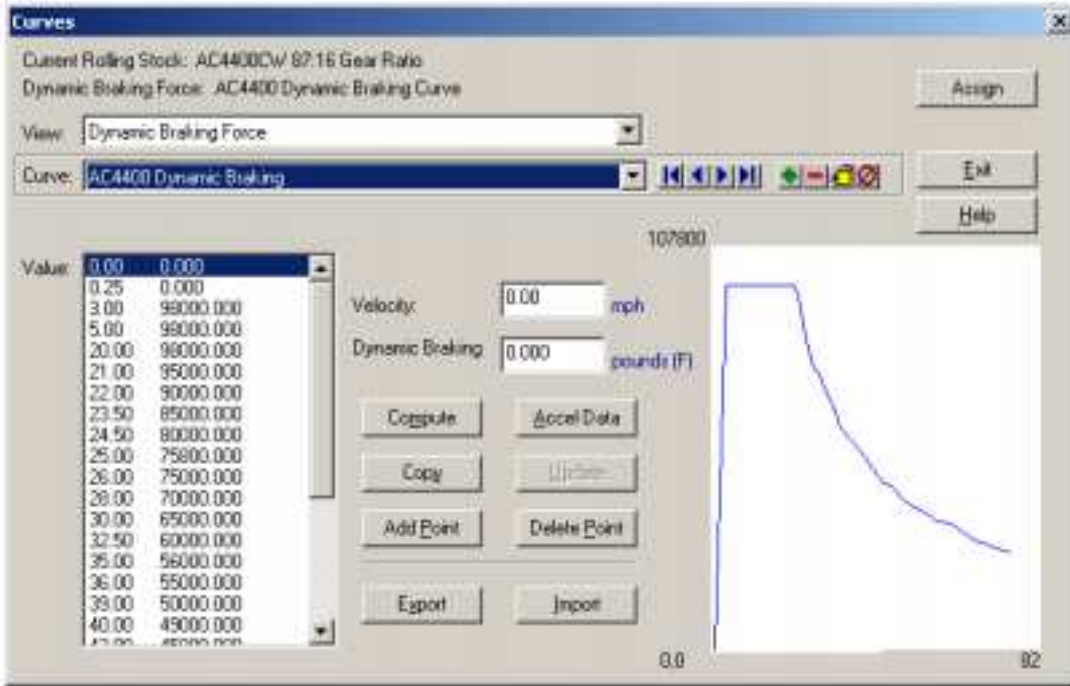
Araca özel cer kuvvet , frenleme, ivmelenme, rejeneratif eğrileri, kullanıcı tarafından değerleri girilerek oluşturulabilir. Aracın tipik cer kuvveti eğrisi Şekil 3.5' teki gibidir.

Hıza Bağlı Cer Kuvveti Eğrisi



Şekil 3.5 Araç tipik cer kuvveti eğrisi

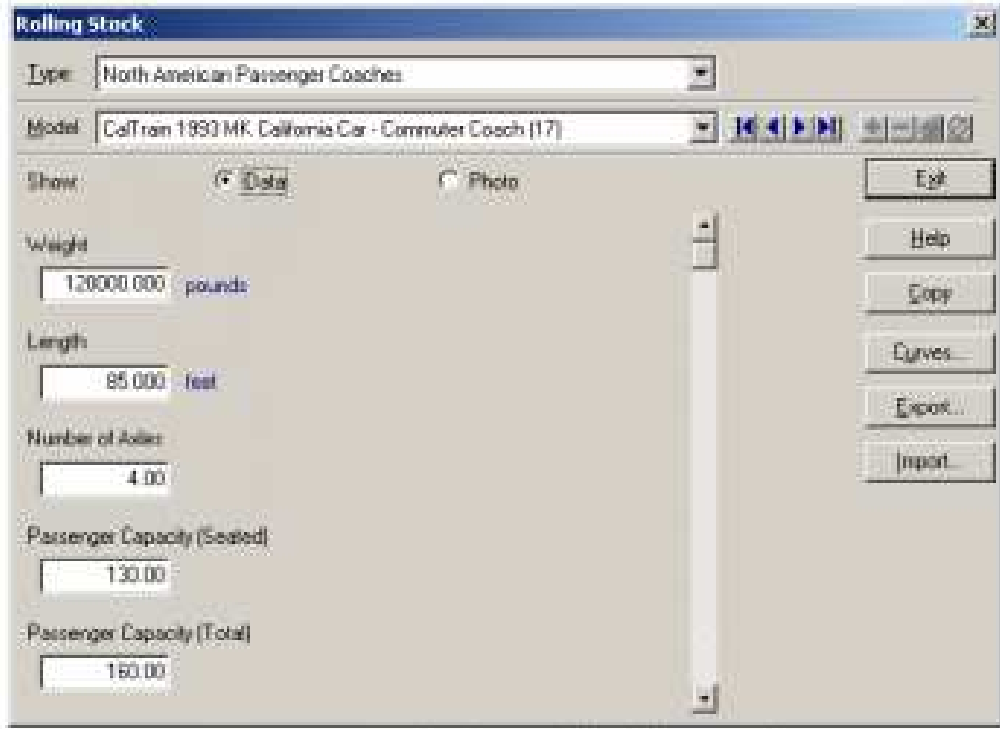
Şekil 3.6' da görüldüğü gibi araç kuvvet eğrisi oluşturma editörü ile eğriler oluşturulur.



Şekil 3.6 Araç kuvvet eğrisi oluşturma editörü



Aracın ilgili ağırlık, uzunluk, aks sayısı, ve yolcu kapasiteleri Şekil 3.7’ de görüldüğü gibi araç karakteristik editörü yardımı ile programa girilir.

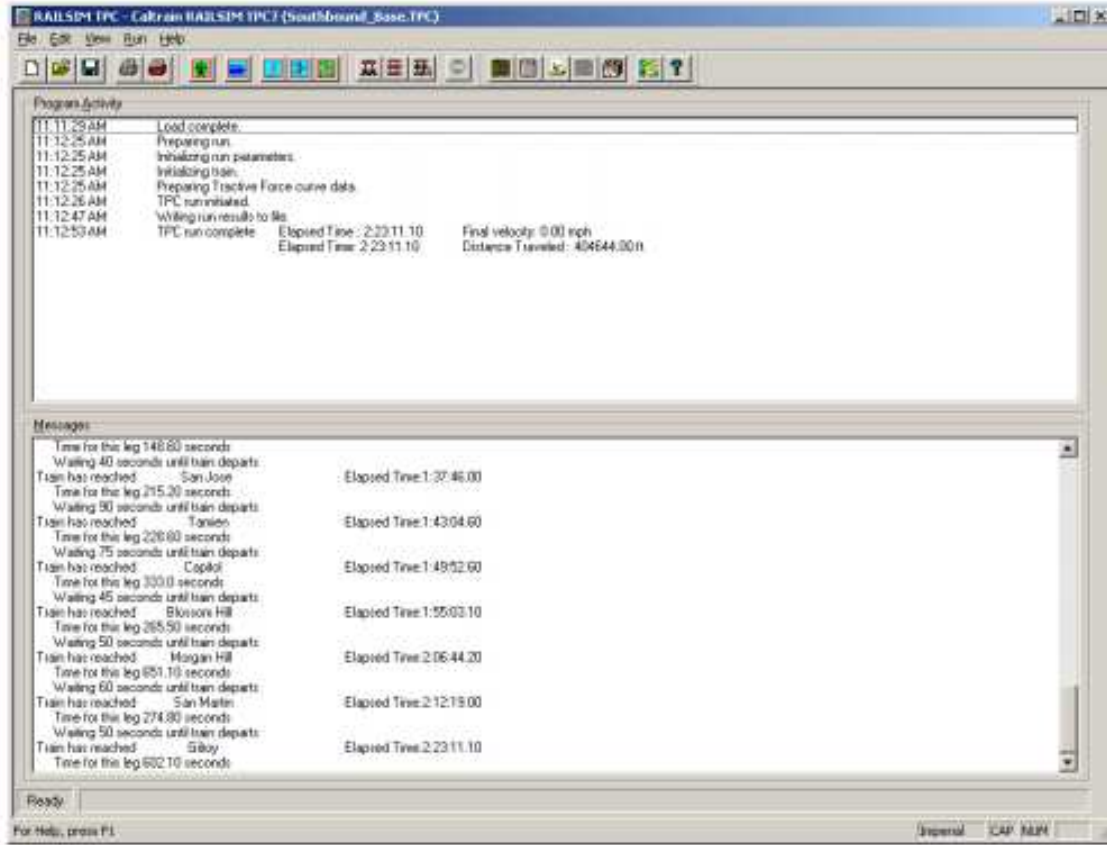


Şekil 3.7 Araç karakteristik editörü

Bütün araç dataları girilerek araç modellemesi tamamlanır.

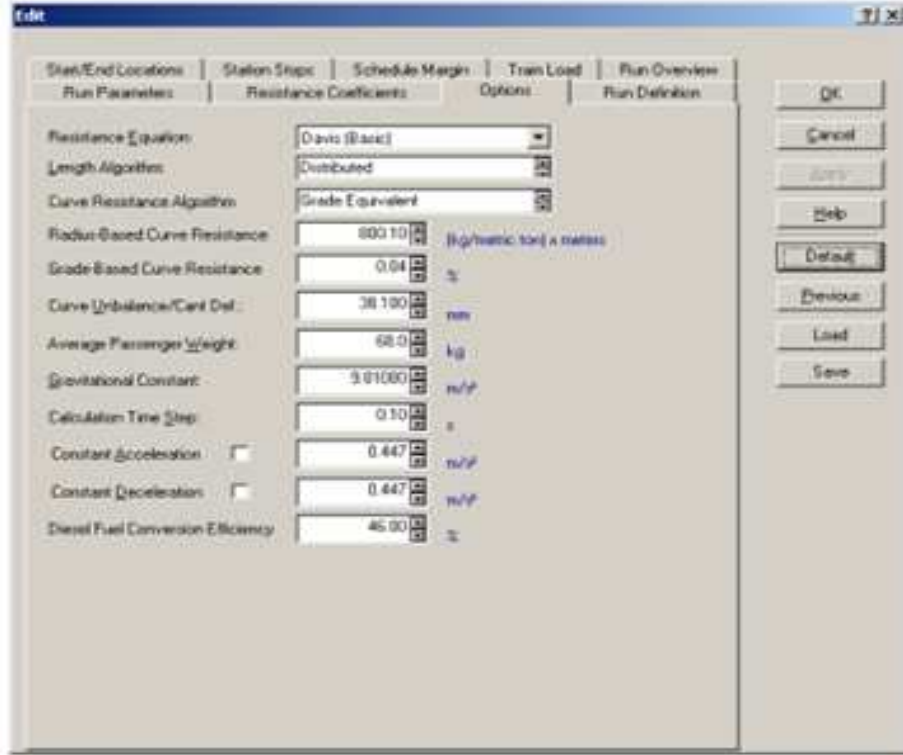
### 3.2.3 RAILSİM TPC Modülü

Bu modülde daha önce belirtildiği üzere hız, zaman, mesafe, ivmelenme, frenleme, güç, enerji ve mekanik kuvvetler gibi pek çok performans analizi sonucu elde edilebilir. Bunun için daha önce oluşturulmuş hat geometri modeli ile araç modeli programa girilir ve tanımlanır. Ardından TPC Run ile bir araç için ilgili kriterlerde simülasyon yapılır ve sonuçları izlenir. Şekil 3.8’ de TPC verileri yüklenmiş ve çalıştırılmış ekran görüntüsü verilmiştir.

