

**T.C.  
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GELENEKSEL TRAMVAY SİSTEMİ VE LASTİK TEKERLEKLİ  
TRAMVAY (TRANSLOHR) SİSTEMİNİN KARŞILAŞTIRILARAK  
ERZİNCAN İÇİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Ferda Merve AYDIN**

**Danışman: Prof. Dr. Ahmet TANDIROĞLU**

**Makine Mühendisliği  
ANABİLİM DALI**

**ERZİNCAN  
2021**

**Her Hakkı Saklıdır.**

## ÖZET

Yüksek Lisans

Geleneksel tramvay sistemi ve lastik tekerlekli tramvay (Translohr) sisteminin karşılaştırılarak Erzincan için uygulanabilirliğinin araştırılması

Ferda Merve AYDIN

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet TANDIROĞLU

Raylı ulaşım sistemleri emniyetli, yolcu taşıma kapasitesi yüksek, konforlu ve hızlı sistemlerdir. Bu özelliklerden dolayı büyük bir öneme sahip olan raylı sistemler kent içi ulaşımında da en çok tercih edilmektedir. Bu doğrultuda taleplerin fazla olması sonucunda kent içi raylı ulaşım sistem projelerinin sayısı artmaktadır. Bu çalışmada raylı ulaşım sistemlerine olan taleplere göre, teknolojik, ekonomik, çevresel etkiler ve hizmet sunumu bakımından değerlendirilmiştir. Kent içi raylı sistemlerde en çok tercih edilen bir tramvay sisteminin özellikleri belirlenmiştir. Ülkemizde kent içi ulaşımında tramvay ulaşım sistemine ihtiyaç duyulan fakat raylı sistemlerin azami eğim çıkabilme ve asgari kurp dönme yarıçapı uygulanması mümkün olmayan bölgeler için lastik tekerlekli tramvay (Translohr) sistemi araştırılmıştır. Bu sistemin mevcut tramvay sisteminden farklılıkları dikkate alınarak Erzincan için uygulanabilme şartları ortaya konulmuştur.

Sonuçta Erzincan iline tramvay yapımı için yeterli kapasite bulunamamıştır. Erzincan yeterli yolcu kapasitesine ulaştığında translohr sisteminin yapımı daha ekonomik ve kullanılabilir olacaktır.

**2021, 87 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Erzincan, Kent içi ulaşımı, Lastik tekerlekli tramvay, Translohr

## **ABSTRACT**

MSc/PhD Thesis

Comparision of traditional and rubber tyred tram (translohr) systems and  
investigation of applicability in Erzincan

Ferda Merve AYDIN

Erzincan Binali Yıldırım University  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet TANDIROĞLU

Rail transportation systems are safe, high passenger carrying capacity, comfortable and fast systems. Rail systems, which are of great importance due to these features, are also the most preferred in urban transportation. As a result of the high demands in this trend, the number of urban rail transportation system projects is increasing. In the content of the thesis, it has been evaluated in terms of technological, economic, environmental effects and service delivery according to the demands on rail transportation systems. The characteristics of the most preferred tram system in urban rail systems were determined. In our country, the rubber-wheeled tram (Translohr) system has been researched for regions where a tram transportation system is needed in urban transportation, but where it is not possible to apply the maximum slope and minimum curve turning radius of the rail systems. Considering the differences of this system from the existing tram system, the conditions for its application to Erzincan have been revealed.

As a result, sufficient capacity could not be found for the construction of trams in Erzincan province. When Erzincan reaches sufficient passenger capacity, the construction of the translohr system will be more economical and usable.

**2021, 87 Pages**

**Keywords:** Erzincan, Rubber tyred tram, Translohr, Urban transportation

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Ahmet TANDIROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez konusunun içeriğine yönelik yardımlarını esirgemeyen, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Murat ÇETİN'e, Karadeniz Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Öğretim Üyesi Betül SARAÇ'a, ARUS (Anadolu Raylı Sistemler Kümelenmesi) Genel Müdürü İlhami PEKTAŞ'a, Karabük Üniversitesi Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Emin AKAY'a, Metroray Genel Satın Alma Sorumlusu Süleyman AKPARLAK'a ve TCDD Karabük Gar EKAY yetkilisi Necati MEYDAN'a ilgi, katkı ve desteklerinden dolayı çok teşekkür ediyorum.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemediğim yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ediyorum.

Ferda Merve AYDIN

Aralık 2021

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                     | Sayfa      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÖZET.....</b>                                                                    | <b>i</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                               | <b>ii</b>  |
| <b>TEŞEKKÜR .....</b>                                                               | <b>iii</b> |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                                            | <b>iv</b>  |
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ.....</b>                                                        | <b>vii</b> |
| <b>TABLolar LİSTESİ.....</b>                                                        | <b>ix</b>  |
| <b>SİMGELER ve KISALTMALAR .....</b>                                                | <b>x</b>   |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                                | <b>1</b>   |
| <b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>                                                     | <b>4</b>   |
| 2.1. Demiryolu Ulaşımının Tarihçesi: .....                                          | 4          |
| 2.2. Osmanlı Dönemi Demiryolu Ulaşımı .....                                         | 7          |
| 2.2.1. Hicaz demiryolu .....                                                        | 9          |
| 2.2.2. İstanbul-Bağdat demiryolu.....                                               | 11         |
| 2.2.3. İzmir-Aydın ve İzmir-Kasaba demiryolu.....                                   | 11         |
| 2.2.4. Haydarpaşa-İzmit-Bilecik-Eskişehir-Ankara demiryolu.....                     | 13         |
| 2.2.5. Eskişehir(Enveriye)-Alayunt-Afyon-Konya demiryolu .....                      | 14         |
| 2.3. Milli Mücadele Dönemi demiryolu ve Behiç Erkin'in önemi .....                  | 14         |
| 2.4. Cumhuriyet Dönemi Demiryolu.....                                               | 16         |
| 2.5. Kent İçi Toplu Ulaşım Sistemleri.....                                          | 17         |
| 2.5.1. Kent içi toplu ulaşım sistemlerinde karşılaştırma ve raylı sistemlerin önemi | 19         |
| 2.5.2. Kent İçi Raylı Sistemler .....                                               | 20         |
| 2.5.3. Kent içi raylı sistemlerin tarihçesi.....                                    | 22         |
| 2.5.4. Kent içi raylı sistemlerin elemanları .....                                  | 26         |
| 2.5.4.1. Raylı sistem hattı.....                                                    | 26         |
| 2.5.4.2. Taşıt.....                                                                 | 26         |
| 2.5.4.3. İstasyon .....                                                             | 26         |
| 2.5.4.4. Sinyalizasyon (trafik yönetim ve güvenlik) .....                           | 26         |
| 2.5.4.5. İşletme .....                                                              | 27         |

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.5. Kent içi raylı ulaşım araçları .....             | 27        |
| 2.5.5.1. Hafif raylı sistem (LRT).....                  | 27        |
| 2.5.5.2. Metro .....                                    | 28        |
| 2.5.5.3. Monoray .....                                  | 29        |
| 2.5.5.4. Füniküler sistem .....                         | 30        |
| 2.6. Türkiye’ de işletmede olan tramvay örnekleri ..... | 31        |
| 2.6.1. İstanbul örneği.....                             | 32        |
| 2.6.2. Kocaeli örneği .....                             | 32        |
| 2.6.3. Bursa örneği .....                               | 32        |
| 2.6.4. İzmir örneği .....                               | 33        |
| 2.6.5. Konya örneği .....                               | 33        |
| 2.6.6. Antalya örneği .....                             | 33        |
| 2.6.7. Samsun örneği .....                              | 33        |
| 2.6.8. Kayseri örneği .....                             | 33        |
| 2.6.9. Gaziantep örneği .....                           | 34        |
| 2.6.10. Eskişehir örneği .....                          | 34        |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>                      | <b>36</b> |
| 3.1. Tramvay .....                                      | 36        |
| 3.1.1. Tramvay teknik özellikleri .....                 | 38        |
| 3.1.1.1. Hız .....                                      | 38        |
| 3.1.1.2. Eğrilik yarıçapı.....                          | 38        |
| 3.1.1.3. Çekim, cer gücü .....                          | 44        |
| 3.1.1.4. Enerji tüketimin de verim .....                | 45        |
| 3.1.1.5. Hat genişliği .....                            | 46        |
| 3.1.1.6. Eğim .....                                     | 47        |
| 3.1.2. Tramvay işletme özellikleri.....                 | 48        |
| 3.1.2.1. Kapasite.....                                  | 48        |
| 3.1.2.2. Konfor .....                                   | 50        |
| 3.1.2.3. Güvenirlilik .....                             | 52        |

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.2.4. Güvenlik.....                                         | 53        |
| 3.1.3. Maliyetler .....                                        | 54        |
| 3.1.3.1. Yatırım maliyetleri .....                             | 54        |
| 3.1.3.2. İşletme maliyetleri.....                              | 54        |
| 3.1.4. Çevresel faktörler .....                                | 55        |
| <b>4. BULGULAR .....</b>                                       | <b>58</b> |
| 4.1. Translohr .....                                           | 58        |
| 4.1.1. Translohr aracının çalışma prensibi .....               | 63        |
| 4.1.2. Translohr araç çeşitleri ve kapasiteleri.....           | 65        |
| 4.1.3. Dünya üzerinde translohr aracını kullanan ülkeler ..... | 68        |
| 4.1.4. Performans ve hizmete bağlı faktörler .....             | 68        |
| 4.1.5. Maliyet .....                                           | 71        |
| 4.1.5.1. Maliyet analizi.....                                  | 72        |
| 4.1.6. Çevresel boyutu.....                                    | 76        |
| <b>5. SONUÇLAR.....</b>                                        | <b>78</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                         | <b>81</b> |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Demiryolunun ilk roket isimli aracı.....                           | 6  |
| Şekil 2.2. Demiryolu ağ uzunluğu.....                                         | 6  |
| Şekil 2.3. Kıtalaraya göre demiryolu uzunluğu .....                           | 7  |
| Şekil 2.4. Cumhuriyet Dönemi demiryolu ağları .....                           | 16 |
| Şekil 2.5. Atlı tramvay .....                                                 | 23 |
| Şekil 2.6. Hafif raylı sistem aracı (HRS) .....                               | 27 |
| Şekil 2.7. Bindirme tipli monoray.....                                        | 29 |
| Şekil 2.8. Askı tipli monoray .....                                           | 30 |
| Şekil 2.9. Füniküler sistem.....                                              | 31 |
| Şekil 2.10. Türkiye tramvay işletmesi yapılan kentler haritası .....          | 31 |
| Şekil 3.1. Demiryolu kurp gösterimi.....                                      | 39 |
| Şekil 3.2. Geçiş eğrisinin kurp üzerinde gösterimi .....                      | 40 |
| Şekil 3.3. Kurplarda verilmesi gereken ideal dever miktarı.....               | 42 |
| Şekil 3.4. Kurplarda yetersiz verilen dever durumu .....                      | 42 |
| Şekil 3.5. Kurplarda gereğinden fazla dever verilme durumu .....              | 43 |
| Şekil 3.6. Katener hattı.....                                                 | 44 |
| Şekil 3.7. Demiryolu hat açıklığı(ekartman).....                              | 47 |
| Şekil 3.8. Kent içi ulaşım sistemlerinin saatlik yolcu kapasitesi .....       | 49 |
| Şekil 3.9. Kapasite-Güvenilirlik şeması.....                                  | 50 |
| Şekil 4.1. Translohr aracı .....                                              | 58 |
| Şekil 4.2. Translohr aracına ait kılavuzluk yapan “V” profil ray.....         | 59 |
| Şekil 4.3. Translohr aracına kılavuzluk yapan ray ve lastik tekerlekler ..... | 59 |
| Şekil 4.4. Kılavuz ray ve tekerlek bileşenlerinin detayı.....                 | 60 |
| Şekil 4.5. Translohr aracının bölümleri .....                                 | 61 |
| Şekil 4.6. Translohr ME bölümüne ait tekerlek şeması .....                    | 64 |
| Şekil 4.7. Translohr MI bölümüne ait tekerlek şeması .....                    | 65 |
| Şekil 4.8. Translohr araç çeşitleri.....                                      | 66 |
| Şekil 4.9. Tramvay ve translohr araçlarının dönüş yarıçapı.....               | 69 |
| Şekil 4.10. Translohr aracının eğimli yollara uygunluğu.....                  | 70 |

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.11. Translohr aracının taban yüksekliği..... | 71 |
|------------------------------------------------------|----|



## TABLÖLER LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1. Türkiye’de yük ve yolcu taşımacılığının yıllara göre dağılımı.....                    | 18 |
| Tablo 2.2. Karayolu ve demiryolunun teknolojik karşılaştırılması .....                           | 19 |
| Tablo 2.3. Ulaşım modları .....                                                                  | 22 |
| Tablo 2.4. Kullanılan ilk tramvayların teknik özellikleri.....                                   | 25 |
| Tablo 2.5. Eskişehir Skoda tramvay aracına yönelik teknik bilgiler .....                         | 35 |
| Tablo 2.6 . Eskişehir Bombardier tramvay aracına yönelik teknik bilgiler .....                   | 35 |
| Tablo 3.1. Ülkemizde bulunan bazı tramvay hat uzunlukları .....                                  | 37 |
| Tablo 3.2. Ulaşım türüne göre yolcu taşımacılığında enerji tüketimi.....                         | 45 |
| Tablo 3.3. Tramvay aracının enerji tüketimi.....                                                 | 46 |
| Tablo 3.4. Kablolu tramvay hat özelliği.....                                                     | 48 |
| Tablo 3. 5. İnsan vücudunun titreşime duyarlılık değerleri .....                                 | 51 |
| Tablo 3.6. Titreşim ivmesinin konfor karşılığı .....                                             | 52 |
| Tablo 4.1. Translohra ve çelik raylı çelik tekerlekli tramvaya ait bilgiler.....                 | 63 |
| Tablo 4.2. Translohr araç modelleri ve kapasiteleri.....                                         | 66 |
| Tablo 4.3. STE tipi translohr araç çeşitleri .....                                               | 67 |
| Tablo 4.4. Translohr aracının performans ve hizmet faktörleri .....                              | 69 |
| Tablo 4.5. Translohr ve tramvay araçlarının maliyeti.....                                        | 72 |
| Tablo 4.6. Systra firmasına ait maliyet değerleri .....                                          | 72 |
| Tablo 4.7. Translohr STE4 ve Citades 302 tramvay araçlarının yatırım maliyetleri .....           | 73 |
| Tablo 4.8. Aynı uzunluğuna sahip tramvay ve translohr aracının tahmini işletme maliyeti .....    | 74 |
| Tablo 4.9. Kocaeli tramvay işletmesinin 2021 yılında ait bazı ayların giderleri .....            | 74 |
| Tablo 4.10. Metroray firmasının Polonya tramvay projesi için ön görülen yatırım maliyetleri..... | 75 |
| Tablo 4.11. Translohr kirlilik ölçütü .....                                                      | 77 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

|            |                                           |
|------------|-------------------------------------------|
| c          | Araç hat kapasitesi (araç, tren)          |
| $C_v$      | Araç kapasitesi (kişi / araç)             |
| €          | Euro                                      |
| C          | Hat kapasitesi (kişi / saat)              |
| $f_{max}$  | Maksimum tren sıklığı                     |
| $h_{min}$  | Minimum sefer aralığı                     |
| P.H.F      | Pik saat faktörü                          |
| $R_{15dk}$ | Pik saatte 15 dakikalık süredeki yolculuk |
| $R_{saat}$ | Pik saatteki yolculuk                     |
| CA         | Pratik kapasite                           |
| n          | Trende yer alan vagon sayısı              |
| £          | Türk lirası                               |

### Kısaltmalar

|          |                                                       |
|----------|-------------------------------------------------------|
| AC       | Alternatif akım                                       |
| BÜ       | Bilet ücreti                                          |
| DC       | Doğru akım                                            |
| D.T.Ş    | Dersaadet Tramvay Şirket                              |
| EN       | Avrupa standartları                                   |
| GTUKS    | Günlük toplu ulaşım kullanım sayısı                   |
| İETT     | İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri        |
| İTÜ      | İstanbul Teknik Üniversitesi                          |
| LRT- HRS | Hafif Raylı Sistem                                    |
| MAS      | Maliyet amorti süresi                                 |
| RAMS     | Reliability - Availability – Maintainability – Safety |
| SIL      | Safety Integrity Level – Emniyet bütünlük seviyesi    |
| STE      | Çift yönlü translohr aracı                            |
| TCDD     | Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları               |
| TYM      | Toplam yatırım maliyeti                               |
| UIC      | Uluslararası Demiryolları Birliği                     |

## 1. GİRİŞ

Bir noktadan farklı bir noktaya yük taşımacılığı amacıyla veya insanların seyahat ihtiyaçlarını karşılamada ulaşım sistemlerinden yararlanılmaktadır. Ulaşım sistemleri olarak; havayolu, karayolu, denizyolu, boru hattı ile ulaşım gerçekleştirilmektedir. Bu ulaşım hizmeti veren sistemlerin tarihsel süreç içinde değerlendirildiğinde demiryolu ulaşımının diğer sistemlerden çok daha önceki yıllara dayandığını, ilk izlerine ise mısır piramitleri zamanında rastlandığı ve maden ocaklarında yük taşımacılığında kullanıldığı bilinmektedir.