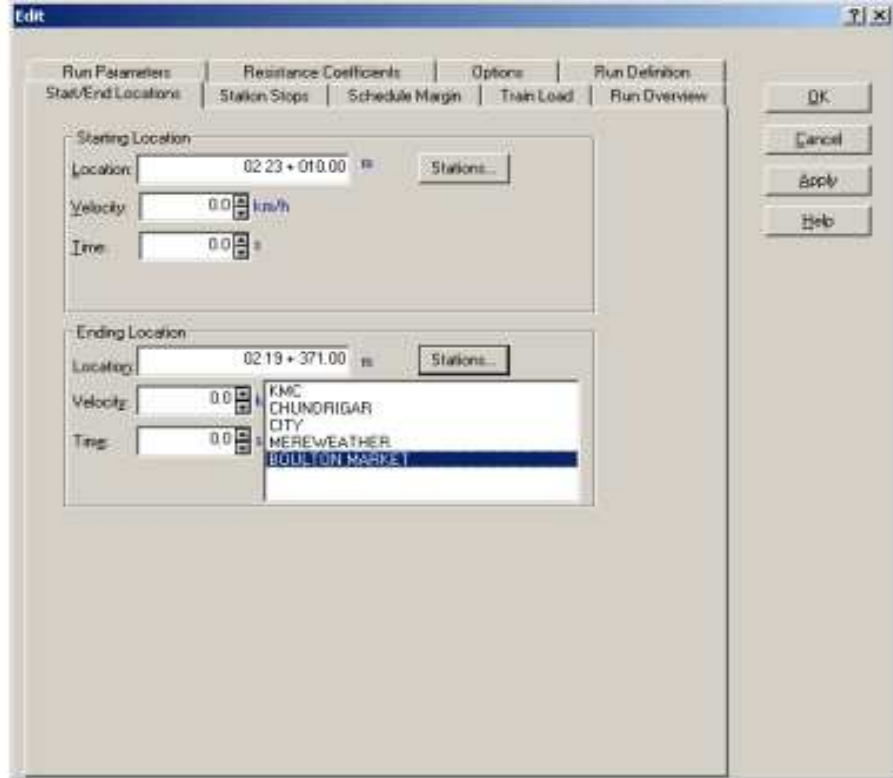


**Şekil 3.8 TPC verileri yüklenmiş ve çalıştırılmış şekliyle ekran görüntüsü**

TPC, seçenekler bölümünden değiştirilerek kullanıcının kriterlerine göre farklı simülasyonlar elde edilebilir. Bunlar başlangıç-bitiş noktaları, istasyonda bekleme süreleri sefer takvimi, yolcu yükü, fiziksel parametreler, sefer tipi, maksimum araç hızları gibi çok sayıda seçenekten oluşturulabilir. Şekil 3.9' da TPC sürme parametreleri giriş ekranının görüntüsü, Şekil 3.10' da ise TPC sürüş başlama ve bitiş noktalarını belirleme ekranı görüntüsü verilmektedir.

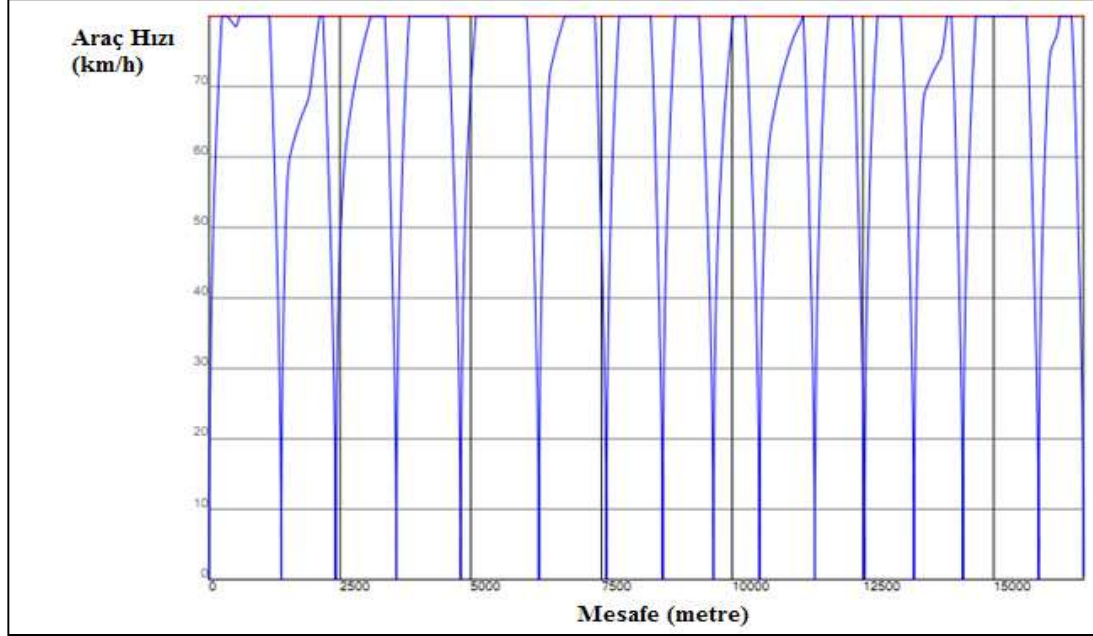


Şekil 3.9 TPC sürme parametreleri girme ekran görüntüsü

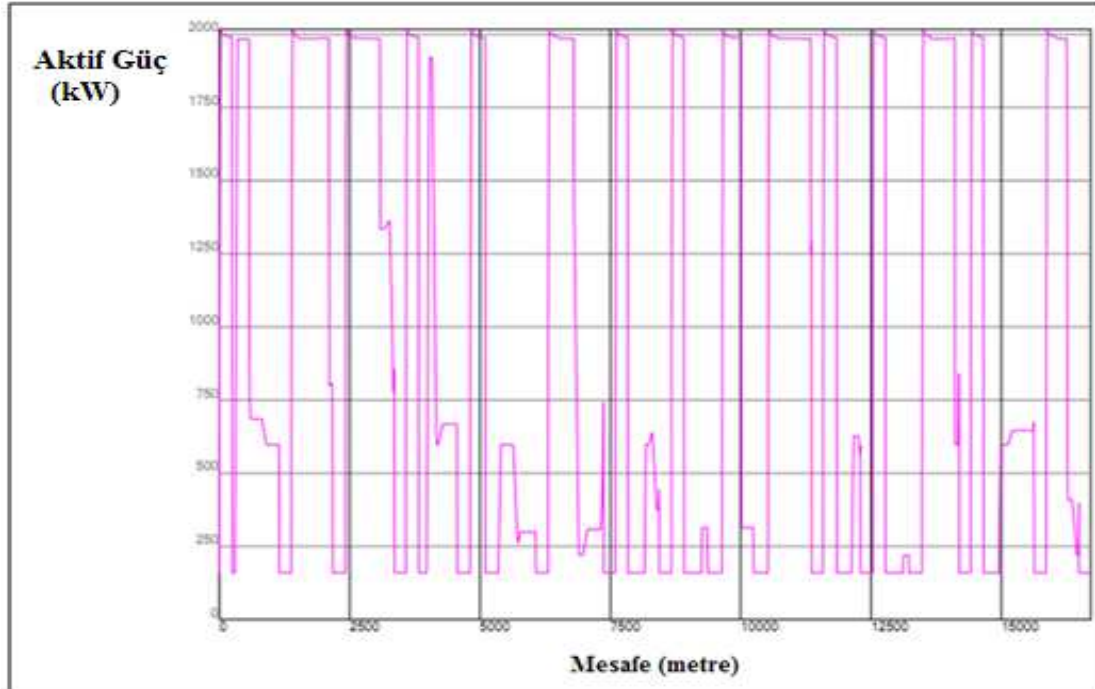


Şekil 3.10 TPC sürüş başlama ve bitiş noktalarını belirleme ekranı görüntüsü

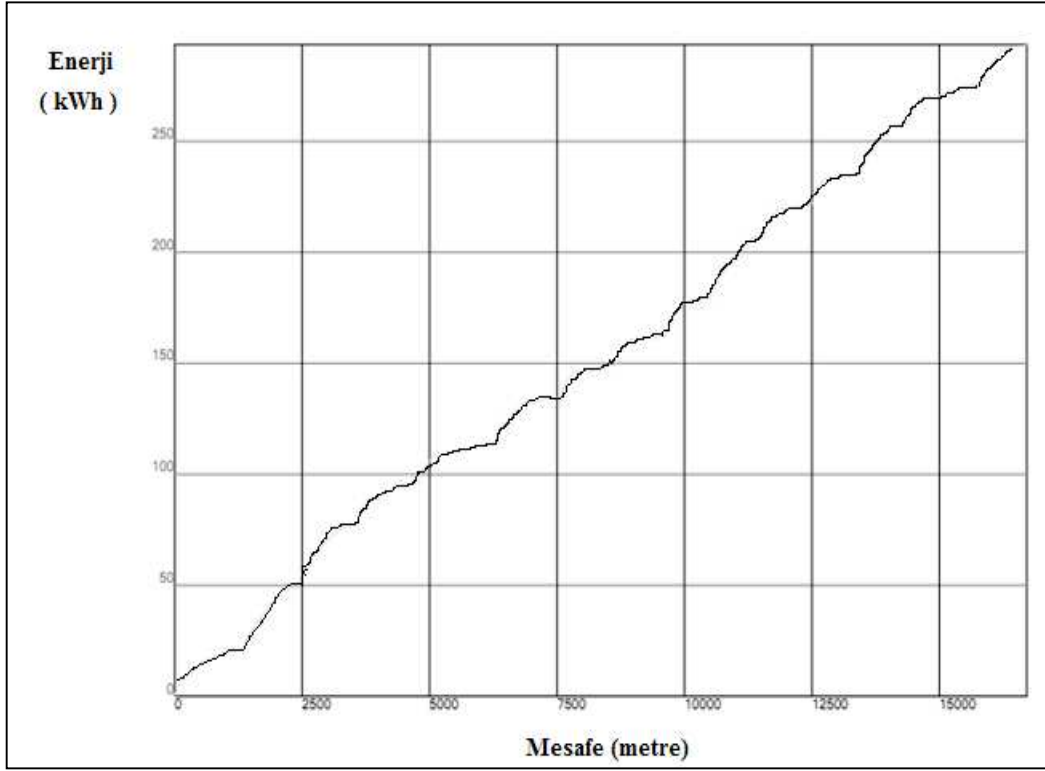
TPC modülünde simülasyon sonucunda aşağıdaki gibi özel kriterlere göre grafikler çizdirilebilir (Şekil 3.11-14) veya tam rapor denilen, ilgili bütün kriterlere bağlı değerler alınabilir.



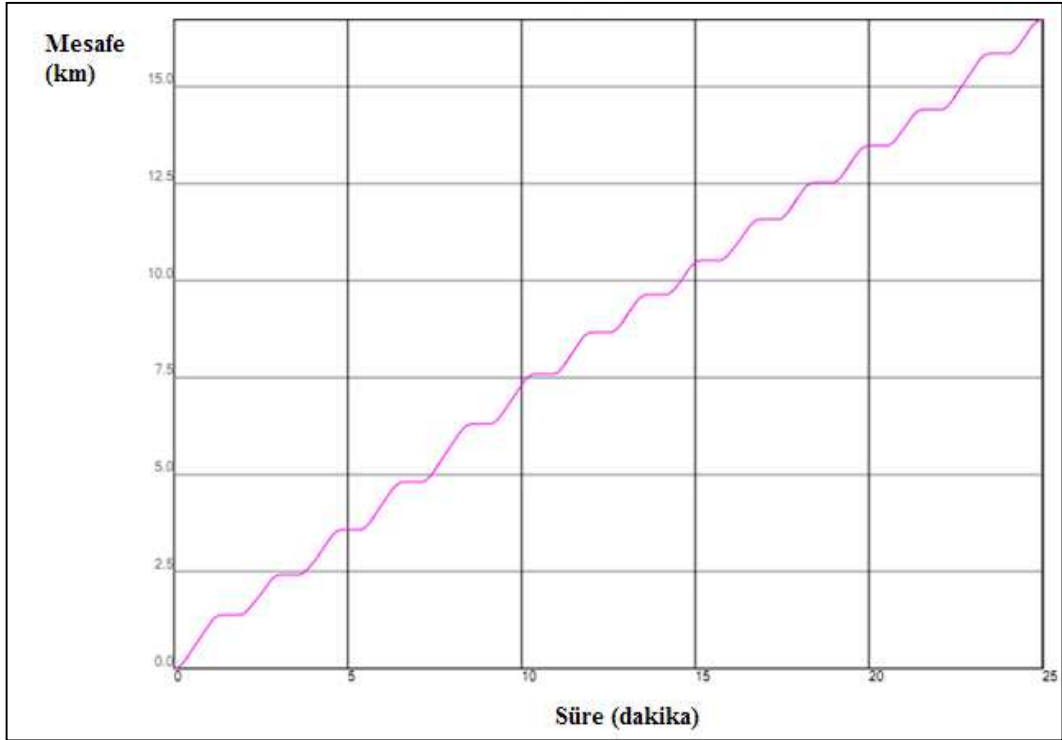
Şekil 3.11 TPC araç hızı – mesafe grafiği



Şekil 3.12 TPC net güç –mesafe grafiği



**Şekil 3.13 TPC enerji tüketimi – mesafe grafiği**



**Şekil 3.14 TPC mesafe- zaman grafiği**



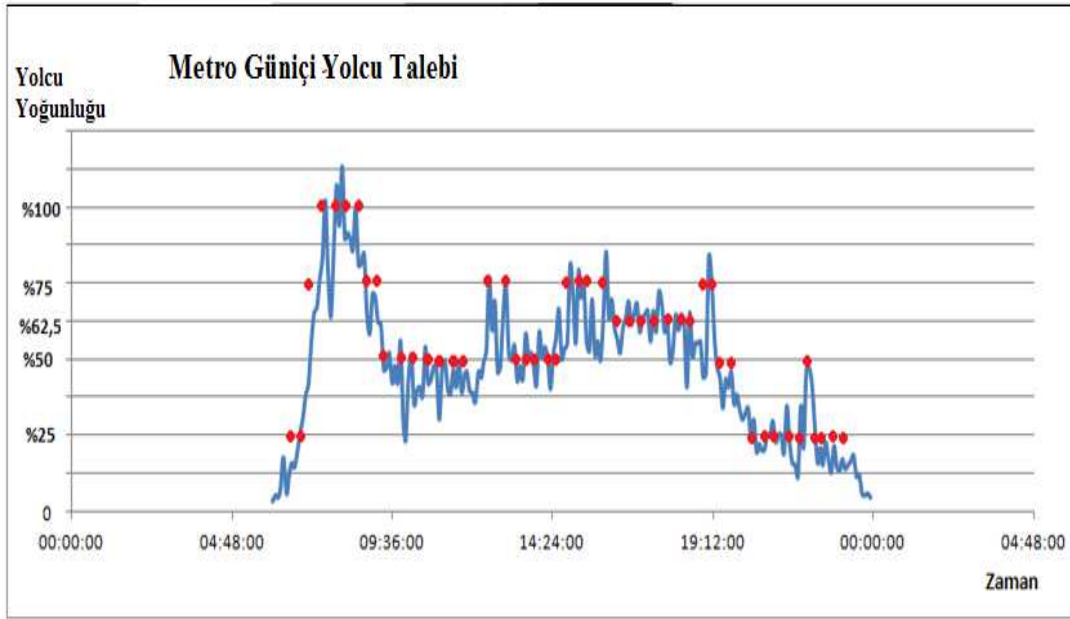
#### 4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Simülasyonlar, 4' lü dizi uzunluğunda ve detayları EK C' de verilen araçta, tek parkur için yapılmıştır. Simülasyonlarda RAILSIM' in TPC modülü kullanılmıştır. Bölüm 3.2.1' de "Hat geometrisi ve istasyon hız bölgelerinin oluşturulması" adlı bölümdeki gibi hazırlanan hat dataları ve Bölüm 3.2.2' de "Araç/tren modelinin oluşturulması" kısmında tanıtılan araç karakteristikleri ile hazırlanarak, TPC simülasyonu için programa yüklenmiştir.

Simülasyonda öncelikle mevcut hat üzerinde hiçbir değişiklik yapmadan hattaki ilgili araç sürülerek, enerji tüketimleri elde edilmiştir. Daha sonra, bazı kritik istasyon yerlerinin Bölüm 4.3' te anlatıldığı üzere tepe-vadi eğrisi sistemine göre yeniden yerleştirilmesi üzerine simüle edilmiş ve ilgili enerji tüketim değerleri kaydedilmiştir. Son olarak da mevcut hat üzerindeki istasyon yerleri değiştirilmeden TVE oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, istasyonlar öncesi ve sonrasında 100m' den başlayarak 500m' ye kadar 100'er metre artışlarla, %1' den %4' e kadar eğimler oluşturulmuş ve simülasyonlar yapılarak enerji tüketim değerleri alınmıştır.

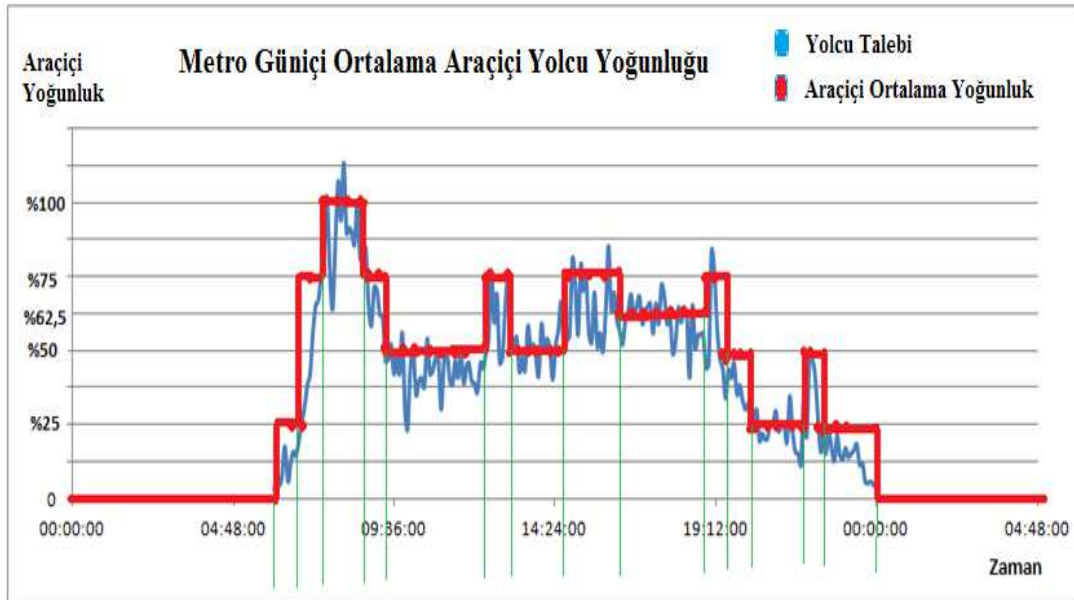
Simülasyonlar aynı zamanda farklı yolcu kapasitesindeki araçlar için yapılmıştır. Böylece yolcu yükünün enerji tüketimindeki etkisi de izlenebilmektedir. Yolcu kapasitelerinde  $m^2$  ye 6 kişi ve  $m^2$  ye 4 kişi esaslı araç tasarımları yapılmakta olup, bu tez çalışmasında  $m^2$  ye 6 kişi esas alınmıştır. Bu bağlamda tek bir araç (bir vagon) için tam kapasitede 257 kişi, %50 kapasitede 128 kişi, %25 kapasitede 65 kişi olarak alınmış ve aynı zamanda boş araç için de simülasyonlar yapılmıştır.

Ayrıca İstanbul'da bir metro hattının günüçi yolcu talep bilgileri Şekil 4.1' de gösterilmektedir. Bu veriler kullanılarak gün içi ortalama araç yolcu yoğunluğu hesaplanmış, yıllık enerji ve maliyet kazanç hesaplarında esas olarak alınmıştır.



Şekil 4.1 Metro günüçi yolcu talebi [8]

Şekil 4.2’ de talep eğrisi standardize edilerek günüçindeki ortalama araç yoğunlukları yüzdelik hale getirilerek Çizelge 4.1’ deki oranlar elde edilmiştir



Şekil 4.2 Metro günüçi ortalama araçlı yolcu yoğunluğu



**Çizelge 4.1 Değişen yoğunluktaki araçların güniçi sefer yapma oranı**

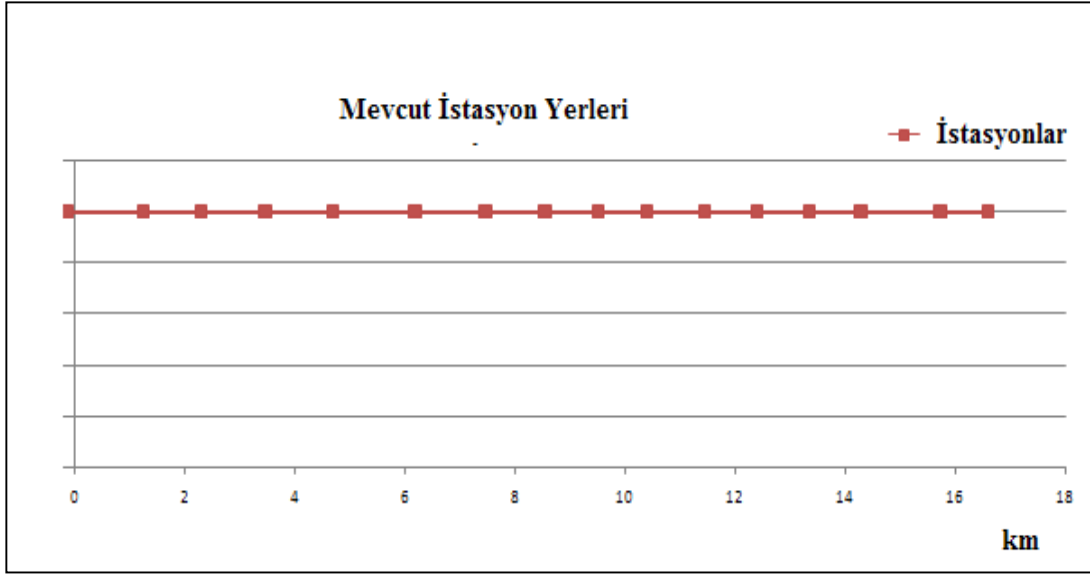
Araç Doluluk Oranı	Sefer Adet Oranı (%)
% 25	20
% 50	32
% 62	16
% 75	24
% 100	8
Toplam Sefer Adet Oranı	%100

#### 4.1 Mevcut (Gerçek) Hat Simülasyonu

Mevcut hat simülasyonunda, İstanbul’ da bulunan şehiriçi güzergahı için projelendirilmiş bir hatta, hiçbir özelliği değiştirmeden hazırlanmış veriler ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Mevcut hat 16 istasyondan oluşmuş olup, toplam uzunluğu 16,9km’ dir. Çizelge 4.2’ de istasyonlar arası mevcut mesafeler gösterilmiştir. Şekil 4.3’ te de hat boyu mevcut istasyon yerleri grafik üzerinde gözükmektedir. Simülasyonlarda kullanmak üzere, daha önce 3.2.1 numaralı "Hat Geometrisi,istasyon ve hız bölgelerinin oluşturulması" başlıklı bölümde anlatıldığı gibi, üzerinde çalışılacak hat nokta nokta dikey ve düşey eğrileri tanımlanarak veri girdisi olarak hazırlanmıştır.