1825 yılında buhar makinesinin icadıyla birlikte lokomotif icat edilip kullanılarak demiryolunun yolcu taşımacılığındaki önemi artmıştır. 1830'da G. Stephenson'un Manchester–Liverpool arasında ilk demiryolu yolcu taşımacılığını başlatmasıyla, Almanya ve Fransa'da da demiryolu ulaşımına başlamıştır. Kullanım açısından zirvede yer alan buhar cer gücü 1890'larda elektrikli cer gücü ve 1920'lerde de dizel cer gücünün yaygınlaşmasından sonra 1950'ler de gerileme sürecine girmiştir.

Demiryolunun bu geçmiş zamandan günümüze kadar yük taşımacılığı ve yolcu taşımacılığında kullanımı bulunmaktadır. Günümüzde ise, denizyolundan sonra ikinci derecede ekonomik ve kütleli taşımacılık imkânı sağlayan demiryolları gelişerek yaygınlaşmıştır. İçinde bulunduğumuz zaman diliminde yüksek hızla tren taşımacılığı ve kombine taşımacılık önemli bir yere sahip ve yaygın bir kullanım bulunmaktadır.

2020 yılı sonunda yıllık 99.467 yolcu taşımacılığı, 29.895 net ton yük taşımacılığı yapılmıştır.

2021 yılının başı itibarıyla toplam hat uzunluğunu 12.803 km, 11.590 km konvansiyonel hat ve 1.213 km YHT hattından oluşmaktadır. Sinyalli hat uzunluğu 6.828 km (%51) iken, elektrikli hat uzunluğu 5.828 km'ye (%49) çıkarılmıştır.

Kent içi ulaşım sistemleri 1865 yılında Londra'da Metropolitan Line hattı açılmasıyla buharlı trenlerle ulaşım gerçekleşmiştir. 1890 yılında elektrikli cer gücünün

kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte kent içi ulaşım sistemlerinde kullanılan buharlı trenler yerini elektrikli tramvay ve metro sistemlerine bırakarak kentsel raylı taşımacılıkta temiz ve çevre dostu olan elektrik enerjisiyle birlikte yaşanabilir kentler kurmaya katkı sağlamıştır.

Kentleşmeye bağlı olarak kent nüfuslarında artışın yaşanması sonucunda bireysel ulaşım araçlarına nazaran toplu taşımacılığın önemi artmış ve kentlerde kullanımı yaygınlaşmıştır. Demiryolu ulaşımının diğer toplu ulaşım sistemlerine göre bazı avantajları bulunmaktadır. Kent içi raylı ulaşım araçlarının fazla yolcu kapasitesine sahip ve çevreci bir sistem olma avantajları bulunmaktadır. Kent içi ulaşımında tramvay araçlarının kullanımı önceliklidir. Kent içi raylı ulaşım araçlarının yolcu kapasitelerinin fazla ve çevreci sistem olma yönleriyle ön plana çıkmaktadır.

Ulaşım ağının diğer ulaşım sistemlerine uygun şekilde ve zamanında entegre edilememesi toplumsal rahatsızlıklara sebep olmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için yolcu transfer merkezleri vasıtasıyla farklı ulaşım sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Yolcu taşıma kapasitesine bağlı olarak tramvay sistemi ile metro sistemleri arasında ki kapasite boşluğunu doldurmak amacıyla hafif raylı sistem kullanılmaktadır.

Taşımacılık yatırım ve işletme maliyetlerinin azaltılması amacıyla otoyol inşa teknikleri kullanılmalıdır.

Karayolu ve demiryolu ulaşımı arasında kullanılabilecek ara taşıma sistemi lastik tekerlekli, kılavuz raylı ulaşım aracı olan translohr sistemidir. Fransa'da yaygın kullanımı olan bu raylı ulaşım aracının ülkemizde de kullanılabilirliği araştırılarak ön görülmüştür. Bu sistemde karayolu ve demiryolu tekniklerinden oluşan bir tramvay sistemidir.

Bu tez çalışması kapsamında bulunan bölümlerde;

- Kaynak özetleri bölümü içerisinde tarihsel süreç içerisinde demiryolu ulaşımının önemi, kent içi ulaşım sistemleri, raylı kent içi ulaşım sistemlerine,
- Materyal ve yöntem bölümü içerisinde bir tramvay istemini oluşturan faktörlere ve ülkemizde bulunan tramvay örneklerine,
- Bulgular bölümü içerisinde ülkemizde uygulaması ve literatürde de araştırmasına yer verilmemiş olan translohr sistemine ait bilgiler,
- Sonuç bölümünde ise tez çalışması içerisinde elde edilen tramvay ve translohr sistemlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları içermekle birlikte ülkemizde Erzincan kenti için uygulanabilirliğine yer verilmiştir.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Demiryolu Ulaşımının Tarihçesi:

Çok eski zamanlardan beri insanlar ulaşım ve taşımacılık ihtiyaçlarını gerçekleştirebilmek için farklı yöntemler kullanmışlardır. Bu yöntemlerde ilk taş, tahta, demir, çelik malzemelerle inşa edilmiş raylar kullanılmıştır. Taşımacılık hizmeti insanların veya hayvanların gücünden yararlanılarak araçlar vasıtasıyla sağlanmıştır (Karabulut, 1997).

Ayrıca M.Ö. 2600 yıllarında Mısır piramitleri etrafında rastlanan ray kalıntılarının varlığı bu piramitlerin yapımında kullanılan taşların taş ocaklarından taşınmasında kullanıldığı düşünülmektedir (Görgülü, 2017).

Demiryolu ulaşımının diğer izlerine M.Ö. 600 yılında ise eski Yunan Dönemi'nde ahşap tekerlek düzenine sahip araçlar ile oluklu granit yol güzergâhında yük taşımacılığında kullanılmıştır. Bu yollar 6 - 8,5 km uzunluğunda olup, ekartman ölçüsü olarakta 1.500 mm'lik hat kullanılmıştır.

Demiryollarında ki yük taşımacılığının ilk örneğine 1550 yıllarında Fransa'nın Alsace bölgesindeki rastlanmıştır. Böylelikle maden ocaklarında vagonların daha rahat hareket etmesi sağlanmıştır (Profillidis, 2014)

İngiltere Nottinghamshire'da 1603 1604 yılları arasında madenlerin taşınmasında kullanılan Wollaton Wagonway adıyla bilinen 3,2 km uzunluğunda ki ahşap kılavuzlu yol inşa edilmiştir. İngiltere'de ilk 1630 yılında demiryolu aracı 'tramways' kullanılmıştır (Uzuntepe, 2000).

İlk madeni demir kılavuzlu ray 1738 yılında İngiltere'de, Cumberland'da bölgesinde bir maden ocağında taşıma amacıyla kullanılmıştır (Görgülü, 2017)

Ekonomik krizin olduğu 1767 yılında, ahşap ray kılavuzları üzerinde meydana gelen aşınmaları geçici olarak önlemek amacıyla ahşap raylar üzerine yerleştirilen demir

kaplamaların demiryolu taşımacılığını daha kolaylaştırdığı görülmüştür. Demiryolu ulaşımında tamamen madeni ray kılavuzları kullanımına 1776 yılında İngiltere’de Sheffield bölgesinde başlanmıştır. (Tamçelik, 2000).

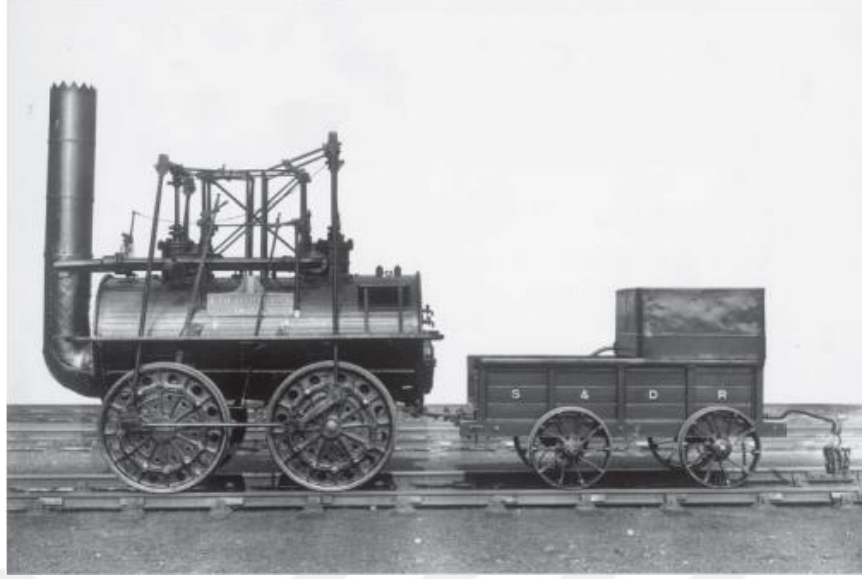
Sanayi devrimiyle birlikte buhar gücünün kullanılması, kömür ve demir madenlerinin geniş kullanımının artması demiryollarının gelişmesine önemli ölçüde katkı sağlamıştır (Profillidis, 2014).

Thomas Savery tarafından 1698 yılında ilk olarak keşfedilmiş olan buhar makinesinin yakıt tüketiminin fazla olması, 1712 yılında Thomas Newcomen’in yeni bir buhar makinesi çalışmasına sebep olmuştur. Ayrıca 1767 yılında mühendis James Watt tarafından bu buhar makinesi geliştirilerek günümüzde kullanılan lokomotiflere ilham kaynağı olmuştur (Özdemir, 2012).

Buhar gücünün karayolu ulaşım araçlarında ilk kullanımı 1769 yılında Fransız Nicolas Cugnot ve 1786 yılında İngiliz William Murdock tarafından çalışılmıştır. Demiryolu taşımacılığının yaygın olarak kullanıldığı İngiltere’de buhar makinesinin lokomotiflere uygulanma fikri George Stephenson tarafından ortaya atılmış ve 1825 yılında Stockton ve Darlington demiryolları açılmasıyla buharlı lokomotiflerle yolcu taşımacılığında deneme yapılmıştır. Ancak demiryolu hattının eğimli olması sebebiyle başarıyla sonuçlanmamasına rağmen sonraki çalışmalarda başarı elde edilmiştir ( Karabulut, 1997; Özdemir, 2012).

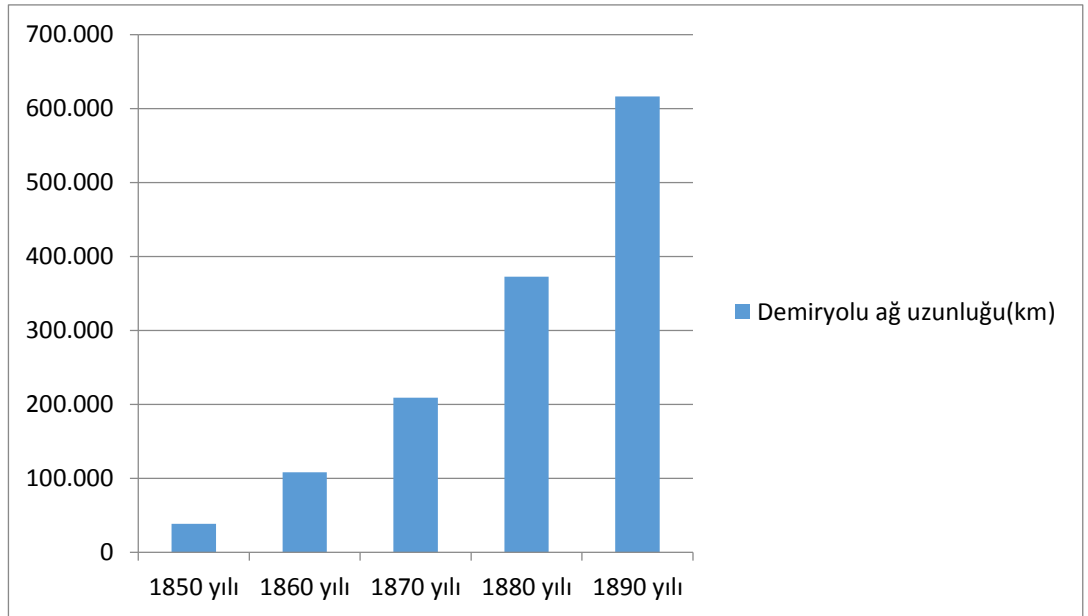
1829 yılında Liverpool ve Manchester arasındaki bir demiryolu hattı üzerinde açılan lokomotif yarışmasında Şekil 2.1’de gösterilen roket veya fusee olarak adlandırılan araçla George Stephenson birinci olmuş ve 500 sterlin para ödülünü kazanmıştır (Görgülü, 2017)

Elde edilen bu başarılı sonuç ile birlikte ilk buharlı lokomotifin kullanımı başlamıştır ve günümüzdeki lokomotiflerin ilk atası olarak tarihe geçmiştir. 1830 yılında ise Liverpool-Manchester hattı ilk buharlı trenle yolcu taşımacılığında işletmeye alınmıştır (Divall, 2006).



**Şekil 2.1.** Demiryolunun ilk roket isimli aracı

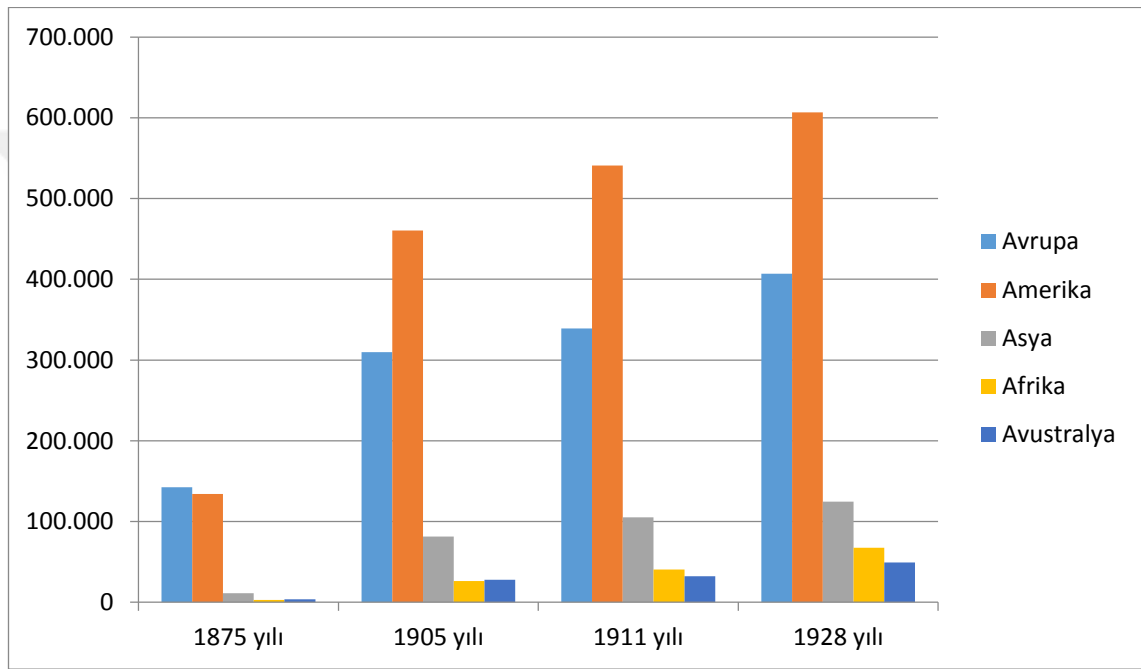
1820’li yıllarda yolcu taşımacılığının başlamasıyla birlikte Dünya demiryolu ağı genişlemiştir. Şekil 2.2’de demiryolu ağı, 1850 yılında 38.600 km, 1860 yılında 108.000 km, 1870 yılında 209.000 km, 1880 yılında 372.500 km, 1890 yılında 616.200 km uzunluğuna ulaşmıştır (Tamçelik, 2000).