**Çizelge 4.2 Mevcut ve düzenlenmiş hatlardaki istasyonlar arası mesafeler**

İstasyonlar Arası	İstasyonların Orijinal durum Mesafeleri
i1 i2	1239,6
i2 i3	898,1
i3 i4	1021,53
i4 i5	1090,28
i5 i6	1356,48
i6 i7	1146,37
i7 i8	938,11
i8 i9	830,92
i9 i10	742,18
i10 i11	914,74
i11 i12	810,1
i12 i13	807,16
i13 i14	795,49
i14 i15	1306,36
i15 i16	719,79



**Şekil 4.3 Mevcut istasyon yerleri**

Simülasyon için yol verileri girilmiş programa Bölüm 3.2.2’ de anlatıldığı üzere araç karakteristikleri tanıtılmıştır. Simülasyonlarda ALSTOM firmasının İUAŞ-2009 modelinin verileri kullanılmıştır. Araç detay bilgileri ve motor karakteristikleri Ek C’ de yer almaktadır.

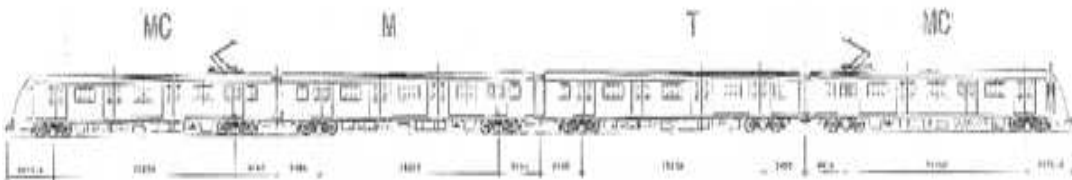
Metro dizileri MC-T-M-MC olarak 4’ lü dizi şeklinde alınmıştır (Şekil 4.4).

Bu dizide;

**MC** Motorlu ve sürücü kabinli araç

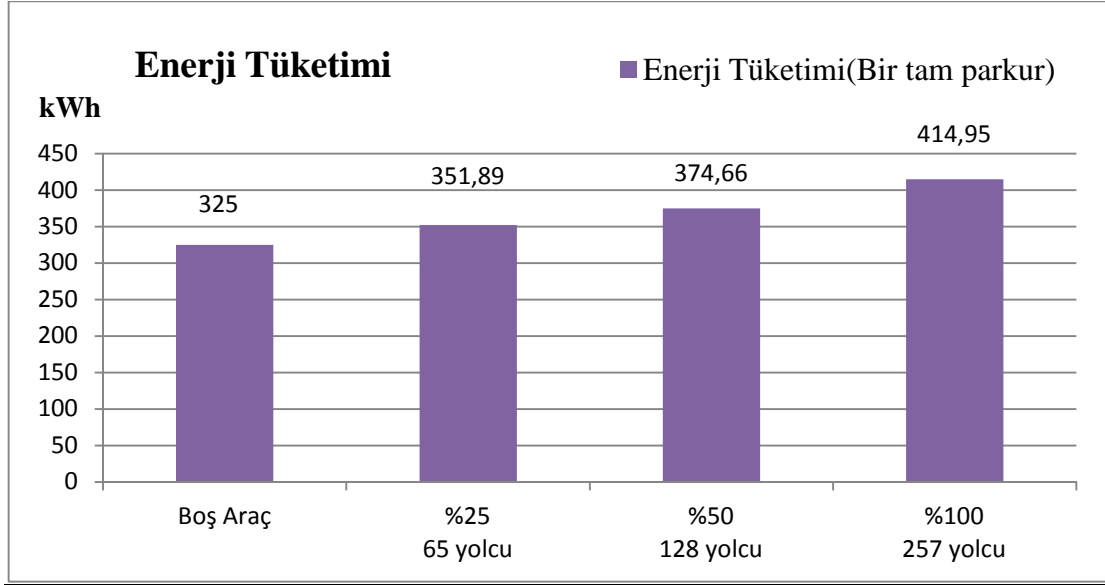
**M** Motorlu ara araç

**T** Motorsuz araçları temsil etmektedir. Araç dizileri 4’ lü veya 8’ li kombine edilirken, MC araç kısımları arasındaki elektromekanik kuplör ile bağlanırlar.



**Şekil 4.4 Dörtlü araç dizi resmi**

Hattın yol dataları ve araç karakteristikleri işlenerek simülasyonların gerçekleştirilmesiyle sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.5’ de mevcut (gerçek) hat simülasyonu için sonuçlar verilmiştir. Hat yol tasarımında hiçbir değişiklik söz konusu değildir. Buradaki değerler 4’ lü dizi araç için bir tam parkur süresindeki değerlerdir. Ayrıca simülasyon sonuçlarından araçtaki yolcu sayısına bağlı enerji tüketimi artışı da gözlemlenmektedir.



**Şekil 4.5 Bir tam parkurda aracın mevcut hatta enerji tüketimi değerleri**

Raylı sistem işletmelerinde metro dizileri oluşturulurken temel olarak yolcu talebi esas alınmaktadır. Enerji verimliliği için minimum dizi ile maksimum yolcu taşımak amaçlanmaktadır. Bu nedenle uygulamalarda, toplumsal ve sosyal olayların gerçekleştiği (spor karşılaşmaları, konser etkinlikleri vb.) zamanlarda araçlar 2 set (8’ li dizi) olarak işletilmektedir. Normal 4’ lü seferlerin arasına 8’ li dizi seferi koymak bağlantı, manevra ve sinyalizasyon değişikliği zorluğu nedeniyle işletme sıklığında kayıplara yol açabilmektedir. Bu sebeple 8’ li diziler çok özel durumlarda yüksek yolcu talebi gerektiren işletme zamanlarında kullanılmaktadır. Simülasyonlarda bu kriterler gözetilerek 8’ li dizi için de tam kapasiteli yolcu yükünde de hesaplamalar yapılmıştır.

8' li dizi MC-T-M-MC- MC-T-M-MC olarak 2 set ile ALSTOM firmasının İUAŞ-2009 modelinin verileri ile oluşturulmuştur.

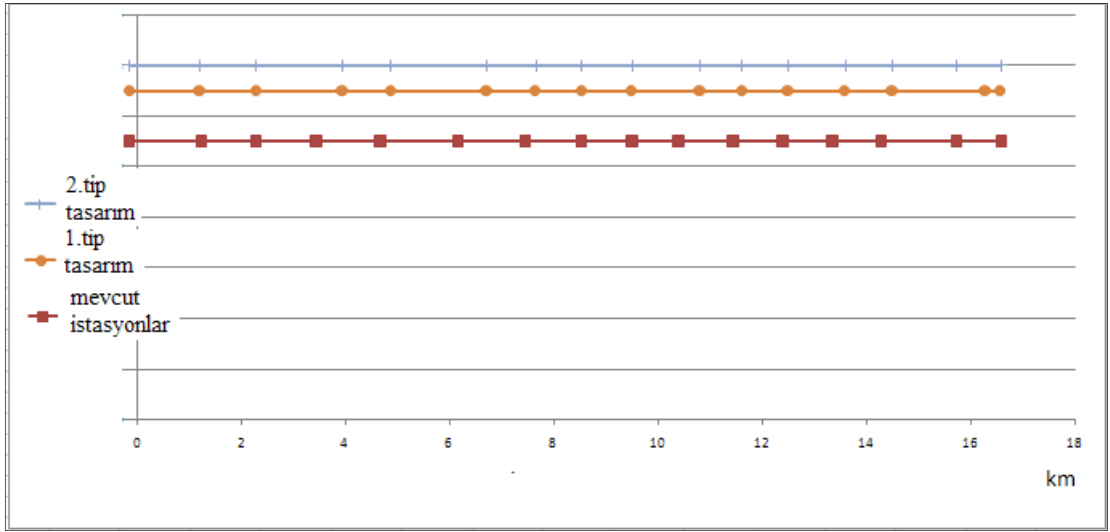
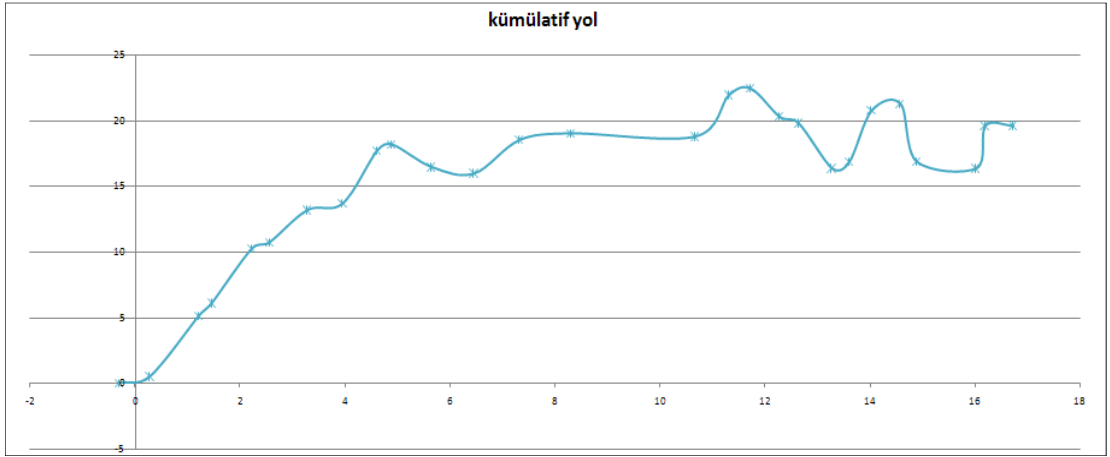
Mevcut hatta yapılan simülasyon sonucunda, 8' li dizi, tam kapasite yolcu yükünde bir tam parkur için tüketilen enerji 945 kWh' tir.