**Şekil 2.2.** Demiryolu ağı uzunluğu

Dünya üzerinde demiryolu ağında ki gelişmeler; ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması dolayısıyla ülkelerin sanayi düzeylerine ve refah seviyelerine bağlı olarak farklılık göstermektedir (Uzuntepe, 2000).

Kıtalara göre demiryolu ağ uzunlukları aşağıda Şekil 2.3'te verilmiş olup 1875 ile 1928 yılları arasında en fazla demiryolu ağı Amerika kıtasındadır. Dünya'da ki toplam demiryolu ağı 1875 yılında 294.428 km, 1905 yılında 905.702 km, 1911 yılında 1.057.809 km, 1928 yılında ise 1.255.079 km uzunluğa ulaştığı görülmektedir.



Şekil 2.3. Kıtalara göre demiryolu uzunluğu

## 2.2. Osmanlı Dönemi Demiryolu Ulaşımı

Bütün devletler tarih boyunca ulaşım; nakliyat, askeri, haberleşme, ticari ve ekonomik faaliyetlerde kullanıldığından büyük önem vermiştir. Osmanlı Devleti' de Anadolu ve Rumeli'de bulunan ana yollara ek olarak tali yollar yapmıştır.

Anadolu da ve Rumeli'de kara ulaşımındaki ana yollar, sağ, sol ve orta kol olarak isimlendirilmiş. Osmanlı'da ana yolların merkezi olarak İstanbul'dur. İstanbul'dan

Anadolu'ya uzanan yollar tekrar İstanbul'da birleşerek 3 ayrı kol olarak Rumeli tarafına dağılmaktadır.

Anadolu'da bulunan ana yolların sağ kolu; Üsküdar-Antakya istikametiyle birlikte Halep-Şam yolunu takip eden hac güzergâhıdır. Sol kol Üsküdar'dan Kars'a ve devamında Tebriz'e ulaşan yoldur. Orta kol, Üsküdar-Kerkük yolunu takip eden Bağdat-Basra yoludur.

İstanbul'dan Rumeli'ye kadar olan ana yolların sağ kolu İstanbul - Özi ve Kırma kadar, sol kolu İstanbul'dan İzdin yoluyla İstefe (Tebai)'ye kadar, orta kol ise İstanbul'dan Belgrad'a kadar uzanmaktadır (Engin, 1993).

Osmanlı Devleti'nde yaşanan sıkıntılı süreçlerin etkisiyle 18. yüzyıl sonu ve 19. yüzyılda Osmanlı'da ulaşım yollarında önemli bir gelişme olmamıştır. Bu yüzden dolayı da taşımacılığa, yollara gereken önem verilemeyip bir gerileme durumu yaşanmıştır. Önceki zamanlarda da, bu süreç zarfında da karadaki taşımacılık kervanlar, hayvanlar aracılığı ile gerçekleştirilmiştir (Yazıcı, 1992).

Osmanlı Devleti'nde demiryollarının ilk izlerini 19. yüzyılın ilk yarısında Mısır demiryollarının yapım projesi olarak görülmektedir. Demiryolu inşaatı ilk olarak 1851 yılında Mısır İskenderiye-Kahire hattında gerçekleştirilmiştir. Anadolu'da ilk demiryolu inşaatını İngilizler 1856 yılında İzmir-Aydın arasındaki hattı yapmışlardır. 1914 yılında Osmanlı Devleti'nin yaparak işletmeye aldığı demiryolu ağ uzunluğu (Anadolu, Avrupa, Mısır ve Arap topraklarındaki demiryolu) 12.000 km geçmiştir (Tamçelik, 2000).

1839-1861 yıllarında Osmanlı Devleti'nde hüküm sürmekte olan padişah Sultan Abdülmecid'in odasında 1830 yılında ilk işletmeye açılan Liverpool-Manchester hattına ait görsel belgeler bulunmuştur ve Padişah Sultan Abdülmecid benzer demiryolu uygulamalarının Osmanlı Devleti'nde de yapılmasını istemiştir.

Sultan Abdülmecid Osmanlı'da demiryolunu istemesinin sebebi; merkezin taşraya hâkim olması, vergilerin daha düzenli bir biçimde toplanması ve halka zarar verebilecek

kitlelerin uzaklaştırılarak güvenliğin sağlanmasıyla güvenliğin artırılmasıdır. Osmanlı merkezinin uzak bölgelerini de kontrol edilebilmesi için demiryolu gerekli görülmüştür. Ayrıca demiryolu ile askerler hızlı sevk edilirken, Anadolu'da ki köylüde kendi ürettiği mahsullerin İstanbul'a, orduya ve cepheye taşıyabilecektir. Teknolojinin gelişmesiyle demiryolu yapımına ihtiyaç duyulmuştur. Demiryolu ulaşım süresini kısaltmıştır. Bu avantajlar doğrultusunda demiryolu hattının en önemli noktalardan geçmesi planlanmıştır ve Osmanlı Devleti hattı inşa edecek olan demiryolu yatırımcıları ile karşı karşıya gelmiştir.

Osmanlı Devleti demiryollarının yapımını yabancı ülkelere vermek istememiştir. Yalnız hattın inşası için kendi sermayesinin yeterli olmaması ve demiryolu hattının inşaatını gerçekleştirebilecek donanımda teknik eleman bulunmamasından dolayı demiryolu hatlarının yapımı yabancı ülkelere verilmiştir. Bu yabancı ülkeler Almanya, Fransa, İngiltere, Belçika, İsviçre, Avusturya'dır.

Hicaz demiryolu 1900 yılında Sultan İkinci Abdulhamid'in öncülüğünde ve kendi tahsisatından para katarak tüm dünya Müslümanlarının (milli sermaye olarak) desteğiyle yapılmış olan Şam'dan Medine-i Münevvere'ye kadar uzanan demiryolu hattıdır.

Avrupa yakasında ilk demiryolu Köstence-Çernovada (Boğazköy) hattıdır. İngiliz sermayesi tarafından 1857 yılında yapımına başlanmış ve 1860 yılında hat işletmeye açılmıştır. Anadolu yakasında da 1856 yılında İngiliz sermayesiyle yapımına başlanılmış İzmir-Aydın hattı 1866 da işletmeye açılmıştır. Rusçuk-Varna demiryolu hattı da İngiliz sermayesiyle 1866 yılında işletmeye açılmıştır (Kanberoğlu, 2018; Tanyeri, 1994).

### **2.2.1. Hicaz demiryolu**

Hicaz demiryolunun inşa edilmesine yönelik ilk fikir 1864 yılında Amerikalı mühendis Dr. Charles F. Zimpel'den tarafından verilmiştir. Zimpel, Kızıldeniz'i Şam'a birleştirmek amacıyla Hicaz demiryolu fikrini sunmuş ve olumsuz sonuç elde etmiştir.

Bu fikri, hat güzergâhın da bulunan kabilelerin rahatsız olabilme ihtimali ve demiryolu ilk yatırım maliyetinin(inşa etme maliyeti) denizyolu ulaşım modeline göre fazla olması etkilemiştir.

1872 yılında Alman mühendis Wilhelm Von Pressel Osmanlı Asya'sına yönelik başka bir fikir beyan etmiştir. Bu fikir sayesinde Osmanlı Devleti'nin Hicaz'ı askeri anlamda kontrolün de daha fazla kolaylık sağlayacağını ifade etmiştir.

1876 yılında tahta çıkan II. Abdülhamit'in saltanatı 33 yıl kadar sürmüş ve bu süre zarfında demiryolu alanındaki yeniliklere büyük önem vermiştir. Demiryolu alanındaki yenilikler II. Abdülhamit'in saltanat döneminde ana demiryolu yatırımı olan; İstanbul-Konya hattı yapılmıştır. Bu hat İngilizlerce yapılan İzmir-Aydın-Denizli hattı ve Fransızların yaptığı İzmir-Manisa-Balıkesir-Bandırma ile Manisa-Uşak-Afyon hatlarının kavuşmasını sağlayacak ve Anadolu'nun demiryolu omurgasının önemli bir kısmını oluşturacaktır. Demiryolu, Eskişehir'den Ankara'ya 1892'de ulaşmıştır. Diğer kol ise, Afyon-Konya-Toroslar üzerinden Adana'ya ulaşacaktır. Toros tünellerinin inşası I. Dünya Savaşı döneminde yarım kalmıştır. Hattın diğer kısmı, Mersin-Adana-Gaziantep üzerinde inşa edilmektedir. Bu kısım İstanbul-Bağdat güzergâhını oluşturmaktadır.

Osmanlı açısından Hicaz demiryolunun bitişiyle devletin Arabistan'daki siyasi nüfuzu artıracak, Osmanlı Devleti'ne iktisadi anlamda destek olacak iki farklı önemi vardır. Hicaz demiryolunun yapım sebepleri için dini, iktisadi, siyasi etmenler olduğu söylenebilir.

II. Abdulhamid hac ibadetini kolaylaştırmak, Arabistan'ı kaybetmemek ve İslam camiasının sevgisini kazanmak için Hicaz demiryolunun yapılmasını istemiştir. II. Abdulhamid "Benim eski rüyamdır" deyişiyle 2 Mayıs 1900 tarihinde İrade-i Seniyye ile Hicaz demiryolunun yapımını duyurmuştur.

Bu demiryolundan önce Şam'dan Medine'ye 40 günde, Mekke'ye 50 günde ulaşabilmekte iken demiryolu aracılığı ile daha az bir süreye düşürülmesi

hedeflenmiştir. II. Abdulhamid' in İslam dünyasında yerini yükselterek halifelğe olan ilginin artmasını hedeflemiştir.

Hicaz demiryolunun yapımında kullanılan sermayesi Müslüman halktan temin edilmiş, işletmesinde, yönetiminde Türklerin yer aldığı ve işletme dili olarak da Türkçe kullanılan tek demiryolu hattıdır. 1908 tarihinde ise işletmeye açılmıştır (Kanberoğlu, 2018; Avcı, 2014).

### **2.2.2. İstanbul-Bağdat demiryolu**

Bağdat demiryolu Osmanlı Devleti için Süveyş kanalı sebebiyle kaybedilen ticari gücü geri alabilecek bir demiryolu hattı olarak düşünülmüştür. Bir güç niteliğinde olmasından dolayı demiryolu ağı inşasını Mithat paşa dile getirmiş ve Sultan Abdülaziz bu hattın yapılma emrini vermiştir.

Raporu hazırlayan mühendis Wilhelm Von Pressel'e göre ortalama 2.000 km'yi aşan bir hat olacağını belirtmiştir. Maddi güç olarak Osmanlı Devleti bu hattın yapımını kaldıramayacağı için yapımını Alman yatırımcılara vermiştir. İlk başta İzmit-Ankara arasında demiryolu yapımına başlanması planlanmıştır. Ankara'ya demiryolu hattı ulaştıktan sonra devamının yapılması için tekrardan ihale yapılarak yine Almanlar (Deutsche Bank) kazanarak yeni hat Ankara-Eskişehir-Konya-Kayseri'ye uzatılması planlanmıştır. Kayseri dışında Eskişehir ve Konya hattı yapılmıştır. Bağdat demiryolu yapımı ve işletmesi 99 yıl süre ile Almanlara verilmiştir.

1903 yılında Konya'dan inşası başlanılarak yapılan hat 1904 yılında işletmeye açılmıştır. 1918 yılında hat Nusaybine kadar ulaşmıştır. Demiryolu hattı üzerinden kar sağlanmış ve vergiler artırılmıştır. Demiryolu hattı ile birlikte Anadolu topraklarında ekonomik düzey oldukça yükselmiştir (Kanberoğlu, 2018 ).

### **2.2.3. İzmir-Aydın ve İzmir-Kasaba demiryolu**

Yabancı yatırımcılar Osmanlı Devleti'nin Anadolu'daki yapılacak olan ilk demiryolu hattı için İzmir ili belirlenmiştir. Ege bölgesinin büyük tarımsal potansiyeli ve İzmir'de

ticaretin gelişmiş olması ve yabancı ülkelerin tüccarlarının da İzmir’de yer alması etkili olmuştur. Yabancı tüccarların çoğunluğu İngilizlerdi ve İngilizler için de İzmir ili ticaret konusunda önem ifade ediyordu. İngilizlerin yaptıkları ticaret, İzmir’de yabancı tüccarlardan aldıkları ürünleri kendi ülkelerine göndermeleri, kendi ülkelerinden getirdiklerini de burada yabancılara satış yapmalarıydı.

Bu tarım ürünlerinin, ticaret yapılabilecek diğer ürünlerin iç kısımlara ulaştırılmasında gelişmiş herhangi bir sistem bulunmaması, sistem üzerinden de aksaklıklar meydana gelme ihtimallerini gören ve bölgede yoğun olarak bulunan İngiliz tüccarından Robert Wilkin 4 ortağı ile birlikte İzmir-Aydın arasında bir demiryolunun yapılması fikrinde bulunarak imtiyaz istemişlerdir. Bu iki önemli nokta arasındaki demiryolu yapımı için 23 Eylül 1856 yılında İngilizlere imtiyaz verilerek hattın yapımı için gereken ilk adım atılmıştır (Kolay, 2011; Gündüz, 2001).

Robert Wilkin ve dört ortağı imtiyazı aldıktan sonra bu hattın yapımının gerçekleştiremeyeceklerini düşünerek imtiyazı İngiltere’de farklı bir gruba satmışlardır. Satın alan bu yeni grup bir şirket kurarak projeyi gerçekleştirmeyi düşünmüşlerdir. 1857 yılında kurulan yeni şirketin ismi de ‘İzmir’den Aydın’a Osmanlı demiryoludur (Temizgüney, 2008).

Bu yeni şirket Sir Joseph Paxton, George Whytes, Agustus William Rixon ve William Jackson tarafından kurulmuştur. Demiryolu hattının yapımı için gerekli olan malzemeler de İngiltere’den getirilmiş olup törenlerle birlikte 22 Eylül 1857 tarihinde hattın yapımına başlanılmıştır (Uzuntepe, 2000).

133 km’lik İzmir-Aydın demiryollarının yapımı 1 Temmuz 1866’da tamamlanarak işletmeye açılmıştır. Demiryollarının yapımıyla bölgedeki tarım ürünlerinin ticarete etkisi olduğu için, daha önce ekilmemiş alanlarda da tarıma ağırlık verilmiştir. 4 Temmuz 1863 yılında demiryolu hattının yapım imtiyazı İngiliz Edward Price’a verilmiştir (Yıldırım ve Oban, 2010; Kolay, 2017).

Anadolu topraklarının batısı, coğrafik olarak çok değerli, arazileri oldukça verimli, yer altı ve yer üstü kaynakları da zengindi. Demiryolu, ulaşım alanında bir dönüm noktası niteliğinde etkisi olmuştur. Batı Anadolu, engebeli topografya ve nehirlerin olması nedeniyle tekerlekli araçlar vasıtasıyla ulaşımına elverişli değildi. Bu nedenle nakliye hayvanlarla yapılyordu ve kervan ticareti daha yaygındı. Böylece demiryolu taşımacılığı hızı sayesinde ürünleri daha çabuk İzmir limanına ve dış pazarlara ulaştıracak, böylece ihracat artacaktır. Demiryolları 19. yüzyılda Anadolu'nun ve özellikle Batı Anadolu ve İzmir'in ekonomik kalkınmasında etkisinin oldukça fazla olduğu söylenebilir. Buna rağmen olumsuz etkileri de olmuştur. Demiryolu yatırım sözleşmesine göre, İngilizler, demiryollarının her iki yakasında 49 km mesafede yer alan madenleri (manganez, arsenik, linyit) işletmiş yurt dışına göndermişlerdir. Bu anlamda Anadolu'ya olumlu bir ekonomik bir etkisi olmamıştır (Kolay, 2011; Yıldırım ve Oban, 2010).