#### **4.2 İstasyon Yerleri Değiştirilmiş Hat Simülasyonu**

Tepe-Vadi Profil sistemi ile enerji tasarrufu elde edilebileceği 2.13' üncü bölümde belirtilmişti. Bu sistemin kurulabileceği yerler raylı sistem araçlarının temel frenleme ve ivmelenme yerleri olan istasyon bölgeleridir. İstasyona girerken yavaşlayarak frenleyen ve duran araçlar, istasyondan çıkarken ivmelenmekte ve normal seyir hızına çıkmaktadır. Bu bağlamda istasyon yerlerini tepe-vadi profili sistemine göre değiştirmek, yani tepelere istasyonları yerleştirmek sureti ile istasyona giren trenlerde doğal yollu mekaniksel frenleme ve istasyon çıkışlarında da mekaniksel ivmelenme kolaylığı sağlanabilir.

Üzerinde çalışılan hattın gerçek istasyonlar arası mesafeleri Çizelge 4.2' deki gibidir. Bu istasyon yerlerinin maksimum Şekil 4.6' daki gibi enerji kazancı sağlayabilecek yükselen tepelere istasyonlar yerleştirildiğinde, yukarıda bahsi geçen metotla enerji kazanımı sağlanmaktadır. Bu 1.tip tasarım olarak isimlendirilmiş ve bu durumdaki elektrik enerjisi tüketim değerleri Şekil 4.7' de görülmektedir. Ancak, istasyon yerleri değiştirilirken istasyonlar arası mesafeler dikkate alınmamıştır. Bu mesafeler de dikkate alındığında, orijinal mesafelere uygun olmayan yerleşim olarak son iki istasyon arası mesafe görülmüştür. Eğer bu son iki istasyonu orijinal yerinde tutarsak 2.tip tasarım (optimum tasarım) elde edilmektedir. Bu durumdaki elektrik enerjisi tüketim değerleri yine Şekil 4.7' de gözüktüğü gibi düşüş göstermiştir.

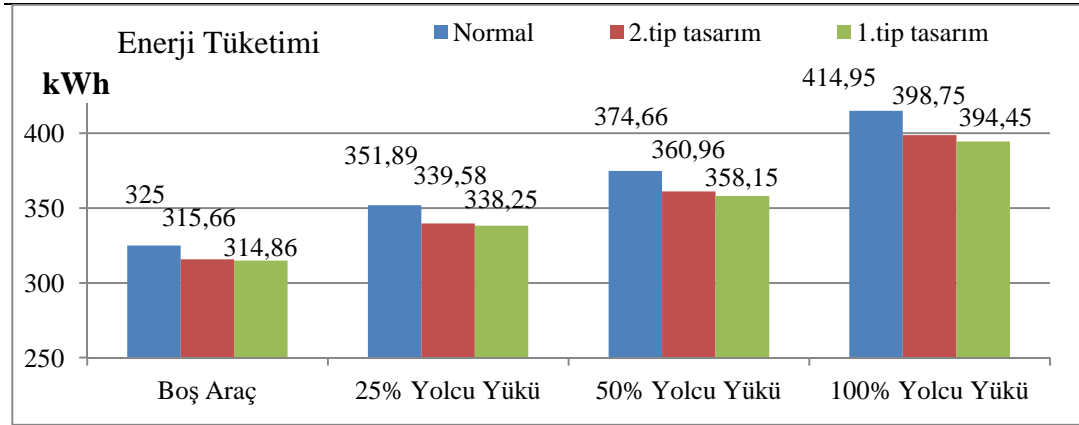
Şekil 4.6' da mevcut metro hattında istasyon yerlerinin tepe-vadi profiline göre kaydırılması görülmektedir.



**Şekil 4.6 Hat dikey kümülatif profilinin, mevcut ve düzenlemiş istasyon yerlerinin çizimi**

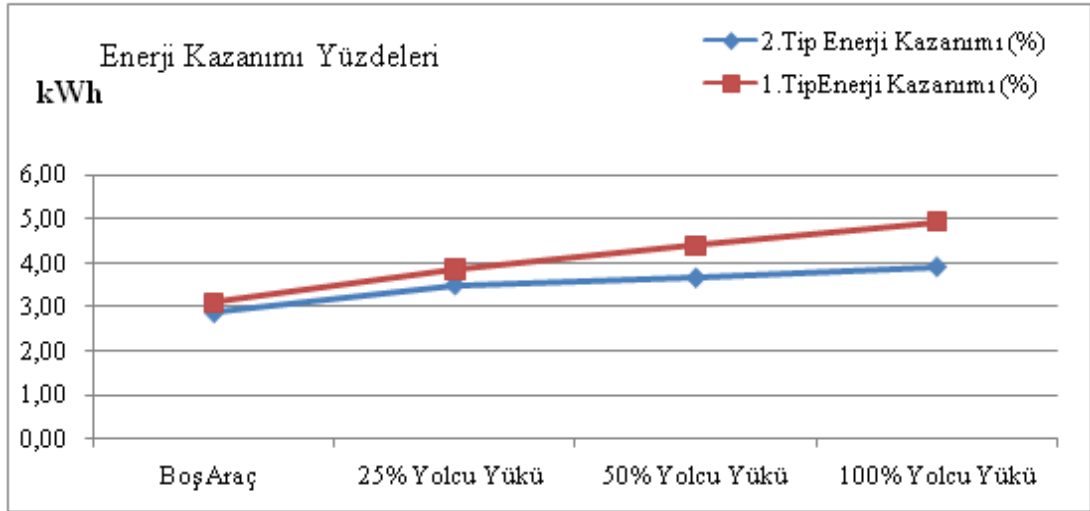
**Çizelge 4.3 Mevcut ve düzenlenmiş hatlardaki istasyonlar arası mesafeler**

İstasyon numaraları	Mevcut durumda istasyonlar arası mesafe (m)	1. Tip tasarımda istasyonlar arası mesafe (m)	2. Tip tasarımda istasyonlar arası mesafe (m)
i1 i2	1239,6	1198,95	1198,95
i2 i3	898,1	938,75	938,75
i3 i4	1021,53	1521,96	1521,96
i4 i5	1090,28	800,37	800,37
i5 i6	1356,48	1680,67	1680,67
i6 i7	1146,37	810	810
i7 i8	938,11	739,77	739,77
i8 i9	830,92	830,23	830,23
i9 i10	742,18	1160	1160
i10 i11	914,74	670	670
i11 i12	810,1	750	750
i12 i13	807,16	950	950
i13 i14	795,49	770	770
i14 i15	1306,36	1640	1076,72
i15 i16	719,79	150	719,79



**Şekil 4.7 Bir tam parkurda, farklı yolcu yüklerinde, 1.tip ve 2.tip tasarımdaki araç enerji tüketimi değerleri**

Şekil 4.8' de 1.ve 2.tip tasarımdaki enerji kazanım yüzdeleri gösterilmiştir. İstasyon yerlerinin optimum yerleşimindeki enerji kazanımında azalma gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.8 Bir tam parkurda, farklı yolcu yüklerinde 1.tip ve 2.tip tasarımdaki araç enerji tüketimi kazanımı yüzdeleri**

Enerji tüketim sonuçlarından görüldüğü üzere sadece istasyon yerleri ile oynayarak %4,94' lere varan enerji kazanımları gözlemlenmiştir. Bu verimlerde yolcu yükü de etkindir. Yolcu yükü arttıkça enerji tüketimi dolayısı ile enerji kazanımı artmaktadır.

Bununla birlikte her ne kadar istasyon yerlerini tepe-vadi profiline göre belirleme ile enerji kazanımı sağlansa da raylı sistem projelerinde istasyon yerlerini belirlemede enerji tüketiminden daha öncelikli kriterler vardır.

Bu kriterler öncelikli olarak sırasıyla şöyle sıralanabilir:

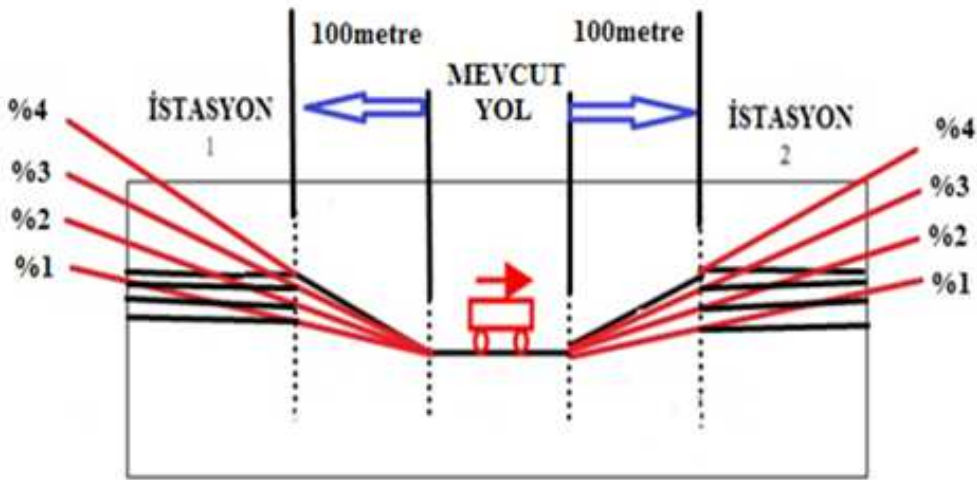
- Yeryüzü şekillerinin projede olan etkisi ile istasyon yerlerinin belirlenmesi
- Merkezi ulaşım noktalarında bulunmasını temin için istasyon yerlerinin belirlenmesi
- Diğer metro hatları veya otobüs, metrobüs gibi diğer ulaşım tipleri ile bağlantı noktasında olmasını temin için istasyon yerlerinin belirlenmesi
- İstasyonun yolcu erişimine kolay, yüksek derinlikte olmayan noktada bulunması istasyon yerlerinin belirlenmesi
- Tepe-Vadi profiline uygun enerji kazanımı amaçlı istasyon yerlerinin belirlenmesi

Bu kriterler göz önünde bulundurulduğunda elde edilebilecek %4,94' lere varan elektrik enerjisi kazanımı kriter olarak son sırada yer almaktadır. Bu nedenlerle istasyon yerlerinin tepe-vadi profiline uygun yerleştirilmesi yerine, istasyon giriş bölgelerine tepe ve çıkış bölgelerine vadi profili uygulanması enerji kazanımı için daha uygun olacaktır.

#### 4.3 Tepe-Vadi Eğrisine Göre Yol Eğimleri Değiştirilmiş Hat Simülasyonu

Raylı sistemler uygulamasında yol eğimleri %4' le sınırlandırılmıştır. Çalışma kapsamında eğim sınırlandırılması dikkate alınarak TVE sistemine göre istasyondan önce yükselen, istasyondan sonra da alçalan gidiş ve geliş yollarında ikiz olarak, mevcut hat üzerinde geometriksel tasarım değiştirilmeden yeniden oluşturulmuştur.

İstasyon öncesi ve sonrasında 100 metreden 500 metreye kadar her bir 100 metrelik değişimde, %1 den %4' e kadar eğimli iniş-çıkış yolları eklenerek TVE sistemi oluşturulmuş ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Eğer istasyon öncesi veya sonrasında eğim mevcut ise, sadece ilgili metrelerdeki eğimler değiştirilmiş hattın genel tasarımında değişikliğe gidilmemiştir. Zira hat tasarımı tamamen harita ve inşaat mühendisliği konusu olup uzman bilgisi ile özel tasarım programları gerektirmektedir. Şekil 4.9' da ilgili hat düzenlemesinin görsel çizimi bulunmaktadır.



Şekil 4.9 TVE' ye göre hat düzenleme



Simülasyon sonuçlarında, normal yol tasarımına göre, 100 metreden 500 metreye kadar hem gidiş hem de geliş yönünde %1' den %4' e kadar değişen eğimlerle yerleştirilerek oluşturulan tepe-vadi eğrisi tasarımının, bir parkurdaki 4' lü ve 8' li dizide olan enerji tüketimleri karşılaştırılmıştır.

#### 4.3.1 Dörtlü Dizi İçin Hat Simülasyonu

Yapılan simülasyonlar neticesinde yolcu yükünden bağımsız olarak boş araç için yapılan simülasyonlarda Çizelge 4.4' deki değerler elde edilmiştir.

**Çizelge 4.4 Boş araç için metre, ve eğimlere bağlı enerji kazanımı yüzdeleri**

İniş-çıkış metre	Eğimler			
	%1	%2	%3	%4
	Bir seferdeki elektrik enerjisi kazanımı (%)			
100	2,78	3,98	5,20	6,43
200	7,31	8,23	9,08	9,80
300	10,95	10,66	10,05	9,29
400	11,55	10,17	8,51	6,66
500	10,55	8,48	6,14	3,62

Yarı yolcu yükünde (%50) ilgili enerji kazanım değerleri Çizelge 4.5' deki gibi elde edilmiştir.

**Çizelge 4.5 Yarı yolcu yükünde, metre ve eğimlere bağlı enerji kazanımı yüzdeleri**

İniş-çıkış metre	Eğimler			
	%1	%2	%3	%4
	Bir seferdeki elektrik enerjisi kazanımı (%)			
100	2,53	3,77	4,97	6,22
200	6,92	8,51	9,89	11,14
300	10,44	10,98	10,95	10,97
400	10,95	10,25	9,26	8,39
500	9,64	7,87	6,10	4,61

Ayrıca sistemdeki gerçek yolcu yüküne bağlı enerji kazanımlarını gözlemleme adına, gün içi yolcu modeli ile talep yolcu yüküne göre simülasyonlar oluşturulmuştur. Çizelge 4.6’ daki talep yolcu yükü sonuçlarının da, Çizelge 4.5’ teki yarı yolcu yüküne çok yakın çıktığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 4.6 Talep yolcu yükünde, metre ve eğimlere bağlı enerji kazanımı yüzdeleri**

İniş-çıkış metre	Eğimler			
	%1	%2	%3	%4
	Bir seferdeki elektrik enerjisi kazanımı (%)			
100	1,70	2,95	4,17	5,42
200	6,13	7,74	9,13	10,39
300	9,68	10,22	10,20	10,21
400	10,20	9,50	8,49	7,62
500	8,88	7,09	5,31	3,80

#### 4.3.2 Sekizli Dizi İçin Hat Simülasyonu

8’li dizi araç için simülasyonlarda tam kapasite yolcu yükü esas alınmıştır. Uygulamalarda 8’ li araç dizisi çok yoğun yolcu taleplerinde (toplumsal ve sosyal etkinlikler durumunda) kullanılmaktadır. Bu nedenle 8’ li dizide tam kapasite için simülasyonlar yapmak uygun olacaktır.

Yine aynı şekilde 100 metreden 500 metreye ve %1’ den %4’ e kadar olan ikiz eğimlerde simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’ de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.7 Tam yolcu yükünde, 8' li dizide, metre ve eğimlere bağlı enerji kazanımı yüzdeleri**

İniş-çıkış metre	Eğimler			
	%1	%2	%3	%4
100	2,37	3,35	3,24	5
200	4,85	6,41	8,24	10,1
300	9,63	11,5	13,2	14,2
400	10,5	11,7	12,2	12,1
500	8,92	8,88	8,62	8,07

Bu bölümde yapılan hesaplamalar sonucunda aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir;

- İstasyon yerlerinin tepe-vadi eğrisi sistemine göre kaydırılması enerji tüketiminde % 4,94' lere varan enerji kazanımı sağlanmaktadır.
- İstasyonların öncesi ve sonrasındaki %1' den %4' e kadar olan eğimler oluşturulduğunda dörtlü dizideki boş araçta %11,55, %50 yolcu yüküne sahip araçta %11,14 ve talep yolcu yüklü araçta %10,39' lara varan enerji kazanımları söz konusudur.
- Normal yolcu yükünde enerji kazanımlarında yolcu yüküne bağlı olarak enerji tüketimleri dolayısı ile enerji kazanımları artmaktadır. Ancak TVE sistemi ile düzenlenmiş bir yolda yolcu yükünün araç ivmelenme-hızlanmasına olan etkisinden dolayı her metredeki TVE için enerji kazanımının artmadığı gözlemlenmiştir.
- Maliyet kıyaslamalarında bu matrisler dikkate alınarak inşaat maliyetleri ile değerlendirilerek en uygun metre-eğim derecesi seçilebilir.
- Sekizli dizi araçta, tam yolcu yükünde %14,2' lere varan enerji kazanımı gözlenmiştir.
- Yolcu yükü, enerji tüketiminde etken bir parametredir.



## 5. ENERJİ MALİYET KAZANIMI DEĞERLENDİRMESİ

Tepe-Vadi eğrisi sistemi ile %1' den %4' e kadar kademeli olarak artırılan eğimler neticesinde elde edilen enerji tüketim değerleri ve kazanımlarının yıllık sefer sayısı üzerinden maliyet kazanımları aşağıda detaylı olarak incelenmiştir. Aynı uzunluktaki mevcut bir metro işletmesinden alınan verilere bağlı olarak yapılan günlük, aylık ve yıllık sefer sayısı Çizelge 5.1.' de verilmiştir. Ortalama yıllık sefer sayısı, yıllık sefer sayısı, ek seferler, günlük hat kontrol, test ,olağan dışı seferler (sosyal ve resmi olaylar kaynaklı ek seferler) ve tolerans eklenerek hesaplanmış ve Çizelge 5.1' de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1 Yıllık Sefer Hesaplaması**

Günlük Sefer	260
Aylık Sefer	8.060
Yıllık Sefer	96.720
Ortalama Yıllık Tam Parkur Sefer	125.736

4.Bölüm' de bahsedildiği üzere, metro günüçi yolcu talebi üzerinden araç içi ortalama yolcu yoğunluğu hesaplanmış ve günüçi enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Ortalama yolcu talebine göre elde edilen değerlerin yarı kapasitedeki yolcu yükü ile çok yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Bu da günüçinde araçların ortalama olarak yarı yolcu kapasitesinde seyir ettiklerini göstermektedir.

Maliyet kazanımlarını değerlendirirken, talep yolcu yükü esas alınmıştır. Çizelge 5.2' de sefer başına kWh, Çizelge 5.3' te yıllık kWh ve Çizelge 5.4' te de yıllık TL maliyet kazanım hesapları gösterilmiştir.

**Çizelge 5.2 Talep yolcu yükünde, metre ve eğimlere bağlı sefer başına kWh enerji kazanımı**

İniş-çıkış metre	Eğimler			
	%1	%2	%3	%4
	Bir seferdeki elektrik enerjisi kazanım (kWh)			
100	6,35	10,87	15,13	19,44
200	21,81	27,06	31,46	35,30
300	33,16	34,79	34,71	34,79
400	34,72	32,58	29,45	26,68
500	30,66	24,97	19,06	13,87

**Çizelge 5.3 Talep yolcu yükünde, metre ve eğimlere bağlı bir yıllık ortalama sefer sayısınca kWh enerji kazanımı**

İniş-çıkış metre	Eğimler			
	%1	%2	%3	%4
	Yıllık elektrik enerjisi kazanım (kWh)			
100	797872	1366691	1902940	2444659
200	2741983	3402846	3955335	4438559
300	4168866	4374391	4364181	4374391
400	4365202	4096279	3702725	3355062
500	3855398	3139483	2396556	1743534

**Çizelge 5.4 Talep yolcu yükünde, metre ve eğimlere bağlı bir yıllık ortalama sefer sayısınca TL maliyet kazanımı**

İniş-çıkış metre	Eğimler			
	%1	%2	%3	%4
	Yıllık elektrik enerjisi maliyeti kazanımı (TL)			
100	207447	355340	494764	635611
200	712916	884740	1028387	1154025
300	1083905	1137342	1134687	1137342
400	1134953	1065033	962709	872316
500	1002403	816266	623105	453319

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Raylı sistemler, toplu taşımada büyük kentler için yegane çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.Banliyö, metro, hafif metro ve tramvay hatları şehiriçi hareketi için enerji verimli ve çevre dostu sistemlerdir.Raylı sistemlere olan ilgi her geçen gün artmakta,10,20 ve 50 yıllık şehir planlarında raylı sistem ağları kat kat genişlemiş ve enterkonnekte olmuş şeklinde tasarlanmıştır.İstanbul için baktığımızda 2023 yılı hedefinde 293km' lik bir ağ planlandığı gözükmektedir. Şuanki durumda 111 km' lik mevcut hat düşünüldüğünde hedeflerin ne denli büyük olduğu aşikardır.

Raylı sistem taşımacılığında birim enerji/km-yolcu sayısı diğer ulaştırma yöntemlerine göre düşük olsa da, raylı sistemlerin enerji tüketiminin toplam ulaştırma enerji tüketimindeki payı raylı sistemlerin çoğalması her geçen gün artmaktadır.Bu bağlamda raylı sistemlerde enerji verimliliği esas haline gelmiş, çok sayıda Ar-Ge, enerji verimliliği ve kazanımı projeleri ulusal ve uluslararası platformlarda konuşulmaya ve uygulanmaya başlanmıştır.

Enerji maliyetleri inşaat maliyetleri gibi bir kez değil hattın çalıştığı müddetçe karşılanması zorunlu giderlerdir.Bu bağlamda metro ve diğer raylı sistemlerin projelendirilmesi esnasında enerji maliyetleri de önemli bir kriter olarak dikkate alınmalıdır.Araç motorlarından, istasyonda kullanılacak olan asansöre kadar bütün elektrifikasyonda ve elektrikli sistemlerde enerji verimli sistemler kullanılması esas olmalıdır.

Bu tez çalışmasında da görüldüğü üzere raylı sistemlerde enerji kazanımları, işin proje aşamasından başlamaktadır. Yapılabilecek uygun tasarımlar ile istasyon yerlerinin kaydırılması ile enerji tüketiminde azalmalar sağlanabilir ancak bu noktada yolcuların istasyona erişimi, yüzeye olan mesafenin yakın olması gibi konular ön plana çıkmaktadır. Bunun sonucunda da enerji kazanımları sınırlı olmaktadır.