İzmir vilayetinde bulunan ve İzmir-Kasaba arasındaki demiryolu hattının yapımı ve inşası için “Smyrna & Cassaba Railway Company” isimli bir Fransız şirketi kurulmuş, 1864 yılında İzmir'in Basmane garından başlanarak İzmir-Kasaba (Turgutlu) demiryolu hattının yapımı için ilk adım atılmıştır (Ceylan, 2010).

10 Ocak 1866 yılında demiryolu hattının Kasaba'ya kadar olan bölümü işletmeye açılmıştır. Açılan bu hat 27 km uzunluğundadır. 1894 yılında İzmir-Kasaba demiryolu hattı İngiliz sermayedarlara satılmıştır (Beşirli, 2004).

#### **2.2.4. Haydarpaşa-İzmit-Bilecik-Eskişehir-Ankara demiryolu**

Haydarpaşa ve İzmit arasında yapılmaya başlanılan demiryolu hattı sonrasında Eskişehir ve Ankara'ya kadar uzatılmıştır. Hat güzergâhının planlaması 1870 yılında yapılmıştır. Hat ilk 75 km olarak belirlenmiş, yapılan hat keşfinde hat sahil şeridinden geçtiği için 90-93 km olarak değiştirilmiş ve maliyeti de artmıştır. Haydarpaşa-İzmit hattı Haydarpaşa-Tuzla arası 35 km, Tuzla-Tavşancıl 26 km ve Tavşancıl-İzmit 31 km olarak 3'e bölünmüştür. İnşasını 3 farklı kişi yapmış ve 1872 yılında başlanmış.

Haydarpaşa-Tuzla arası Mühendis Mösyö Dö Stive tarafından 10 ay içerisinde hattın inşası tamamlanarak aynı yılın Ekim ayında hattın kullanımına başlanmıştır. Tuzla-Tavşancıl arasını Bastilika tarafından 10 ayda tamamlanması için taahhüt edilmiştir. Bu 26 km'lik hattın 12 km'lik bir bölümü arazinin zorlayıcı (kayalık) olmasından ötürü Haydarpaşa-İzmit hattının geç açılmasına sebep olmuştur.

Tavşancıl İzmit arasının yapımı, Mösyö Eckerlin'e 9 ayda tamamlanması için verilmiştir. Hatta yabancılara herhangi bir imtiyaz verilmemiş, devlet kendi imkânları doğrultusunda 1880 yılına kadar kullanmıştır. Hattın 2. işletmecisi olarak İngilizler yer almaktadır. İngilizler hattın Ankara'ya uzatılmasını istemişlerdir fakat o süreçte uzatılamamıştır. 1889 yılında demiryolu imtiyaz İngilizlerden alınıp Almanlara verilmiştir.

Almanların idaresinde olan demiryolu hattı ilk önce hattın uzatmaya uygun bir hale getirilmiş ve 1890 yılında Ankara'ya uzatılabilmesi için İzmit-Adapazarı kullanıma açılmıştır. 1891 yılında hat Bilecik'e uzamıştır ve 1892 yılında Eskişehir üzerinden Ankara'ya hat uzayarak demiryolu ulaşımı başlamıştır.

#### **2.2.5. Eskişehir(Enveriye)-Alayunt-Afyon-Konya demiryolu**

Haydarpaşa-İzmit-Bilecik-Eskişehir-Ankara hattının devamı niteliğinde yapılmış olan hattır. Hattın yapımı için Almanlara verilmiş olan imtiyaz devam etmiştir. 444 km uzunluğa sahip bir hat olmuştur ve başlangıç Eskişehir (Enveriye) ili olarak yapılmıştır. 1894 yılında Eskişehir-Alayunt arasında 77 km, Kütahya-Afyon arasında 95 km, Afyon-Akşehir 100 km'lik hattın inşası yapılarak işletmeye açılmıştır. 2 yıl sonrasında 1896 yılında hat Konya'ya ulaşmıştır (Kaynar,2015).

#### **2.3. Milli Mücadele Dönemi demiryolu ve Behiç Erkin'in önemi**

Behiç Erkin'in demiryolları için önemi oldukça fazladır. Demiryollarının babası ve 1920 yılında demiryolu genel müdürü olarak görev almasıyla birlikte ilk demiryolu genel müdürü olmuştur.

Milli Mücadele Dönemi'nin özellikle ilk yıllarında demiryolu ulaşım aracı olarak lokomotif ve vagona eksiklikler bulunmaktadır. Bu eksikliklere bağlı olarak teknik problemler beraberinde oluşmuş, meydana gelen arızalar zamanında yapılamamış ve yakıt, yedek parçaların temin edilememesi de üzerine eklenmiştir.

Yaşanılan bu sorunların çözüme kavuşması 1920 yılında 20. Kolordu Komutanı tarafından çözülerek, demiryolu denetimini kendi komutasına almıştır. Ordunun korunması ve yönetilmesinde demiryollarının kullanılabilmesi amacıyla Hudud-u Askeriye Müfettişlikleri oluşturulup, Anadolu-Bağdat Demiryolları Müdüriyet-i Umumiyesi kurulmuştur. İlk demiryolu genel müdürü olarak Miralay Behiç Erkin görevlendirilmiştir.

Miralay Behiç Erkin'in bu görevde yer almasının sebepleri ise bundan önceki zamanda elde edilen başarılarıdır. I. Dünya savaşında yer alıp başarılar elde etmesinden sonra da Anadolu'ya geçerek milli mücadeleye katılmıştır. Mustafa Kemal Atatürk'ün isteğiyle de Anadolu Şimendiferleri (demiryolları) İşletme Müdürlüğü'nün başında görev almıştır. Bu görevde de yine Behiç Bey'in gerekli donanıma sahip olması etkili olmuştur. Sahip olduğu bilgi ve demiryolu teknolojisinin ülkeye faydasının neler olacağını bilmektedir.

Hicaz demiryolu Türklerin işletmede ve yönetimde yer aldığı aynı zamanda kullanılan dilin Türkçe olduğu tek demiryolu hattıdır. Demiryollarının da Türkçe dilinin kullanılmasını dile getirmiş ve 1921 yılında Türkçe dili kullanılmaya başlanmıştır. Demiryolları hakkındaki ilk Türkçe eser yine Behiç Bey tarafından kaleme alınmıştır.

Kurtuluş savaşında demiryolları kullanılmasıyla da başarılar elde edilmiştir. Cephe için gerekli malzemeleri taşınmış, şehit ve gazilerimiz demiryolları aracılığıyla cephe gerisine getirilmiştir. Halk için gerekli olan erzak malzemelerde demiryolu ulaşımı ile ulaştırılmıştır.

Demiryolları alanında malzeme, vagon, lokomotif eksikliklerinin yanı sıra demiryolu için eğitilmiş kişilerin olmaması nedeniyle, Behiç Bey'inde milletin demiryolu ulaşım

teknolojisi eğitilmiş insanlar yetiştirmekle başlayacağını düşünmesi üzerine 1923 yılında şimendifer mektebi açılmıştır (Avcı, 2014).

#### 2.4. Cumhuriyet Dönemi Demiryolu

Sanayi inkılabının demiryolu alanına da etkisi olmuştur. Avrupa da gelişmeye başlayan demiryolu alanından örnekler alarak Osmanlı Devleti’ de bu alanda yenilikler yaparak demiryolunu kullanmaya başlamıştır. Osmanlı Dönemi demiryolu ağlarını, Cumhuriyet Dönemi demiryolu ağlarına bir miras niteliğinde bırakmıştır (Doğan, 2016).

1923 yılında Osmanlı Devleti’nin yıkılıp, Cumhuriyetin ilan edilmesiyle artık çağdaşlaşmayı amaçlayan, yenilikler anlamında reformlara açık olan yeni Türkiye Cumhuriyeti’nin kurulmasıyla birlikte ülkenin tamamen demiryolu ağlarıyla örülmesini hedef olarak belirlenmiştir. 1950 yılına kadar gelişme gösterilmiş, 1950 ile 2000 yılları arasında bir duraklama sürecine geçilmiştir (Köse, 2020).



Şekil 2.4. Cumhuriyet Dönemi demiryolu ağları

Şekil 2.4'e göre Osmanlı Devleti'nden günümüze 4.136 km'lik bir demiryolu ağı kalmıştır. 1923-1950 yılları arasında yılda ortalama 134 km demiryolu hattı inşa edilerek 3.764 km demiryolu işletmeye dâhil olmuştur (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü, 2019).

1923-1950 döneminde demiryolları sadece bir ulaşım aracı olarak görülmesinden ziyade, ülkenin iktisadi, siyasi, askeri ve sosyo-kültürel ihtiyaçlarının karşılanmasında

da bir araç niteliğinde görülmüştür. Atatürk 1937 yılında TBMM’de yaptığı bir konuşmasında ‘Demiryolları bir ülkeyi medeniyet ve refah ışıkları ile aydınlatan kutsal bir meşaledir’ diye ifade etmiştir. ‘Cumhuriyetin ilk senelerinden beri dikkatle ısrarla üzerinde durduğumuz demiryolları inşaat siyasetini hedeflerine ulaştırmak için durmadan çalışmalıyız’ sözleri ile birlikte demiryolunun önemini ve demiryollarına verdiği önemi göstermektedir (Kal, 2016)

Bir köprü vazifesi görececek demiryolu hat güzergâhlarının seçiminde, üretim merkezlerindeki üretilen ürünlerin, tüketimin gerçekleştiği tüketim merkezleri arasında yapılması planlanmıştır. Cumhuriyet Dönemi yöneticileri tarafından da bağımsızlık ve hızlı bir şekilde kalkınmaya önem verilmiştir. Bu dönem içerisinde bunun başılamayacağı düşünüldüğü için de yapılan tüm çalışmalarda millileştirilmeye önem verilmiştir. Böylelikle de birçok demiryolu hattını satın alarak kendi bünyesine geçirmiştir ve demiryolu şirketi kurma düşüncesi olmuştur. Yabancı şirketler uzun zamandır kendi ellerinde olan hatları çıkarmak içinde gönüllü olmuşlardır. 1938 yılına kadar demiryollarını millileştirme düşüncesiyle yabancılarda olan demiryolları satın alınmıştır. Demiryollarının bakımında ray, travers, vagon, lokomotif gibi demiryolu parçalarının onarımları, personel alımları ve alınan personelinde bilgilendirilmesi kısmında eğitimler verilmiştir.

## **2.5. Kent İçi Toplu Ulaşım Sistemleri**

Dünyada özellikle büyük kentlerde en büyük sorunlardan bir tanesi ulaşım sorunudur. Ulaşım sorunun her geçen gün daha da artmasına sebep olan etmenler; kentleşme, nüfus artışı, sanayileşme ve trafiğe çıkan araç sayısı olarak sıralanabilir. Kent içi ulaşım sistemleri gelişen teknolojiyle, modern uygulamalarla, daha verimli, ekonomik olması göz önünde bulundurularak, toplum yaşamına fayda sağlayan ulaşım sistemi kent yaşamında önemli bir yere sahiptir. Toplumun bir yerden başka bir yere ulaşımı toplu ulaşım sistemleri ile daha hızlı, konforlu ve güvenli hale gelmiştir.

Türkiye’de de durum bu şekildedir. Nüfusun artmasıyla toplumun ihtiyaçlarını karşılayacak olan toplu ulaşım sistemlerine daha fazla ihtiyaç duyulmuştur. Türkiye’de

uzun zamandan beri karayolu ulaşımına büyük önem verilmiştir. Bu karayoluna verilen önem ile diğer ulaşım sistemleri ihmal edilmiştir. Günümüzde artan nüfusla birlikte trafikteki araç sayısı çoğalmış ve ulaşım sorunlarını beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar için daha ekonomik, daha verimli bir ulaşım sistemi olan raylı toplu ulaşım araçlarına ihtiyaç doğmaktadır (Gündüz vd., 2011).

Ulaştırma türlerini karayolu, demiryolu, havayolu, denizyolu ve boru hattı ile yapılan taşımacılık oluşturmaktadır. Havayolu, denizyolu, karayolu, demiryolu ile hem yük hem de yolcu taşımacılığı yapılırken boru hattı ile sadece yük taşımacılığı yapılmaktadır (Doğan ve Beller Dikmen, 2018).

**Tablo 2.1.** Türkiye’de yük ve yolcu taşımacılığının yıllara göre dağılımı

| Ulaştırma türleri       |           | Yıllar |      |      |      |      |      |
|-------------------------|-----------|--------|------|------|------|------|------|
|                         |           | 1950   | 1960 | 1970 | 2000 | 2010 | 2015 |
| <b>Yük (net ton-km)</b> | Karayolu  | 25     | 45   | 75,4 | 90,1 | 89,9 | 89,8 |
|                         | Demiryolu | 68,2   | 52,9 | 24,3 | 5,4  | 5,3  | 3,6  |
|                         | Denizyolu | 6,8    | 2    | 0,2  | 6,4  | 5    | 6,3  |
|                         | Havayolu  | 0      | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0    | 0    |
| <b>Yolcu (yolcu-km)</b> | Karayolu  | 50,3   | 72,9 | 91,4 | 96   | 97,8 | 89,2 |
|                         | Demiryolu | 42,2   | 24,3 | 7,6  | 2,2  | 1,6  | 1,1  |
|                         | Denizyolu | 7,5    | 2    | 0,3  | 0    | 0,7  | 0,6  |
|                         | Havayolu  | 0      | 0,8  | 0,7  | 1,8  | 0    | 9,1  |

Tablo 2.1’ de Türkiye’de yük ve yolcu taşımacılığının yıllara göre dağılımı verilmiş ve görüldüğü gibi karayolu ve demiryolu taşımacılığında 1950’li yıllarda demiryolu taşımacılığı ön planda iken gereken önem verilmeyerek zamanla taşımacılık içerisindeki önemini kaybetmiştir. Demiryolu önem kaybederken, diğer taşımacılık sistemlerinde sadece karayolu taşımacılığında fazla bir artış olmuştur.

Kombine taşımacılık; çıkış noktası ile varış noktası arasında en az iki farklı ulaşım sistemi ile taşımacılığın yapılmasıdır. Karayolu ulaşımında lastik tekerlekli toplu ulaşım araçlarından minibüs, otobüs, özel araçlar vb. ile kent içi raylı sistem araçlarından tramvay, metro, monoray, banliyö vb. araçlarıyla kombine taşımacılık yapılması daha güvenli, ekonomik ve verimli bir taşımacılık sistemini oluşturacaktır (Hamurcu ve Eren 2017).

### 2.5.1. Kent içi toplu ulaşım sistemlerinde karşılaştırma ve raylı sistemlerin önemi

Kent içi toplu ulaşım sistemleri teknolojik, ekonomik, çevresel etkiler ve hizmet sunumu olarak 4 ana özellik ile karşılaştırması yapılır. Teknolojik özellikler; teknolojinin gelişmesiyle ulaşım sisteminde meydana gelen değişikliklerden oluşmaktadır. Bunlar; hız, kapasite, geçiş üstünlüğü, iz kapasite, alan kullanımı, güvenlik, trafik esnekliğinden oluşmaktadır. Tablo 2.2’de kapasite karşılaştırmasında karayolu araçlarına göre demiryolu araçlarının kapasitesi daha yüksektir.

**Tablo 2.2.** Karayolu ve demiryolunun teknolojik karşılaştırılması

| Taşıt türü | Yolcu kapasitesi (kişi) | Taşıtlar arası süre (sn) | İz başına taşıt kapasitesi (taşıt/saat) | İz başına yolcu kapasitesi (yolcu/saat) |
|------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Otomobil   | 5                       | 8                        | 450                                     | 2.250                                   |
| Otobüs     | 96                      | 30                       | 120                                     | 11.520                                  |
| Tramvay    | 250                     | 45                       | 80                                      | 20.000                                  |
| Metro      | 1.000                   | 90                       | 40                                      | 40.000                                  |

Ekonomik özellik, ekonomiye dayanan alt yapı maliyeti, taşıt maliyeti, kullanılan malzemelerin maliyeti, enerji tüketimi, işletme dair giderler olarak ayrılır.