Enerji kazanımına uygun tepe-vadi eğrisi sistemi ile hat geometri tasarımının düzenlenmesinin yıllık enerji maliyetlerini düşürdüğü simülasyon çalışmaları

sonucunda gözlemlenmiştir. Bu tasarımlarda inşaat maliyetleri, tünel tipi açılan metro hatlarında şüphesiz çok daha az etken olmakla birlikte aç-kapa veya diğer raylı sistem türlerinde artışa neden olabilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi inşaat maliyetleri için başlangıçta ödeme yapılırken, enerji maliyetleri için tesisin kullanımı boyunca ödeme yapmak gerekmektedir. Bu nedenle inşaat maliyetleri ile enerji tüketim maliyetlerinin karşılaştırılması proje açısından faydalı olacaktır. Bu çalışmada inşaat maliyetleri hesaba katılmadan düzenlenecek olan yol tasarımlarının, enerji tüketimi maliyet kazanımı üzerindeki faydası incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda tepe-vadi eğrisi sistemine göre düzenlenmiş talep yolcu yükünde seyreden araçlar ile maksimum tasarruf oranı %10,39' lara varan enerji kazanımı ile 200 metrelik iniş-çıkışlarda %4' lük eğim durumuna karşılık gelmektedir. Ancak eğimdeki kısıtlamalar ve inşaat maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda 300 metrelik iniş-çıkışlı ve %2 eğime sahip durumda elde edilen %10,22' lik tasarruf uygulanabilir olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu uygulama ile yıllık 1137342 TL maliyet kazanımı sağlanmaktadır. Böylece maliyet düşüşlerinden şirket ve ülke ekonomisine katkı sağlanırken, elde edilecek enerji tasarrufu ve bunun sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonlarının azalması ile de çevresel faydalar sağlanacaktır.



## 7. KAYNAKLAR

- [1] **PROFILLDIS, V.A.** , *Railway Engineering*, Ashgate Publishing Company , Brookfield, UK, 1995
- [2] **V.ARLI, Z.ÖZTÜRK**, *Demiryolu Mühendisliği*, İstanbul Ulaşım A.Ş., 2009
- [3] **MEVLANA KALKINMA AJANSI**, *Ulaştırma Sektörü 2023 Vizyon Raporu*, 2013
- [4] **TÜRKİYE İSTATİSTİK KURUMU**, *Ulaştırma İstatistikleri Özeti*, 2011
- [5] **TCRP**, Transportation Research Board, **TCRP** Report 57 *Track Desing Handbook for Light Rail Transit*, 1999
- [6] **ULAŞTIRMA, DENİZCİLİK VE HABERLEŞME BAKANLIĞI**, *Türkiye Ulaşım ve İletişim Stratejisi*, 2012
- [7] **SCHMIEDER A., SCHNEIDER E., KIESSLING F., PUSCHMANN R.**, *Contact Lines for Electric Railways*, Siemens, 2nd Edition, 2009
- [8] **URL-1**, < <https://www.istanbululasim.com.tr> > (01.12.2012 tarihinde erişildi.)
- [9] **MALVIN HO H.C., MELVYN THONG T.L., SIM SIOW PENG**, *Energy Conservation Measures for Rapid Transit Sytem in Singapore*, 2006
- [10] **S.AÇIKBAŞ**, *Raylı Toplu Ulaşım Sistemlerinde Enerji Verimliliği, İBB Semineri*, 2012
- [11] **K.KITAE**, *Optimal Train Control On Various Track Alignments Considering Speed And Schedule Adherence Constraints*, 2000
- [12] **RAILSIM**, *Railsim 8 User Manuel*, Systra Inc, 2008



## **EKLER**

**EK A :** Railsim Yol Verisi Hazırlama Örnek Excel Dosyası Şablonu

**EK B :** Railsim TPC İçin Hazırlanmış Uygun Formatta Text Dosyası Şablonu

**EK C :** Alstom (İUAŞ-2009) Aracı Karakteristik Özellikleri

**EK A**

RAILSIM® - TPC Track Data Template							
**	Segment Data						
Data Type	Units (M,I)	Track SG ID	Location of Start (x100)	Location of End (x100)			
2	3	5	14	23			
SG	M	51	-31150	1691934			
**							
**							
**	Grade Data						
Data Type	Units (M,I)	Track SG ID	Location of Start (x100)	Grade (%x1000)			
2	3	5	14	20			
GR	M	51	-31150	500			
GR	M	51	26747	4600			
GR	M	51	119825	1000			
GR	M	51	144921	4111			
GR	M	51	220674	500			
GR	M	51	254772	2450			
GR	M	51	326739	500			
GR	M	51	393896	4000			
GR	M	51	459097	500			
GR	M	51	487933	-1721			
GR	M	51	563623	-500			
GR	M	51	644124	2563			
GR	M	51	731350	500			
GR	M	51	829878	-250			
GR	M	51	1065300	3159			
GR	M	51	1129834	500			
GR	M	51	1171490	-2150			
GR	M	51	1226660	-500			
GR	M	51	1262806	-3417			
GR	M	51	1326482	500			
GR	M	51	1359529	3900			
GR	M	51	1401894	500			
GR	M	51	1456931	-4400			
GR	M	51	1488002	-500			
GR	M	51	1601549	3240			
GR	M	51	1618532	0			
**							
**							
**							

Curve Data							
Data Type	Units (M,I)	Track SG ID	Location of Curve/Tangent Start (x100)	D (Degree of Curvature) or R (Radius)	Curvature (degree x 1000) or Radius	Superelevation of curve (feet/metersx1000)	S (TS spiral start), E (ST spiral end) or blank (refer to user manual)
2	3	5	14	16	23	28	30
CV	M	51	-28339	R	200	59	S
CV	M	51	-16801	R	0	0	E
CV	M	51	22526	R	-300	48	S
CV	M	51	29526	R	-300	48	
CV	M	51	39175	R	-300	48	
CV	M	51	46175	R	0	0	E
CV	M	51	49976	R	300	88	S
CV	M	51	56976	R	300	88	
CV	M	51	74261	R	300	88	
CV	M	51	81261	R	0	0	E
CV	M	51	140596	R	300	123	S
CV	M	51	147596	R	300	123	
CV	M	51	170976	R	300	123	
CV	M	51	177976	R	0	0	E
CV	M	51	204600	R	-1432	33	S
CV	M	51	211600	R	-1432	33	
CV	M	51	218348	R	-1432	33	
CV	M	51	225348	R	0	0	E
CV	M	51	244096	R	-332	222	S
CV	M	51	251096	R	-332	222	
CV	M	51	290298	R	-332	222	
CV	M	51	297298	R	0	0	E
CV	M	51	316230	R	968	44	S
CV	M	51	323230	R	968	44	
CV	M	51	332156	R	968	44	
CV	M	51	339156	R	0	0	E
CV	M	51	419557	R	375	162	S
CV	M	51	426557	R	375	162	
CV	M	51	457287	R	375	162	
CV	M	51	464287	R	0	0	E
CV	M	51	568451	R	-332	175	S
CV	M	51	575451	R	-332	175	
CV	M	51	607733	R	-332	175	
CV	M	51	614733	R	0	0	E
CV	M	51	633186	R	-332	143	S
CV	M	51	640186	R	-332	143	
CV	M	51	667213	R	-332	143	
CV	M	51	674213	R	0	0	E
CV	M	51	697078	R	300	173	S
CV	M	51	704078	R	300	173	
CV	M	51	735591	R	300	173	
CV	M	51	742591	R	0	0	E
CV	M	51	784564	R	-2532	55	S
CV	M	51	791564	R	-2532	55	

CV	M	51	802639	R	-2532	55	
CV	M	51	809639	R	0	0	E
CV	M	51	823523	R	428	64	S
CV	M	51	830523	R	428	64	
CV	M	51	843375	R	428	64	
CV	M	51	850375	R	0	0	E
CV	M	51	966666	R	778	38	S
CV	M	51	973666	R	778	38	
CV	M	51	981366	R	778	38	
CV	M	51	988366	R	0	0	E
CV	M	51	1054924	R	-392	47	S
CV	M	51	1061924	R	-392	47	
CV	M	51	1071456	R	-392	47	
CV	M	51	1078456	R	0	0	E
CV	M	51	1114433	R	300	64	S
CV	M	51	1121433	R	300	64	
CV	M	51	1134100	R	300	64	
CV	M	51	1141100	R	0	0	E
CV	M	51	1178803	R	-900	216	S
CV	M	51	1185803	R	-900	216	
CV	M	51	1228325	R	-900	216	
CV	M	51	1235325	R	0	0	E
CV	M	51	1374024	R	7000	31	S
CV	M	51	1381024	R	7000	31	
CV	M	51	1387300	R	7000	31	
CV	M	51	1394300	R	0	0	E
CV	M	51	1449599	R	-350	49	S
CV	M	51	1456599	R	-350	49	
CV	M	51	1466404	R	-350	49	
CV	M	51	1473404	R	0	0	E
CV	M	51	1512255	R	550	195	S
CV	M	51	1519255	R	550	195	
CV	M	51	1556777	R	550	195	
CV	M	51	1563777	R	0	0	E
CV	M	51	1589269	R	-600	52	S
CV	M	51	1596269	R	-600	52	
CV	M	51	1606830	R	-600	52	
CV	M	51	1613830	R	0	0	E

**	Platform Data						
Data Type	Units (M,I)	Track SG ID	Location of Start (x100)	Location of End (x100)	Station ID	Station Name	
2	3	5	14	23	27	48L29	
PL	M	51	-14070	-70	S01	STATION 1	
PL	M	51	144921	158921	S02	STATION 2	
PL	M	51	254772	268772	S03	STATION 3	
PL	M	51	393896	407896	S04	STATION 4	
PL	M	51	466881	480881	S05	STATION 5	
PL	M	51	644124	658124	S06	STATION 6	
PL	M	51	731350	745350	S*7	STATION 7	
PL	M	51	852977	866977	S08	STATION 8	
PL	M	51	950069	964069	S09	STATION 9	
PL	M	51	1065300	1079300	S10	STATION 10	
PL	M	51	1129834	1143834	S11	STATION 11	
PL	M	51	1226660	1240660	S12	STATION 12	
PL	M	51	1359529	1373529	S13	STATION 13	
PL	M	51	1488002	1502002	S14	STATION 14	
PL	M	51	1601549	1615549	S15	STATION 15	
PL	M	51	1657651	1671651	S16	STATION 16	
**	Speed Data						
P e ( M I )	I D	( x I 0 0 )	d ( x I 0 0 )	p e e d	a d E n d		
2	3	5	14	23	27	29	
CS	M	51	-31150	-14070	80	T	
CS	M	51	-14070	-70	40	H	
CS	M	51	-70	144921	80	T	
CS	M	51	144921	158921	40	H	
CS	M	51	158921	254772	80	T	
CS	M	51	254772	268772	40	H	
CS	M	51	268772	393896	80	T	
CS	M	51	393896	407896	40	H	
CS	M	51	407896	466881	80	T	
CS	M	51	466881	480881	40	H	
CS	M	51	480881	644124	80	T	
CS	M	51	644124	658124	40	H	
CS	M	51	658124	731350	80	T	
CS	M	51	731350	745350	40	H	
CS	M	51	745350	852977	80	T	
CS	M	51	852977	866977	40	H	
CS	M	51	866977	950069	80	T	
CS	M	51	950069	964069	40	H	

CS	M	51	964069	1065300	80	T	
CS	M	51	1065300	1079300	40	H	
CS	M	51	1079300	1129834	80	T	
CS	M	51	1129834	1143834	40	H	
CS	M	51	1143834	1226660	80	T	
CS	M	51	1226660	1240660	40	H	
CS	M	51	1240660	1359529	80	T	
CS	M	51	1359529	1373529	40	H	
CS	M	51	1373529	1488002	80	T	
CS	M	51	1488002	1502002	40	H	
CS	M	51	1502002	1601549	80	T	
CS	M	51	1601549	1615549	40	H	
CS	M	51	1615549	1657651	80	T	
CS	M	51	1657651	1671651	40	H	
CS	M	51	1671651	1691934	80	T	
TU	M	51	-31150	1691934	T		