Çevresel etkiler, ses kirliliği, hava kirliliği ve estetik görüntüden oluşmaktadır. Hava kirliliğinde egzoz gazında insan hayatına zararlı olacak kurşun vb. gazlar hava ile

karışmaktadır. Trafikte yoğunluğun olması ses açısından bir gürültü kirliliği meydana getirecektir. Ulaştırma sistemlerinde konforlu bir seyahat için gürültünün 75-120 desibel aralığında olması gerekmektedir. Karayolları ve demiryollarının karşılaştırılmasında karayollarında gürültü miktarı 72-92 desibel iken, demiryollarında bu miktar 65-75 desibel aralığındadır. İnsan sağlığı için 8 saatlik bir çalışma süresinde azami 90 desibel gürültüye dayanılmaktadır.

Hizmet sunumu, ulaşım hizmeti veren işletmenin özelliklerinden sıklık, konfor, güvenilirlik, düzenlilik, ulaşım süresi şeklinde ayrılmaktadır (Saatçioğlu ve Yaşarlar 2012) .

### **2.5.2. Kent İçi Raylı Sistemler**

Ulaşım insanların bir vasıta aracılığıyla veya vasıtasız olarak herhangi bir nedenden ötürü yer değiştirmesidir. Ulaştırma; insanların kendi konumlarının değiştirilmesi veya bir eşya gönderimi için vasıta aracılığıyla bu hizmetin gerçekleştirilmesidir. Bu taşıma işlemi için ana hedef o dönemin teknolojileri kullanılarak ekonomik, güvenli, hızlı, konforlu ve çevreci bir sistemle kesintisiz şekilde gerçekleştirmektir (Akman ve Alkan, 2016).

Dünya üzerinde şehirleşmenin artmasıyla birlikte kent içi ulaşım aksaklıkları meydana gelmektedir. Ulaşım gelişen teknoloji ile birlikte hız, konfor, zaman ve olan sistemin devamlılığı(sürekliliği) kısımları önem arz eden parametrelerdir. Nüfusu fazla olan şehirlerde toplu taşıma sistemlerinin artırılması, mevcutta var olan kent içi ulaşım sistemlerine ek olarak raylı ulaşım sistemleri bir ihtiyaçtan çok zorunlu hale gelmiştir. Raylı ulaşım sistemlerinin kullanımı ise toplumların gelişmişlik seviyesi ile doğru orantılıdır. Gelişmişlik seviyesi yüksek olan ülkelerde raylı ulaşım yatırımları da fazladır. Yatırımların fazla olması daha gelişmiş bir ulaşım sistemine sahip olarak ulaşımın önemini artırmaktadır (Can ve Yörükeren, 2021)

Kent içi raylı ulaşım sistemleri ilk 1832 yılında New York'ta kullanılmıştır. Ülkemiz için son yıllarda raylı toplu ulaşım sistemlerine gereken önem verilmiş olsa da gelenen

nokta yeterli değildir. Kent içi ulaşımında karayollarına önem verilip yatırımlar yapılmasına karşılık kent içi demiryolları ihmal edilmiş ve gereken önem verilmemiştir.

Ulaştırma alanında yatırım maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı planlanan sistemin ekonomik ve doğru belirlenerek yüksek düzeyde fayda sağlaması gerekmektedir. Özenle karar verilmeyen projelerde yapılan çalışmada bir kayıp söz konusu olacağı için bir sonraki yapılacak olan projenin hayata geçirilmesini de geciktirecektir (Öztürk ve Dündar, 2016).

Kent içi toplu raylı ulaşım sistemi bir ray üzerinde kılavuzlanarak veya asılı, elektrik enerjisiyle çalışan, istasyonlar ve yardımcı bölümlerden oluşan bir ulaşım sistemidir. Kent içi raylı ulaşım hafif ve ağır raylı sistemler olarak ayrılmaktadır. Hafif raylı sistemler; tramvaylar ve hafif raylı sistem araçlarından oluşurken ağır raylı sistemler metrolardan ve banliyö hatlarından oluşmaktadır. Hafif raylı sistemler tek araçtan veya basit düzeyde birkaç araçtan oluşan dizi şeklinde olup, yolları yer zemininde veya yükseltilmiş kendine tahsis edilmiş yollarda elektrik enerjisi ile işletilen araçlardır. Ağır raylı sistem araçları ise trafikten tamamen bağımsız, kendilerine ait yollarda ulaşım gerçekleştirirler. Araç uzunluk, genişlik ve hız bakımından da hafif raylı sistemlere göre daha fazladır. Kent içi ulaşım sistemleri ekonomik, çevresel ve teknik özellik bakımından sınıflandırılırken, kent içi raylı ulaşım sistemleri çoğunlukla teknolojik parametre özelliklerine (kapasitelerine, enerji şekline, hızlarına, yollarına ve araçlar) göre ayrılmaktadırlar (Öner ve Kara, 2019 ; Gündüz vd., 2011)

Kent içi raylı ulaşım sistemlerinin avantajları; dakiklik, konfor, hız, güvenilirlik ve kontrollü seyir, kapasitenin fazla olması hatta gerekli görüldüğünde artırılabilir olmasıdır. Elektrik enerjisi kullanıldığı için, çevreci olarak bilinen raylı ulaşım sistemi karayolu ulaşımına göre atmosfere kirletici emisyonlar atmadığından tercih edilmektedir. Birçok şehirde yaygın olarak kullanılan bu sistemler toplu taşıma sisteminin omurgası konumundadır (Kasımoğlu, 2015).

Tablo 2.3' te olduğu gibi ulaşım sistemlerinde temelde 3 mod bulunmaktadır ve ayrımı yol kullanım hakkına dayanmaktadır. Bunlar cadde-sokak ulaşımı, yarı hızlı ulaşım ve

hızlı ulaşım. Harf ile gösterimlerde ise cadde-sokak ulaşım modu; örneğin tramvaylar C harfiyle, yarı hızlı ulaşım olarak LRT sistemleri B modu, hızlı ulaşım da metro sistemleri A harfiyle gösterilmektedir (Vuchic, 2000).

**Tablo 2.3.** Ulaşım modları

| <b>Mod grubu</b>  | <b>Yol grubu</b> | <b>Ulaşım aracı</b> | <b>Aracın yöntemi</b> | <b>Güç</b>          | <b>Kontrol</b> | <b>Araç sayısı</b> | <b>Araç kapasite</b> |
|-------------------|------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------|--------------------|----------------------|
| <b>Cadde</b>      | C                | Otobüs              | Yol sürürlü           | İçten yanmalı motor | Görsel         | 1                  | 80-125               |
| <b>Cadde</b>      | C                | Tramvay             | Ray kılavuzlu         | Elektrik            | Görsel         | 1-3                | 100-300              |
| <b>Yarı hızlı</b> | B                | LRT                 | Ray kılavuzlu         | Elektrik            | Görsel-sinyal  | 1-4                | 100-720              |
| <b>Hızlı</b>      | A                | Metro               | Ray                   | Elektrik            | Sinyal         | 4-10               | 720-2.500            |

### 2.5.3. Kent içi raylı sistemlerin tarihçesi

19. yüzyıl raylı ulaşım sistemlerinden biri olan tramvay ile taşımacılığın yapıldığı bir dönemdir. Atlı arabalarla ray üzerinde taşımacılık yapılan ilk tramvaylar önce Amerika'da ardından da Avrupa'da kullanılmıştır. Tarihte bilinen, Şekil 2.5'te yer alan ilk atlı tramvaylar 1832 yılında New York'da Harlem ile Manhattan arasında kullanılmıştır. 1850 li yıllardan sonra daha hızlı olarak yayılmıştır. Bu hızlı yayılmanın sebebi ise 1852 yılında oluklu rayların kullanılmaya başlanmasıyla birlikte daha rahat ulaşımın gerçekleşmesidir. Avrupa'da ise ilk Paris'de 1853 yılında kullanılmıştır (Arlı, 2015).

19. yüzyıl ortalarında Osmanlı Devleti'nin başkenti olan ve 370.000 nüfusa sahip olan İstanbul şehrinde ulaşım faytonlarla gerçekleşiyordu. 1869 yılında tramvay ile yapılacak olan ulaşım için çalışmalara başlanılmıştır. 30.09.1869 tarihinde kent içerisindeki ulaşım için İstanbul'da "Dersaadet de Tramvay Tesis ve İnşasına" yönelik bir sözleşme

yapılmıştır. Dersaadet Tramvay Şirketi'ne (D.T.Ş.) İstanbul sokak ve caddelerinde yapılacak olan demiryolu hattının inşa edilmesini ve demiryolu üzerinde hayvan çekerli araç işletilmesinin imtiyazı verilmiştir. Atlı tramvayın yapımı için ilk etapta en çok talep duyulacak 4 hat belirlenmiştir.

İstanbul'da 1870 yılında hattın inşasına ilk rayların döşenmesiyle başlanılmıştır. Yapılan deneme seferlerinden sonra 31 Temmuz 1871 yılında İstanbul'da ilk atlı tramvay Azapkapı'dan-Galata-Tophane-Beşiktaş tarafına doğru işletmeye açılmıştır. İkinci hat 1872 yılı Aralık ayında hizmete girmiş, güzergâhı Eminönü'nden itibaren Bab-ı Ali-Soğuk çeşme-Divanyolu-Beyazıt-Aksaray'a uzanmaktadır. Aksaray'dan-Samatya-Yedikule olan hatta 1873 yılında hizmete girmiş ve son dördüncü hat olarak 1874 yılında hizmete alınan Aksaray'dan Topkapı'ya uzanan hat olmuştur (Çolak, 2003 ; Karataşer ve Öztürk, 2018).



**Şekil 2.5.** Atlı tramvay

Tramvay sisteminin uygun fiyatlı olmaması halk tarafından rağbet görmemesine ve atlı tramvayların kısa süreli kullanılmasına sebep olmuştur. Bu durumun bir diğer sebebi;

hareket gücünü sağlayan atlar yokuş yukarı çıkarken, destek amaçlı yokuş başında bulunan yedek atlardan yardım alınarak çıkılması ve bu atlar da belirli bir süre sonra yıpranıp artık iş göremez hale gelmesi ve ulaşımda aksaklık yaşanmasıdır. Böylelikle atlı tramvaylardan elektrikli tramvaylara geçiş yapılmıştır.

Tramvayın çekim gücünün ve yolcu taşıma kapasitesinin maksimum düzeyde olması bu tramvay hattının ekonomik olmasını etkilemektedir. Avrupa'nın belirli bölgelerinde buhar gücüyle çalışma prensibine dayanan tramvaylar hizmet vermiştir. 19. yüzyıl sonlarına doğru İstanbul'da da bu sistemler örnek alınarak mekanik gücün kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. İstanbul'da buhar gücüyle çalışan tramvaylar proje aşamasında kalmış ve kullanımı olmadan bu sisteme göre daha avantajlı olan elektrikli tramvaylara geçiş olmuştur (Çolak, 2003).

Dünya üzerindeki ilk elektrikli tramvayı 1881 yılında Berlin kullanmıştır. İstanbul'da ilk elektrikli tramvay 20.02.1914 tarihinde kullanılmıştır. Dünya'da tramvayın ilk kullanımı ile İstanbul'da kullanılması arasında 33 yıllık bir fark bulunmaktadır. Bu durumun sebebi tramvay şirketine verilen imtiyazların iki kere uzatılması ve bu şirketin elektrikli tramvayı maddi bir kayıp olarak görmesidir (Karataşer ve Öztürk, 2018).

Elektrikli tramvaylardaki hareketi sağlayacak elektrik ya pantograf aracılığı ile hava hattından ya da tramvayın altında takılı bulunan bir parça ile raylar arasındaki açıklıktan karşılanıyordu. İlk elektrikli tramvay güzergâhı Tophane'de Karaköy ile Ortaköy arasında yapılmıştır. Atlı tramvaylarda yol açıklığı daha geniş iken elektrikli tramvaya geçiş yapılmasıyla yollar daraltılmıştır. Tramvayın elektrikli olması ilk başlarda halk tarafından tereddüt edilse de zamanla kullanımı artarak çağın yeniliklerine ayak uydurulmuştur.

İstanbul tramvay şirketinin 1938 yılında yapılan bir ekonomik analizi sonucunda bir gelişme kat edilmediği görülmüştür ve 1939 yılında tramvay işletmesi İstanbul belediyesi adına 'Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri Umum Müdürlüğü' ne devredilmiştir. Bu tarihlerde II. Dünya Savaşı'nın başlamasıyla kent içerisinde ulaşımda sorunlar olmasına rağmen tramvay çok fazla etkilenmemiş ve ulaşımda etkinliğini

devam ettirmiştir. Savaş sırasında tramvaylarda ki tek değişiklik ışıklarını kapatarak ulaşımına devam etmesidir. Bakımları yapıldığı takdirde sorunsuz uzun süre işletmeye devam edebiliyordu, yedek parça sorunları da çok olmamakla beraber olması durumunda dahi birbirlerinden temin edilebiliyordu. Elektrik motorları dışındaki parçaların üretimi ise atölyelerden temin edilebiliyordu, ayrıca Şişli’de bulunan depo oldukça başarılıydı.

Kullanılan araç farklılıkları ise öndeki çekme görevi üstelenen bölümde kırmızı ve yeşil renklerde olmasıdır. Kırmızı renk tramvaylar birinci sınıf ve koltukları deriden yapılmış yumuşaktır, ikinci sınıf yeşil tramvayların koltukları tahtadan yapılmış ve daha serttir. Kullanılan ilk elektrikli tramvayların teknik bilgileri Tablo 2.4’te verilmiştir Çalışkan ve Kırmızı, (1998).

**Tablo 2.4.** Kullanılan ilk tramvayların teknik özellikleri

| <b>Model</b>         | <b>Cpn</b>                                                                          | <b>Bergman</b>                                                                   | <b>AEG</b>                                                                      | <b>T.h.</b>                                                                            | <b>Siemens</b>                                            |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Motor</b>         | Siemens<br>50 kW<br>güçte, 550<br>volt daimi<br>cereyanlı<br>iki elektrik<br>motoru | BERGMAN<br>50 kW güçte,<br>550 volt daimi<br>cereyanlı iki<br>elektrik<br>motoru | AEG 45<br>kW güçte,<br>550 volt<br>daimi<br>cereyanlı<br>iki elektrik<br>motoru | Thomson<br>65 kW<br>güçte, 600<br>volt daimi<br>cereyanlı<br>iki<br>elektrik<br>motoru | Siemens<br>50 kW<br>güçte, 550<br>volt daimi<br>cereyanlı |
| <b>Hız</b>           | 60 km/h                                                                             | 60 km/h                                                                          | 60 km/h                                                                         | 60 km/h                                                                                | 50 km/h                                                   |
| <b>Kapasite</b>      | 34 yolcu,<br>12 oturma/<br>22 ayakta                                                | 37 yolcu, 12<br>oturma/ 25<br>ayakta                                             | 45 yolcu,<br>12 oturma/<br>33 ayakta                                            | 34 yolcu,<br>12<br>oturma/<br>22 ayakta                                                | 42 yolcu,<br>22<br>oturma/<br>20 ayakta                   |
| <b>Üretim yeri</b>   | F.<br>Almanya                                                                       | F. Almanya                                                                       | F. Almanya                                                                      | F.<br>Almanya                                                                          | F.<br>Almanya                                             |
| <b>Hizmete giriş</b> | 1914                                                                                | 1914                                                                             | 1926                                                                            | 1928                                                                                   | 1934                                                      |

#### **2.5.4. Kent içi raylı sistemlerin elemanları**

Kent içi raylı ulaşım araçlarının birbirlerinden farklarının olmasında bazı başlıklar bulunmaktadır. Bu başlıklar; raylı sistem hattı, taşıt, istasyon, işletme ve sinyalizasyondur.

##### **2.5.4.1. Raylı sistem hattı**

Raylı sistem hattı bakımından ayrımda, raylı ulaşım sistemlerinin trafikteki diğerk sistemlerden korunmasını, fiziki yolun kullanım durumunu içermektedir. Elektrikle alakalı olarak ise hat üzerinde döşenmiş elektrikselse bağılantılardaki farklılıklardan ayırım yapılır. Yolun geometrik özellikleri kurplar, deverler, rampa (eğim) kısmında, üst yapı elemanları olarak; ray, travers, balast ve bağlantı elemanlarının farklılıklarından kent içi raylı ulaşım sınıflandırılması yapılır.

##### **2.5.4.2. Taşıt**

Taşıtlardaki ayrımlar, araca yönelik karşılaştırma maddeleri yer almaktadır. Bunlar; taşıt boyutu, dingil sayıları, çekim gücü ve frenleme güç bilgileri, set oluşturabilme durumu, tek veya iki yönlü olarak hareket edebilme, araç kapasitesi, kapı konumları şeklinde ayırım yapılmaktadır.

##### **2.5.4.3. İstasyon**

Kent içi raylı sistemlerde istasyon olarak ayırımı yapıldığında, istasyonlar arası mesafeye, alçak veya yüksek platformlu olması açısından, platformun ölçüsü gibi maddelere dikkat edilir.

##### **2.5.4.4. Sinyalizasyon (trafik yönetim ve güvenlik)**

Sinyalizasyon ise kent içi raylı sistemlerde farklılıklara bakıldığında kent içi raylı ulaşım araçlarında yol kontrolü tamamen görsel olabileceğı gibi tam korumalı ileri bir sinyalizasyon sistemiyle de yapılabilmektedir.

#### 2.5.4.5. İşletme

İşletme kısmında, diğer 4 maddenin birbiriyle bağlı olarak yürütülmesinde bir personel tarafından da bu sürecin kontrolleri yapılarak sistemin devam etmesidir. İşletme noktasında ayırım ise işletme yönetimi, otomasyon durumu, yol ve araçların bakımı olarak yapılmaktadır (Çağlayan, 1995).

#### 2.5.5. Kent içi raylı ulaşım araçları

##### 2.5.5.1. Hafif raylı sistem (LRT)

LRT aracı bölgesel bir trenle karşılaştırıldığında daha kısa ve hafiftir. Bir tramvaya göre daha ağır ve uzun bir set halinde ulaşım gerçekleşir. LRT araçları tramvay ve metro arasında, tramvay sisteminin yeterli gelmediği ve metro sisteminin yapım maliyetinin daha fazla olacağı bölgelerde tercih edilen raylı ulaşım sistemleridir. Hız, kapasite, bir setteki araç sayısı gibi özellikleri tramvay ve metro araç değerlerinin arasında yer alarak gelişmiş bir tramvay özelliğindedir. Hafif raylı sistem Şekil 2.6'da gösterilmiş olup yer altında veya yer üstünde olmak üzere kendine ait yolda, gücünü elektrik enerjisinden alır.



Şekil 2.6. Hafif raylı sistem aracı (HRS)

Çoğunlukla B kategorisinde yer alan LRT, çoğunlukla 2-4 araçtan oluşan bir set şeklinde hizmet vermektedir. 2.650 mm genişliğine sahip araçlardır. Hafif raylı sistem istasyonları yaklaşık 100 m uzunluğundadır. Duraklar arası mesafe ortalama 600-1.000 m aralığındadır. Hız olarak azami 70-80 km/h, teknik de 100-125 km/h çıkabilmiş olsa da işletme hızı olarak 18-40 km/h aralığında değişmektedir. LRT aracının saatlik yolcu kapasitesi ortalama 15.000-30.000 arasındadır. Enerji olarak 750 V DC veya 1500 V DC akım katener veya 3. raydan temin edilen alttan besleme yöntemleri kullanılmaktadır. Ülkemiz de Ankara'da işletilen ANKARAY ulaşım aracı ve İstanbul'un Zeytinburnu-Bağcılar raylı sistemi HRS'e örnektir (Arlı, 2015).

#### **2.5.5.2. Metro**

Şehir merkezlerindeki hareketliliğe bağlı trafik sorununun artması, yeni demiryollarının oluşmasına sebep olmuş ve yeni ulaşım ağları inşa edilmiştir. Bazı şehirlerde geleneksel yeraltı metro sistemleri inşa edilmiş, bazı şehirlerde de yüzey demiryolu olarak tramvaylar veya hafif raylı ulaşım sistemleri inşa edilerek kullanılmıştır. Mevcutta bu sistemleri kullanan diğer şehirler ise mevcut ağlarını genişletmiştir (Marin and Rodenas,2008).

Ağır raylı sistemlerden olan metro sistemlerinin özellikleri, LRT ve tramvay araçlarının özelliklerinden daha geniş bir aralığa sahiptir. Metro sistemleri enerjisini üçüncü raydan alarak ulaşımı gerçekleştirir. (Altuntaş ve Eyigün, 2020).

Ulaşım modu olarak A kategorisinde yer alması ise metro raylı ulaşım sisteminin tam korumalı olduğunu, sürücüsüzde (driverless) işletilebilecek tam sinyalli bir sisteme sahip olduğunu göstermektedir. Sürücü hatasını en az seviyeye düşürecek olan sistemin, araç kapasitesi ortalama 2.000 kişidir. 10'lu setler halinde de kendine özel ayrılmış yol üzerinde hareket etmektedir. Yolcu taşımacılığında yoğun olan pik saatlerde ekstra araç eklenerek bir EMU (Electric Multiple Unit) araç modeli gibi yüksek kapasitede hizmet verebilmektedir (Arlı, 2015).

### 2.5.5.3. Monoray

Monoray raylı ulaşım aracında mono bir anlamına gelerek tek bir ray üzerinde gerçekleşen ulaşım sistemini ifade etmektedir. 2 farklı çalışma sistemine sahiptir. Bunlar; Şekil 2.7’deki gibi bir kiriş üzerinde bindirmeli sistem ve Şekil 2.8’deki gibi bir kirişe asılı şekildedir. Sistemde, çoğunlukla beton kirişler kullanılır. Bu ulaşım sisteminde hat yerin yüzeyinde değil havadan gidecek şekilde gerçekleşir, kendine özgü yola sahiptir ve trafiği meşgul etmemesi avantajlı yönüdür. Trafik içinde olmaması sebebiyle hızlı ulaşım araçlarındandır. Lastik tekerlekler aracılığıyla kiriş üzerinde aracın ilerlemesi gerçekleşir. Lastik tekerlekli olması dar, keskin kurpları ve yüksek eğimleri kolaylıkla aşabilme avantajı sağlamaktadır. Monoray araçları tek araç halinde de olabileceği gibi 6’lı set halinde de ulaşımı gerçekleştirebilirler. Saatlik yolcu taşıma kapasitesi 15.200-49.080 (yolcu/saat.yön). Yoğun saatlerde işletme hızı ortalama 50 km/h’dir. Azami hız 80 km/h, ortalama 30-35km/h’dir. Araç kapasitesi 140-280 arasında değişiklik göstermektedir. 3. Raydan gerekli olan enerjisini karşılar (Çalış, 2016 ; Hamurcu ve Eren 2017).



Şekil 2.7. Bindirme tipli monoray



**Şekil 2.8.** Askı tipli monoray

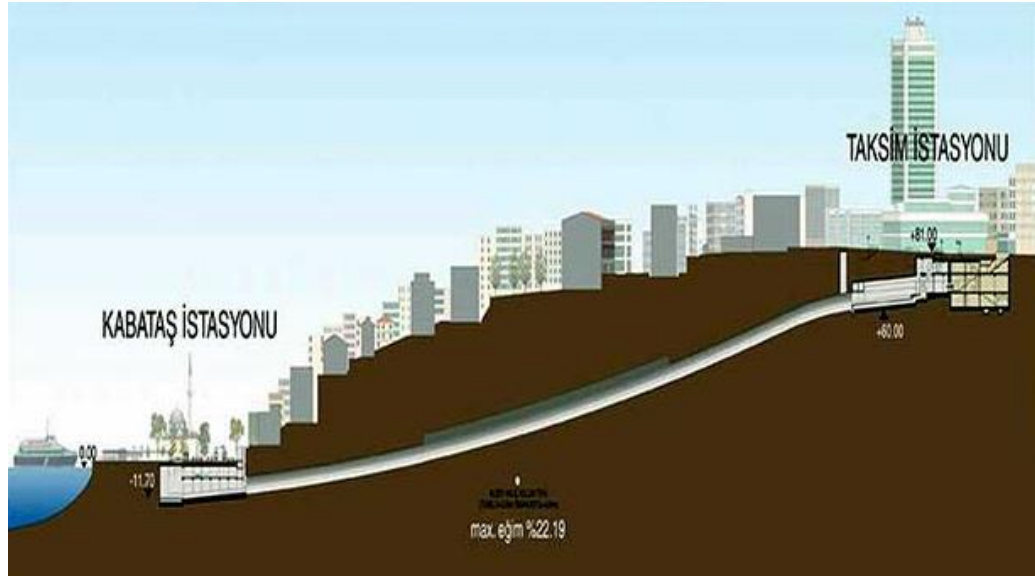
#### **2.5.5.4. Füniküler sistem**

Kent içi raylı ulaşım araçlarından biri olan füniküler sistemi yatay asansör olarak da adlandırılmaktadır. Asansör çalışma mantığına benzer şekilde çalışan kent içi raylı ulaşım aracı yükseklik farkı fazla olan iki nokta arasında ve kale, hisar gibi tarihi mekânlara ulaşımı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Asansör sistemlerinin çalışması bir kabin ve karşıt ağırlıktan oluşurken, füniküler sisteminde de karşıt ağırlık olarak vagonlar bulunmaktadır.

Raylar kılavuzlayıcı ve taşıyıcı görevi görmektedir. Kablolar aracılığıyla enerji temin edilmektedir ve vagonlar cer enerjili kablolar ile taşınmaktadır.

Ülkemizde İstanbul'da yaklaşık %22 eğime sahip, Şekil 2.9'da gösterilmiş olan Taksim-Kabataş arasında kullanımı mevcuttur. Araç kapasitesi 375 kişidir ve tek bir yönde saatte ortalama 7.500 kişilik kapasiteye sahiptir. Çalışma hızı olarak azami 36 km/h çıkabilmektedir (Baştürk, 2014).



### Şekil 2.9. Füniküler sistem

## 2.6. Türkiye’ de işletmede olan tramvay örnekleri

Ülkemiz sınırlarında ilk elektrikli tramvay 1914 yılında İstanbul'da kullanılmıştır. 1956 yılından sonra tramvay kullanımında duraklama yaşanmış ve 1960 yılında tamamen bitmiştir. İstanbul'da 1990 yılında tekrardan tramvay kullanılmış ve bu tarihten önce diğer şehirlerde tramvay kullanımına başlanılmamıştır.



**Şekil 2.10.** Türkiye tramvay işletmesi yapılan kentler haritası

Şekil 2.10’da belirtilmiş olan İzmir, Bursa, Kocaeli, İstanbul, Eskişehir, Konya, Antalya, Kayseri, Gaziantep, Samsun tramvay işletmesi olan illerimizdir. Ülkemizde mevcut tramvay hat uzunluğu toplamda 352,63 km’dir.

#### **2.6.1. İstanbul örneği**

İstanbul ilimizde 1990 yılında nostalji tramvay hattı olan T2 hattı açılmış ve o günden itibaren herhangi bir kapatılma durumu olmaksızın ulaşımında tramvaylar yer almıştır. 1990 yılından sonra 1992 yılında T1 hattı açılarak yaygın olarak kullanılmıştır. İstanbul’da T1, T2, T3, T4, T5 tramvay hatları olarak toplamda 47,64 km tramvay ağına sahiptir. Tramvay ulaşımında yer alan araçlar Bombardier, Alstom Citadis, Duewag ve Hyundai Rotem firmalarına aittir Metro İstanbul, (2021).

#### **2.6.2. Kocaeli örneği**

Kocaeli ilimizde yer alan Akçaray tramvay ulaşımı 2017 yılında ulaşım hizmetine başlamıştır. 18,8 km uzunluğunda kent içi raylı sistem hattı bulunmaktadır. Ulaşım hizmetinde yer alan araç yerli üretim olan Durmazlar firmasına aittir Ulaşım park, (2021).

#### **2.6.3. Bursa örneği**

Bursa’da mevcutta 2 tramvay hattı vardır. T1 hattı 2013 yılında hizmet vermeye başlamış ve 6 km uzunluğunda, T3 hattı da 2,2 km uzunluğuna sahiptir. Bursa’da toplam 8,2 km uzunluğunda tramvay hattı bulunmaktadır. Bursa’da raylı ulaşım sistemleri yaygın kullanılmasına rağmen tramvay daha geç tarihte hizmete girmiştir. Tramvay işletmesine göre daha önceki yıllarda kullanımı başlayan hafif raylı sistemdir ve hızlı tramvay olarak geçmektedir. Bu hafif raylı sistem ise Bursaray olarak 2001 yılında hizmete geçmiştir. Kullanılan araçlar yerli üretim olan Durmazlar firmasının İpekböceği aracı, Duewag ve VEB Waggonbau Gotha araçları kullanılmaktadır Burulaş, (2021).

#### **2.6.4. İzmir örneği**

İzmir ilimizde tramvay ulaşımında T1 hattı 2017 yılında T2 hattı 2018 yılında hizmete vermeye başlamıştır. İzmir tramvay hattı ise 21,4 km uzunluğundadır ve İzmir ilinde Hyundai Rotem firmasının tramvay aracı kullanılmaktadır Tram İzmir, (2021).

#### **2.6.5. Konya örneği**

Konya ilimizde Alaaddin – Selçuk Üniversitesi ve Alaaddin – Adliye olarak 2 tramvay hattı bulunmaktadır. Konya ilinde ilk 1992 yılında tramvay kullanılmıştır. Konya 41,1 km uzunluğunda tramvay ağına sahiptir. Skoda Duewag tramvay araçları kullanılmaktadır Atus, (2021).

#### **2.6.6. Antalya örneği**

Antalya ilimizde nostaljik tramvay ile birlikte 3 hat bulunmaktadır ve bu hattın toplam uzunluğu 46 km'dir. Nostalji tramvay hattı olan T3 hattı 1999, diğer hatlar da 2009 ve 2019 yılında hizmet vermeye başlamıştır Antray, (2021).

#### **2.6.7. Samsun örneği**

Samsun ili 3 tramvay hattına sahiptir. Bu 3 hat 50,69 km uzunluğundadır. İlk tramvay işletmesinin hizmet vermeye başladığı tarih 2010 yılıdır. Ulaşım hizmetinde yer alan araçlar ise Durmazların üretimi olan yerli araçlarımızdan Panorama, Ansaldo Breda üreticisinin Sirio 2010 aracı ve China CNR firmasının 2013 modelidir Samulaş, (2021).

#### **2.6.8. Kayseri örneği**

Kayseri ili tramvay ulaşımında 2 ana hatta sahiptir. Organize sanayi bölgesi ile İldem arasında hizmet veren tramvay ve bir diğeri ise Cumhuriyet Meydanı ile Talas arasında hizmet vermektedir. Toplam 34,5 km uzunluğa sahip olan tramvay sistemi 2009 yılında işletmeye başlamıştır. Kayseri ilinde tramvay aracı olarak Ansaldo Breda-Sirio ve Bozankaya araçları kullanılmaktadır Kayseri ulaşım, (2021).

### **2.6.9. Gaziantep örneği**

Gaziantep ilinde tramvay ile ulaşımda Adliye – Gar arasında, İbni Sina – Gar arasında ve Adliye – Burç Kavşağı arasında olmak üzere 3 hatta sahiptir. Gaziantep’te ilk tramvay ile ulaşıma 2011 yılında başlanılmıştır. Gaziantep ili 35,1 km uzunluğuunda bir tramvay işletmesine sahiptir. Siemens-Duewag ve Alsthom araçları kullanılmaktadır Gazi ulaş, (2021).

### **2.6.10. Eskişehir örneği**

Eskişehir Türkiye’de nüfus artışının fazla olduğu, sosyo-kültürel gelişimde ise nde gelen şehirlerimizden biridir. Bu nüfus artışıyla birlikte kent içinde ki hareketlilik de mevcut sistemlerin yetersiz kaldığını, yeni sistemlere veya olan sistemlerin iyileştirilip geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğunu apaçık ortaya koymaktadır.