**EK B**

Data Converted to text format suitable for input directly into TPC or into Database Editor

SGM51 -31150 1691934

GRM51 -31150 500  
GRM51 26747 4600  
GRM51 119825 1000  
GRM51 144921 4111  
GRM51 220674 500  
GRM51 254772 2450  
GRM51 326739 500  
GRM51 393896 4000  
GRM51 459097 500  
GRM51 487933 -1721  
GRM51 563623 -500  
GRM51 644124 2563  
GRM51 731350 500  
GRM51 829878 -250  
GRM51 1065300 3159  
GRM51 1129834 500  
GRM51 1171490 -2150  
GRM51 1226660 -500  
GRM51 1262806 -3417  
GRM51 1326482 500  
GRM51 1359529 3900  
GRM51 1401894 500  
GRM51 1456931 -4400  
GRM51 1488002 -500  
GRM51 1601549 3240  
GRM51 1618532 0

CVM51 -28339 R 200 59 S  
CVM51 -16801 R 0 0 E  
CVM51 22526 R -300 48 S  
CVM51 29526 R -300 48  
CVM51 39175 R -300 48  
CVM51 46175 R 0 0 E  
CVM51 49976 R 300 88 S  
CVM51 56976 R 300 88  
CVM51 74261 R 300 88  
CVM51 81261 R 0 0 E  
CVM51 140596 R 300 123 S  
CVM51 147596 R 300 123  
CVM51 170976 R 300 123  
CVM51 177976 R 0 0 E  
CVM51 204600 R -1432 33 S  
CVM51 211600 R -1432 33  
CVM51 218348 R -1432 33

CVM51 225348 R 0 0 E  
CVM51 244096 R -332 222 S  
CVM51 251096 R -332 222  
CVM51 290298 R -332 222  
CVM51 297298 R 0 0 E  
CVM51 316230 R 968 44 S  
CVM51 323230 R 968 44  
CVM51 332156 R 968 44  
CVM51 339156 R 0 0 E  
CVM51 419557 R 375 162 S  
CVM51 426557 R 375 162  
CVM51 457287 R 375 162  
CVM51 464287 R 0 0 E  
CVM51 568451 R -332 175 S  
CVM51 575451 R -332 175  
CVM51 607733 R -332 175  
CVM51 614733 R 0 0 E  
CVM51 633186 R -332 143 S  
CVM51 640186 R -332 143  
CVM51 667213 R -332 143  
CVM51 674213 R 0 0 E  
CVM51 697078 R 300 173 S  
CVM51 704078 R 300 173  
CVM51 735591 R 300 173  
CVM51 742591 R 0 0 E  
CVM51 784564 R -2532 55 S  
CVM51 791564 R -2532 55  
CVM51 802639 R -2532 55  
CVM51 809639 R 0 0 E  
CVM51 823523 R 428 64 S  
CVM51 830523 R 428 64  
CVM51 843375 R 428 64  
CVM51 850375 R 0 0 E  
CVM51 966666 R 778 38 S  
CVM51 973666 R 778 38  
CVM51 981366 R 778 38  
CVM51 988366 R 0 0 E  
CVM51 1054924 R -392 47 S  
CVM51 1061924 R -392 47  
CVM51 1071456 R -392 47  
CVM51 1078456 R 0 0 E  
CVM51 1114433 R 300 64 S  
CVM51 1121433 R 300 64  
CVM51 1134100 R 300 64  
CVM51 1141100 R 0 0 E  
CVM51 1178803 R -900 216 S  
CVM51 1185803 R -900 216  
CVM51 1228325 R -900 216  
CVM51 1235325 R 0 0 E  
CVM51 1374024 R 7000 31 S  
CVM51 1381024 R 7000 31  
CVM51 1387300 R 7000 31  
CVM51 1394300 R 0 0 E

CVM51 1449599 R -350 49 S  
CVM51 1456599 R -350 49  
CVM51 1466404 R -350 49  
CVM51 1473404 R 0 0 E  
CVM51 1512255 R 550 195 S  
CVM51 1519255 R 550 195  
CVM51 1556777 R 550 195  
CVM51 1563777 R 0 0 E  
CVM51 1589269 R -600 52 S  
CVM51 1596269 R -600 52  
CVM51 1606830 R -600 52  
CVM51 1613830 R 0 0 E

PLM51 -14070 -70 S01 STATION 1  
PLM51 144921 158921 S02 STATION 2  
PLM51 254772 268772 S03 STATION 3  
PLM51 393896 407896 S04 STATION 4  
PLM51 466881 480881 S05 STATION 5  
PLM51 644124 658124 S06 STATION 6  
PLM51 731350 745350 S07 STATION 7  
PLM51 852977 866977 S08 STATION 8  
PLM51 950069 964069 ST0 STATION 9  
PLM51 1065300 1079300S10 STATION 10  
PLM51 1129834 1143834S11 STATION 11  
PLM51 1226660 1240660S12 STATION 12  
PLM51 1359529 1373529S13 STATION 13  
PLM51 1488002 1502002S14 STATION 14  
PLM51 1601549 1615549S15 STATION 15  
PLM51 1657651 1671651 S16 STATION 16

CSM51 -31150 -14070 80 T  
CSM51 -14070 -70 40 H  
CSM51 -70 144921 80 T  
CSM51 144921 158921 40 H  
CSM51 158921 254772 80 T  
CSM51 254772 268772 40 H  
CSM51 268772 393896 80 T  
CSM51 393896 407896 40 H  
CSM51 407896 466881 80 T  
CSM51 466881 480881 40 H  
CSM51 480881 644124 80 T  
CSM51 644124 658124 40 H  
CSM51 658124 731350 80 T  
CSM51 731350 745350 40 H  
CSM51 745350 852977 80 T  
CSM51 852977 866977 40 H  
CSM51 866977 950069 80 T  
CSM51 950069 964069 40 H  
CSM51 964069 1065300 80 T  
CSM51 1065300 1079300 40 H  
CSM51 1079300 1129834 80 T  
CSM51 1129834 1143834 40 H  
CSM51 1143834 1226660 80 T

CSM51 1226660 1240660 40 H  
CSM51 1240660 1359529 80 T  
CSM51 1359529 1373529 40 H  
CSM51 1373529 1488002 80 T  
CSM51 1488002 1502002 40 H  
CSM51 1502002 1601549 80 T  
CSM51 1601549 1615549 40 H  
CSM51 1615549 1657651 80 T  
CSM51 1657651 1671651 40 H  
CSM51 1671651 1691934 80 T

TUM51 -31150 1691934 T

**EK C**

Üretici Firma (Orjinal)	Alstom
Genel tanıtım	
Teslim Tarihi	1999
Yolculu Çalışma Şekli	4 lü (MC-M-T-MC) veya 8 li
Serviste Sürüş Şekli	ATC kontrol (oto veya yarı oto) veya manuel
Ray Tipi	S49
Boyutlar	
Boy	MC 21.600, M-T 21.360, TOP 85.920mm
Araç Genişliği	3.050 mm
Araç iç Tavan yüksekliği	2.080 mm
Sürücü Kabin Sayısı	Her 4 lü ucunda birer adet
Artikülasyon Sayısı	Yok
Ray açıklığı	1435 mm
Platform Yüksekliği	1030mm
Katener Yüksekliği	170mm ray üzerinde (3ray)
Araç ağırlığı ve yolcu kapasitesi	
Yolcu (m <sup>2</sup> 'de 6 kişi)	257 TOP: 1028
Boş ağırlık	MC(32.117)kg, T(22.295)kg, M(31.650)kg TOP(118.179)kg
Bogiler	
Ortalama Boş Aks Yüğü	Mc=8.000kg T=5.500kg M=7.900kg
Ortalama Dolu Aks yüğü	Mc=12.000kg T=9.800kg M=12.000kg
Tekerlek Tipi	Monoblok tekerlek
Tekerlek Merkezleri Ara mesafe	2.200 mm
Bogi motorlu Ağırlık	6.500 kg (M bogi)
Motorsuz Ağırlık	4.500 kg (T bogi)
Tahrik Sistemi	
Araç Gücü	152X4=608 kW 4'lü=1824 kW
Güç/metre	21,23 kW/m
Dolu Güç/Ton	9,93 kW/ton
Besleme Voltajı	750 VDC
Motor Gücü	152 kW
Tahrik Sistemi	Hatta 3.ray Atölyede stinger
Sürücü Tipi	GTO/DC Motor
Bogi Motorları Bağlantı Şekli	Seri bağlı
Motor Tipi	Serbest Uyarımlı DC motor
Motor Gerilimi	750/2 V
Alan Sargı Beslemesi	750/2 V
Motor Devri	Max.: 3.082 d/dk. Nom.: 1.965 d/dk
Motor Armatür Akımı	Max.: 600 A Nominal: 440 A
Motor Alan Akımı	Max.: 38 A Nominal: 24 A

Motor Ağırlığı	690 kg Rotor: 235 kg
Motor Komütatör Çapı	Yeni: 250+2 mm
Motor Soğutma Şekli	Kendinden soğutmalı
Kömür Fırça Sayısı	4 fırça tutucu, 8 kömür
Enerji harcaması	3,7kWh/km ( 4p/m <sup>2</sup> )
Performans	
Maksimum Hız	80 km/h
Hızlanma İvmesi	1.03 m/sn <sup>2</sup> ± %10
Frenleme İvmesi	(1.04 m/sn <sup>2</sup> ± %13)
Acil frenleme ivmesi	(1.04 m/sn <sup>2</sup> ± %20)
Yatay Kurp (hatta)	95m
Yatay Kurp( Depoda)	80 m
Dikey Kurp	1.500 m
Eğim	4%
Frenler	
Frenleme Sistemi	Elektriki+Pnomatik
Mekanik Frenler	Disk+Pabuç Fren
Ekipmanlar	
Yardımcı Güç Sistemi	3 faz+Motor Alternatör, 70 kVA
Otomatik Kuplaj	Elektrik+Mekanik
Sabit Kuplaj	Var
Elektrik Kuplaj Tahrik Sistemi	Pnömatik
Kuplaj Sıkıştırma Mukavemeti	730 kN
Kuplaj Çekme Mukavemeti	600 kN
Gövde	Aluminyum Şasi+Gövde
Akü Gerilimi	72 VDC
Kapı Kontrol Tahriği	Pnömatik
Kompresör	2 Kademeli,Pistonlu
Kompresör Motor Gücü	6 kVA
Isıtma Havalandırma, Klima	Isıtma/Havalandırma

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad ve Soyadı:** İlhan KESKİN

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Bursa, 18.01.1988

**Adres:** Bağlaraltı Mah. Cebel Cad. Demir 5 Apt. D:3 Yıldırım/BURSA

**E-Posta:** [ilhankeskin@itu.edu.tr](mailto:ilhankeskin@itu.edu.tr) [ilhankeskin@ymail.com](mailto:ilhankeskin@ymail.com)

**Lisans:** Yıldız Teknik Üniversitesi / Elektrik Mühendisliği (Mezuniyet:2010)

**Mesleki Deneyim ve Ödüller:**

**Eylül 2010– Kasım2012 :**İstanbul Ulaşım A.Ş./ Proje ve Bakım Mühendisi

**Kasım 2012 – Devam:** Borsa İstanbul A.Ş./

Enerji, Elektrik ve Elektronik Sistemleri Mühendisi