Kent içi raylı sistem olan tramvay sistemleri yeterli gelmediği takdirde ise olan araçlarda kapasiteyi artırmaya yönelik araç eklenerek örneğin araç boyu ortalama 30 m iken 40 m olarak hizmet vermesi ya da ek araç alınarak talep olan bölgede hizmet vermesidir. Bu iki alternatifinde birbirlerine göre avantaj ve dezavantaj bulunmaktadır. Bu alternatiflere ek olarak ise yoğunluk yaşanan bölgeye bağlı olan kısımda ayrı bir ağ oluşturularak yoğunluğu hafifletilmesi düşünülmektedir. Mevcut hatlara ek uzatma hatları eklenerek yoğunluk düşürülmektedir. Eskişehir’de 2019 yılında ve 2021 yılında eklenen hatlar ile tramvay hattındaki yoğunluk düşürülmüştür (Kara vd., 2017).

Eskişehir tramvay hattı 2004 yılında işletmeye açılmıştır. şehrin caddelerinin dar olması nedeniyle, 1000 mm’lik ekartmanlı tramvay sistemi tercih edilmiştir. Sistem 8 hat ile birlikte depo bölgesi hariç 51,8 km hat uzunluğuuna sahiptir. Eskişehir ilinde işletmede Tablo 2.5, Tablo 2.6’ da teknik özellikleri verilmiş olan Bombardier ve Skoda tramvay aracı kullanılmaktadır. Estram (2021).

**Tablo 2.5.** Eskişehir Skoda tramvay aracına yönelik teknik bilgiler Estram (2021)

|                                               |                           |
|-----------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Araç üretici firma</b>                     | Skoda                     |
| <b>Araç sayısı ve üretim yılı</b>             | 14 araç, 2018             |
| <b>Tramvay setindeki vagon sayısı</b>         | 5                         |
| <b>Araç genişlik ve yüksekliği</b>            | 2.300 mm 2.130 mm         |
| <b>Ekartman genişliği</b>                     | 1.000 mm                  |
| <b>Araç kapasitesi (m<sup>2</sup> 6 kişi)</b> | 259 kişi                  |
| <b>Enerji alımı</b>                           | Katener                   |
| <b>Motor tipi</b>                             | AC motor                  |
| <b>Azami araç hızı</b>                        | 70                        |
| <b>Yatay kurp (dönüş yarıçapı)</b>            | R: 21,6 m, depoda R: 20 m |
| <b>Dikey kurp</b>                             | 300 m                     |
| <b>Eğim miktarı (rampa çıkabilme)</b>         | %7                        |

**Tablo 2.6 .** Eskişehir Bombardier tramvay aracına yönelik teknik bilgiler Estram (2021)

|                                               |                           |
|-----------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Araç üretici firma</b>                     | Bombardier                |
| <b>Araç sayısı ve üretim yılı</b>             | 33 araç, 2004-2018        |
| <b>Tramvay setindeki vagon sayısı</b>         | 5                         |
| <b>Araç genişlik ve yüksekliği</b>            | 2.300 mm 2.274 mm         |
| <b>Ekartman genişliği</b>                     | 1.000 mm                  |
| <b>Araç kapasitesi (m<sup>2</sup> 6 kişi)</b> | 210 kişi                  |
| <b>Enerji alımı</b>                           | Katener                   |
| <b>Motor tipi</b>                             | AC motor                  |
| <b>Azami araç hızı</b>                        | 70                        |
| <b>Yatay kurp (dönüş yarıçapı)</b>            | R: 21,6 m, depoda R: 20 m |
| <b>Dikey kurp</b>                             | 300 m                     |
| <b>Eğim miktarı (rampa çıkabilme)</b>         | %7                        |

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Tramvay

Kent içi raylı ulaşım araçlarından olan tramvay; cadde tramvayı ve nostaljik tramvay olarak 2'ye ayrılır. Bu cadde tramvayları karayolu ulaşım araçlarının kullandığı cadde ve sokaklar üzerinde ulaşımı sağlayan kent içi raylı ulaşım araçlarıdır. Tarihsel süreç içerisinde atlar tarafından çekilerek ulaşım sağlanan tramvaylarda çekim gücünü elektrik enerjisine bırakarak günümüzdeki elektrikli hat olan katener hattından pantograf aracılığı ile gücünü alarak hareket etmektedir. Katener hattı olmadan da ulaşım gerçekleştirilebilmektedir. Enerji depolama sisteminin araç üstüne monte edilmesiyle belirli kısımlarda katenersiz işletme yapılmasını mümkün kılmaktadır. Katenersiz hatta örnek olarak Konya'da Alaaddin-Adliye tramvay işletmesi verilebilir. Tramvay, Mevlana meydanından katenersiz seyir gerçekleştirmektedir. Katenersiz sistemin avantajı; enerji kesintisinin olma ihtimaline karşılık veya tarihi önem taşıyan yerlerde enerji depolama sistemi tarafından sağlanan enerji ile ulaşım aksaklık olmadan devam etmektedir (Açıkbaş, 2006).

Bir tramvay aracının ihtiyaç duyduğu güç, bir trenin ihtiyaç duyduğu güçten çok daha azdır. 4 araçlı bir tramvay aracının ihtiyaç duyduğu güç 0,75 MW iken bir trenin ihtiyaç duyup tüketeceği güç miktarı 20 MW' tır. Bu aradaki farktan dolayı bir tren için kesintisiz bir şekilde havai hat olan katener hattından enerjiyi temin etmesi gerekmektedir. Tramvay aracı daha düşük güç ile çalışabildiğinden gücünü katener hattı veya bir batarya sisteminden karşılayabilir. İhtiyaç duyulan enerjinin depolanmasında aküler dışında tramvay sistemlerinde kullanılan birçok yöntem vardır. Bunlar;

- Süper kapasitör,
- Akış pili,
- Yakıt hücresi olarak enerji depolanarak katenerden enerji kullanıma gerek kalmadan ulaşım hizmeti devam ettirilmektedir (Chang vd., 2018).

Bir tramvay aracının kapasitesi taşıtın boyuna, vagon sayısına ve sefer sıklığına bağlı değişiklik göstererek saatte 8.000-15.000 arasındadır. En düşük 20 m yarıçaplı kurplarda dönüş yapabilecek, %8’lik bir eğime kadarda araç rampa çıkabilecek teknik özelliklere sahiptirler. Duraklar arası mesafe yaklaşık 400-600 m aralığındadır. Ticari hızı; kent içinde diğer araçlar ve yayaların olmasıyla birlikte ortalama 20 km/h’tir. Kent içinde kolay ulaşılabilir olması, şehir merkezine uyumlu olması, kısa mesafelerde etkin olması yönüyle de bir avantaj sağlamaktadır (Serhatlı, 2019).

Bir işletmenin kullanıcılarına sağladığı hizmetin kalitesini belirleyen temel parametrelerden biri tramvay sistemindeki seyahat süresidir. Seyahat süresi ve dolayısıyla ortaya çıkan ticari hız, tramvay tipine, tramvay tipine göre de araç uzunluğuna, birbirini takip eden duraklar arasındaki mesafeye ve trafik ışıklarıyla kontrol edilen yaya ve yaya geçitlerinde tramvaya verilen önceliğe bağlıdır (Lakušić, 2012).

Nostalji tramvayları tarihsel süreç içerisinde işletilen ilk tramvaylar olarak geçmiş ile günümüz arasında bağ kurarak tarihi, kültürel, turistik amaçlı yolcu taşımacılığı yapılan tramvaylardır. Tablo 3.1’ de ülkemizde bulunan bazı tramvay hatlarının uzunlukları verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Ülkemizde bulunan bazı tramvay hat uzunlukları

| Şehirler | Hattın ismi                | Hattın uzunluğu (km) |
|----------|----------------------------|----------------------|
| Bursa    | T1                         | 6                    |
| Antalya  | Varsak-Atatürk             | 11                   |
| İstanbul | T3 hattı (Nostaljik)       | 2,6                  |
| Samsun   | T2                         | 14                   |
| İzmir    | Halkapınar-Fahrettin Altay | 12,6                 |

### **3.1.1. Tramvay teknik özellikleri**

#### **3.1.1.1. Hız**

Hız, ulaşım ağında önemli bir etkiye sahiptir. Ulaşım sistemlerinde taşınacak yükü veya yolcuyu en kısa süre içinde talep edilen noktaya ulaştırılmasında hız en temel niteliklerden bir tanesidir. Tarihsel süreç içerisinde de sanayi devrimiyle birlikte toplu ulaşım kavramı ortaya çıkmıştır. Bu süreç içerisinde ilk önce buharın icadıyla ulaşım daha kolay bir hale getirilip hızlandırılmış, ardından elektriğin icadıyla geçmişe göre hızlanmış olan ulaşım da daha yüksek hızlar elde edilerek ulaşım da geçen zamandan kazanç sağlanmıştır. Kent içi raylı sistemler toplu taşımacılıkta yüksek hızlara ulaşabilmek için 19. yüzyıl da tramvay ve metro hatlarının inşasıyla kent merkezlerinde yer almaya başlamıştır. Bu değişim sonucunda ulaşım hızı ortalama 5 km/h iken 15 km/h yükselmiştir (Yaman, 2015).

Cadde tramvayları diğer kent içi ulaşım araçları ile birlikte aynı karayolu üzerinde çalışmasından ötürü yüksek hız değerlerine ulaşabiliyorken, daha düşük hızlarda seyir etmektedir. Tramvayların işletme hızı ortalama 25 km/h, azami hız değeri ise 70 km/h'dir.

Demiryolu araçlarının sahip olduğu hızları sınırlandıracak bazı etkenler vardır. Bunlar;

- Kurplar,
- Eğimler,
- Yol alt yapısının durumu,
- Yol ekipmanlarının durumu,
- Araç durumu ve hava şartlarıdır.

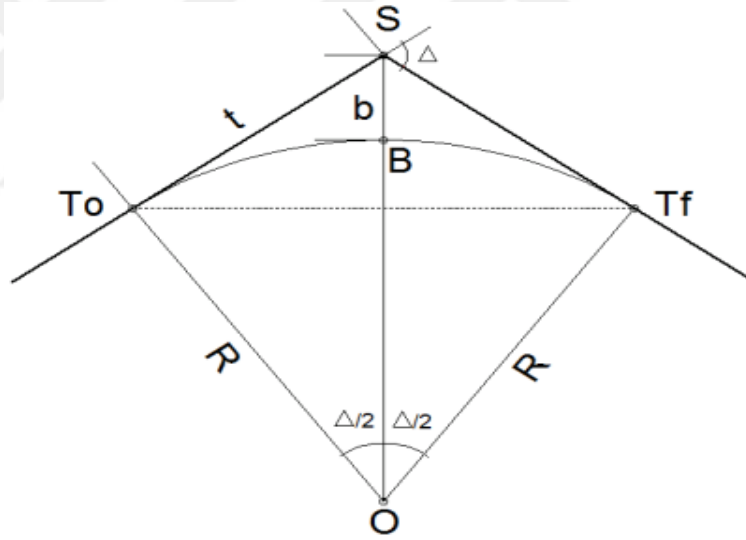
#### **3.1.1.2. Eğrilik yarıçapı**

Demiryolu hatları temelde aliyman ve kurplardan oluşmaktadır. Aliyman demiryolu hattının doğru, düz olan kısımlarıdır. Kurplar, birbirini kesen aliymanlar arasında geçişi sağlayabilmek amacıyla doğru yolları birleştiren yolun eğri bölümüdür. Kurplar yatay

ve düşey kurp olarak ayrılır. Yatay kurplar, yol ekseninde km artış yönünde kurp merkezinin sağda veya solda kalmasıyla oluşan kurplardır. Düşey kurplar ise eğimli olan yollar arasındaki geçişi sağlar (Coşkun, 2017).

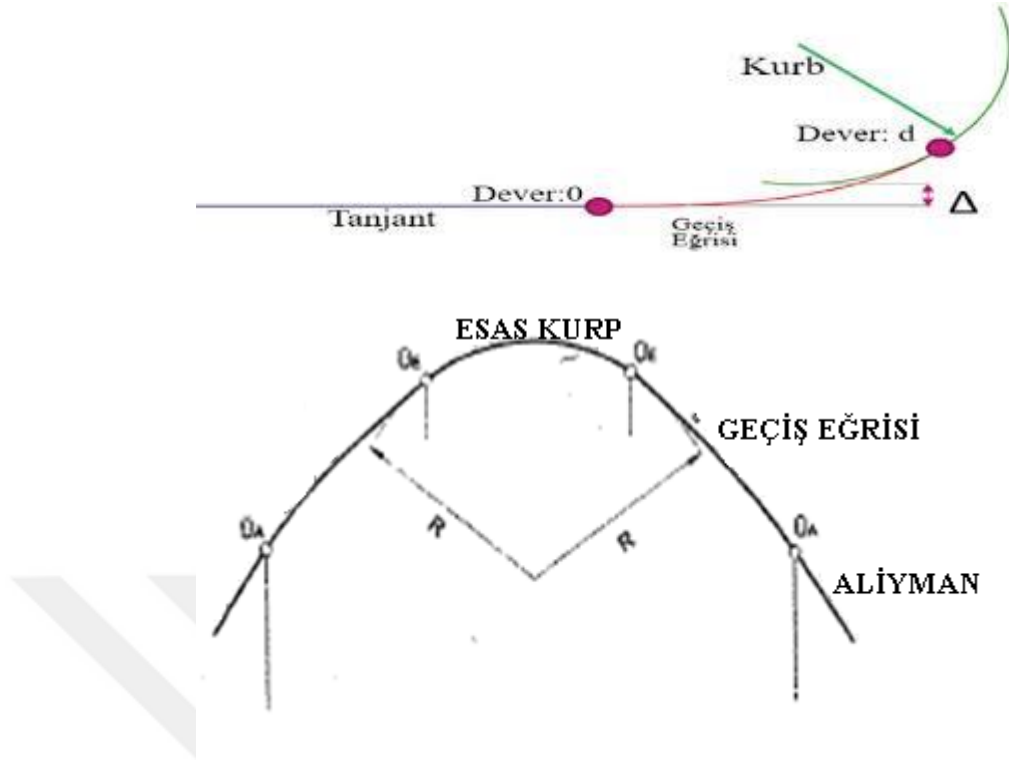
Şekil 3.1’de demiryolu kurplarının gösterimi bulunmaktadır ve To noktası kurba giriş, Tf noktası kurbun çıkış noktasıdır. O noktası kurp merkezi ve R kurp yarıçapıdır. Tanjant uzunluğu olarak t uzunlukları belirtilmiştir. S noktasının kurba olan uzaklığı b ile gösterilen bisektris uzunluğudur. Devolapman uzunluğu, D ile gösterilerek To ve Tf arasındaki uzaklığı ifade eder (Kılınç, 2017).

Aliymanlarda eğrilik değeri 0 ve kurplarda ise belli bir değerdedir. Yolun doğru olan kısmından doğrudan kurplara giriş yapıldığında kurpdaki yarıçap (R) değeri değişecektir. Bu değişiklikle beraber konfor açısından da bir sarsıntıya maruz kalacaktır ve bunun önüne geçilebilmesi adına geçiş eğrileri bulunmaktadır.



**Şekil 3.1.** Demiryolu kurp gösterimi

Geçiş eğrisinin bir kısmı aliyman içerisinde bir kısmı da kurp içerisinde yer alarak sarsıntısız, konforlu bir ulaşım sağlamaktadır (Coşkun, 2017).



**Şekil 3.2.** Geçiş eğrisinin kurp üzerinde gösterimi

Şekil 3.2’de tanjant olarak geçen kısım yolun doğru kısımlarıdır. Aliymandan kurbun ayrılmaya başladığı nokta tanjanttır. Kurp ile doğru hat arasında konforlu geçişi sağlayan geçiş eğrisi bulunmaktadır.

Ulaşım sistemlerinde kaza faktörü önemli bir yere sahiptir. Ulaştırma sistemlerinde ise kaza oranı, demiryolu ulaşım sistemlerinde daha düşüktür. Bu durumda şehir içi ulaşımında kullanılan tramvay, metro gibi ulaşım araçlarında kaza oranı daha düşüktür. Kurplarla alakalı meydana gelen demiryolu kazalarının temelinde kurplardan gereken hız ile geçiş yapılmaması ve kurplarda raylara verilen deverin miktarıdır. Kurplarda ulaşım araçları merkezkaç ve merkezci kuvvetlerine maruz kalırlar (Güler ve Jovanovic, 2005).

Merkezkaç kuvveti merkezden dışarıya doğru etki eden, savuran bir kuvvettir. Gergin olan bir ipe bağlı ağırlık dairesel olarak çevrildiğinde ipte bir gerilme söz konusu

olacak, bulunduğu yörüngeden de çıkmak isteyecektir ve buna sebep olan kuvvet merkezkaçtır. Merkezkaç kuvveti demiryollarında, aracın kurplara giriş yaptığında merkezden dışarıya doğru savurmak istemesidir. Bu durumun çözümü olarak da dış raya yani kurp merkezine göre dışta kalan raya belirli bir miktarda dever verilmesidir. Dever verilerek aracın merkezden savrulmadan konforlu olarak ulaşım hizmetinin gerçekleştirilmesi sağlanacaktır. Demiryolu hattına 3 farklı şekilde dever verilebilmektedir. Bunlar;

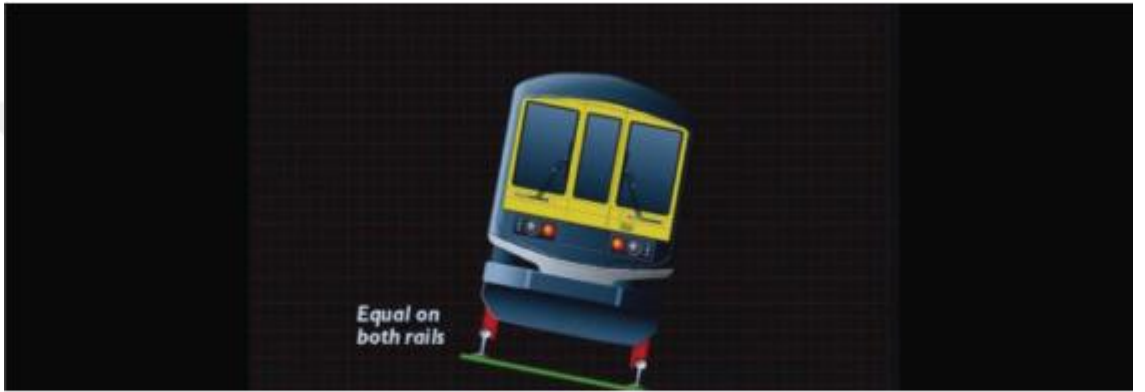
- Demiryolu hat eksenini sabit kalarak iç rayın düşürölüp dış rayın yükseltilmesiyle,
- Sadece iç ray yüksekliğinin düşürölmesi,
- Son olarak ise dış ray yükseltilerek deverin verilmesidir (Yayla, 2004).

Merkezkaç kuvveti kurplarda hareket edilmesi gereken hıza bağılı olarak dış raya verilecek olan deverden daha az dever verilmesi durumunda ve kurplarda belirlenmiş olan en yüksek hızdan daha fazla hız yapılması halinde merkezkaç kuvvetinin etkisi yani savrulma ihtimali artmış olacaktır. Hız ve dever miktarı birbiriyle doğru bağılantılı ve hıza göre dever miktarı, verilen devere göre de hız belirlenmelidir. Dever miktarı yarıçap ile ters orantılıdır. Dar kurplarda yüksek dever, geniş kurplarda daha az dever miktarı uygulanır.

Merkezkaç kuvvetinin olumsuz etkileri;

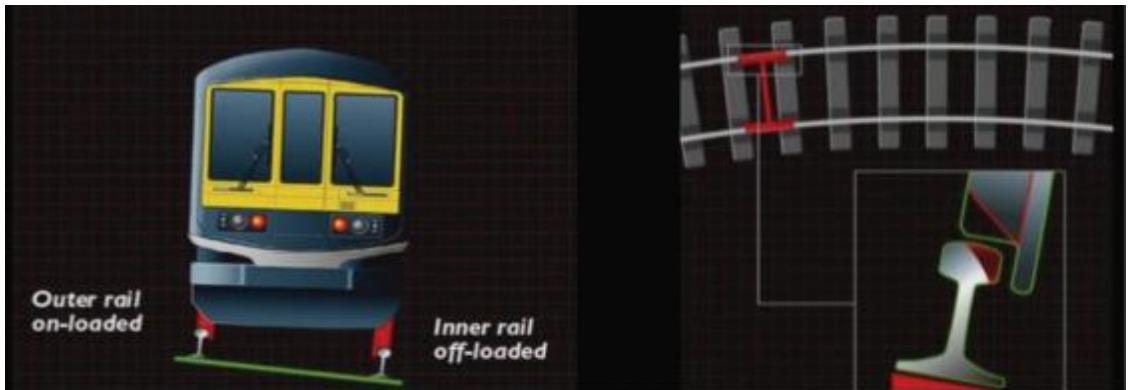
- Hareket halinde bulunan demiryolu aracının merkezden dışa doğru savrulmasına ve tekerleğin raydan çıkarak deray olayının yaşanmasına sebep olur.
- Yolcuların konforlu bir ulaşım hizmetinden yararlanıyorken bu kuvvetin etkisiyle konfor bozukluğu yaşanacaktır.
- Merkezkaç kuvvetini önlemek amacıyla dış ray üzerinde değışiklik yapılırken merkezkaç kuvvetinin etkisi artmış olduğıunda dış rayda aşınma, bağılantı elemanlarında hasar oluşumu, dış ray hizasında bulunan balast tabakasında iç raya nazaran daha fazla parçalanmasına ve merkezden dışa doğru etki eden kuvvet sonucunda dış rayda bulunan tekerlek bodeni tekerlek mantarının iç yanağına basınç yapmasından bodenlerde aşınma gözlemlenir.

Merkezkaç kuvvetinin zıt yönüne doğru merkezci kuvvet vardır. Merkezci kuvvet dıştan merkeze doğru olan kuvvettir. Merkezkaç kuvveti verilen deyer miktarı yetersiz olduğunda ortaya çıkıyorken merkezci kuvvet de deyer miktarı fazla olduğunda ortaya çıkmaktadır. Merkezkaç kuvvetinde hız belirlenen sınırdan daha fazla iken görülmesine karşılık, merkezci kuvvet hız değerinin normalin altında olması durumunda görülür. Merkezci kuvvetin olumsuz etkileri merkezkaç kuvvetinin tersi olarak iç rayı, iç ray tarafındaki bağlantı parçalarını ve iç ray tarafında ki balastı etkilemektedir (Kozak, 2016).



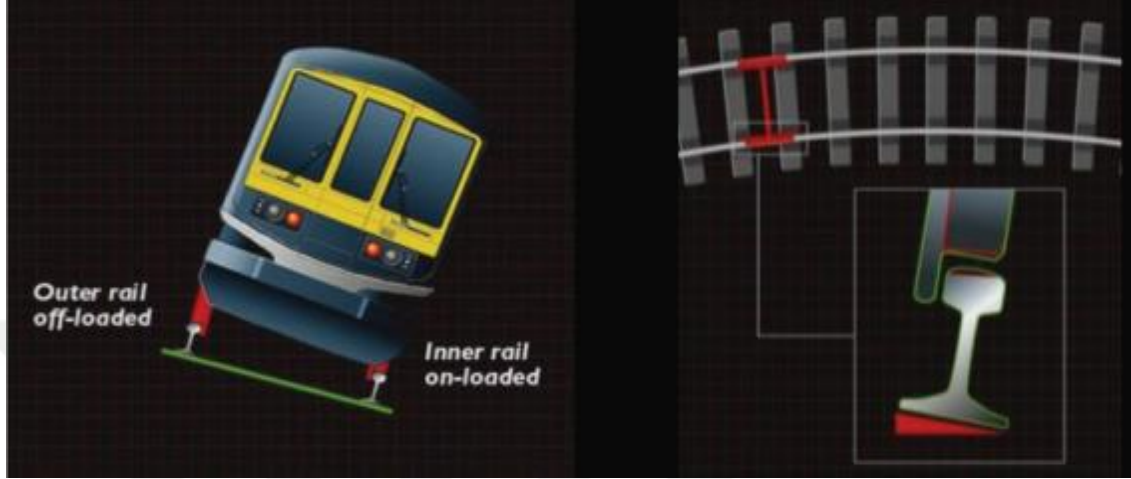
**Şekil 3.3.** Kurplarda verilmesi gereken ideal deyer miktarı

Demiryolu hattında kurplara verilen deyerin ideal olması, iç ve dış ray üzerinde herhangi bir basınç oluşmama sonucu konforlu bir ulaşım hizmeti sunmaktadır. Şekil 3.3’de iç ve dış ray kesitlerinde herhangi bir basınç bulunmamaktadır.



**Şekil 3.4.** Kurplarda yetersiz verilen deyer durumu

Şekil 3.4’de kurplarda dış raya verilmesi gereken dever miktarının az verildiği gözükmemektedir. Merkezkaç kuvveti merkezden dışa doğru savuracak şekilde bir etki ettiği için dış ray üzerinde tekerlek bodenin ray ile temas ettiği noktada bir basınç görülmektedir.



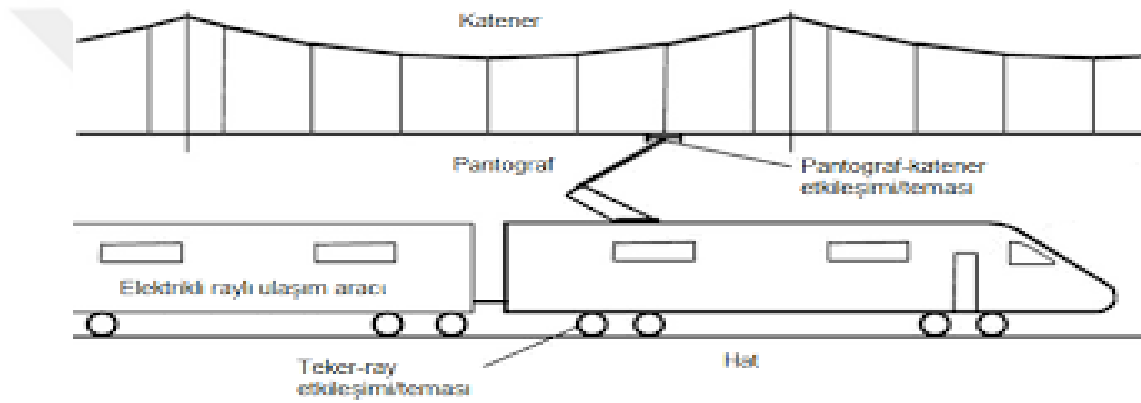
**Şekil 3.5.** Kurplarda gereğinden fazla dever verilme durumu

Şekil 3.5’de demiryolu hattının kurp bölümünde dış raya verilecek olan dever miktarı fazla verilerek merkezkaç kuvvetinin etkisi oluşmamış, fakat merkezci kuvvetin etkisi artarak iç ray profilinde kuvvetin etki ettiği bir basınç gözükmemektedir.

Demiryolu hatlarında kurplarda meydana gelen merkezkaç kuvvetinin etkisinde kalmamak için dış raya verilen dever miktarı en az 25 mm olarak önerilmektedir. Azami dever miktarı ise TCDD’nin kabul ettiği standartlar için 130 mm iken bu değer kent içi raylı sistemlerde (LRT, Metro vb. ) 150 mm kadar kullanılabilir. Kent içi raylı ulaşım sistemlerinde bu değer daha yüksek olması yüksek hız değerlerine ve asgari yarıçaplı kurplarda hareket yeteneğini düşürecektir. Tramvay ulaşım aracı için ise İETT ve İTÜ ile birlikte gerçekleştirdiği fizibilite çalışmalarında en az kurp yarıçapı olarak 20-25 m belirlenmiştir (Çağlayan, 1995; Coşkun, 2017).

### 3.1.1.3. Çekim, cer gücü

Demiryolu ulaşım araçlarında gücü, fosil yakıtlardan ve elektrik gücünden sağlanmaktadır. Elektrik gücünün fosil yakıtlara göre çevre ve insan sağlığı açısından daha zararsız olması, kent içi toplu ulaşım sistemlerinde elektriğin yaygın kullanılmasına sebep olmuştur. Kent içi raylı ulaşım araçlarında elektrik enerjisi piller ve depolama teknolojisi ile depolanıp ulaşımda kullanılabilmektedir. Kent içi raylı ulaşım sistemlerinde Şekil 3.6'da gösterilen, katener ve pantograf en yaygın kullanımıdır. Enerji ise bu katener ve pantograf ikilisinin arasındaki temasın sürekliliğine bağlıdır.



Şekil 3.6. Katener hattı

Elektrik enerjisini sağlayan katener hattı transformatörden elektrik akımının akışına izin veren sistemden oluşur. Pantograf sistemi de hareket halindeki araca elektrik gücünün temin edilmesinde görev alır. Katener hattındaki tellerden anlık olarak elektrik akımı aktarılarak kesintisiz ulaşım hizmeti verilmektedir. Katener hattı ile teması sağlayan pantograf karbon grafit malzemedendir yapılmıştır. Bu şekilde aşınmayı azaltıcı katı yağlayıcı görevi görmektedir. Karbon şerit veya pantograf kömürünün en önemli özelliği; katener hattını fazla aşındırmaması, sürtünme kuvvetini düşürmesi ve elektrik iletkenliğinin yüksek olmasıdır.

Uzun mesafeli demiryolu ulaşım sistemlerinde yüksek voltajlı alternatif akım kullanılırken kent içi hafif raylı ulaşım sistemlerinde doğru akım tercih edilmektedir.

Bunun temel sebebi; alternatif akımın ekonomik, uzun mesafede iletim olarak enerjinin taşınmasında kolay olmasıdır. Doğru akımın kent içi hafif raylı sistemlerde tercih sebebi olarak; kent içinde yer almasıyla birlikte yoğunlukta olan yaya ve araç güvenliği açısından düşük voltaj değerlerine sahip doğru akım kullanılmaktadır. Tramvay sistemlerinde genellikle 750 V DC akım kullanılmaktadır (Er ve Çakır 2018).

#### 3.1.1.4. Enerji tüketimin de verim

Ulaşım sistemlerinde işletme maliyetini enerji harcamaları oluşturmaktadır. Verim kavramı birim başına çıktı olarak değerlendirilmektedir. Ülkemiz de toplam tüketilen enerjide ulaşım ağının payı büyüktür. Enerji tüketiminde verim; büyük paya sahip olan ulaşımın ucuz, kolay bir şekilde ve ulaşımın belirlenen noktaya taşınacak olan yolcu veya yükün en az enerji tüketilerek gerçekleştirilmesidir.

Ulaşım hizmetlerinde karayolları toplam tüketilen enerji miktarının %82'sini oluşturmakta iken demiryolu ulaşımı için bu oran %2'dir. Karayolu ulaşımına göre demiryolu ulaşımında enerji verimliliği daha yüksektir. Elektrik enerjisi ile gerçekleştirilen ulaşımında demiryolunun önemi ve payı oldukça büyüktür.

Belirlenen hat üzerinde ulaşım hizmetinden yararlanan yolcular için birim enerji kavramı km'de ki yolcu sayısı veya km'de ki araç sayısı şeklinde belirlenmektedir (TMMOB, 2019).

**Tablo 3.2.** Ulaşım türüne göre yolcu taşımacılığında enerji tüketimi (TMMOB, 2019)

| Ulaşım türü     | Enerji tüketimi (kcal/kişi-km) |
|-----------------|--------------------------------|
| Otomobil        | 567                            |
| Karayolu Otobüs | 155                            |
| Demiryolu       | 48                             |

Tablo 3.2'de de görüldüğü gibi karayolu taşımacılığı demiryolu taşımacılığına göre enerji tüketimi yüksek olup enerji verimliliği düşüktür. Saatte tek yön için taşınabilecek

60.000 yolcu karayolu taşımacılığında 12 şeritli otoyola ihtiyaç duyulurken, çift hatlı bir demiryolu ile taşımacılık hizmetini sunmak mümkündür. Bu verilere göre de hatların inşa edilmesinde, maliyet kısmında büyük farklar ortaya çıkacaktır.

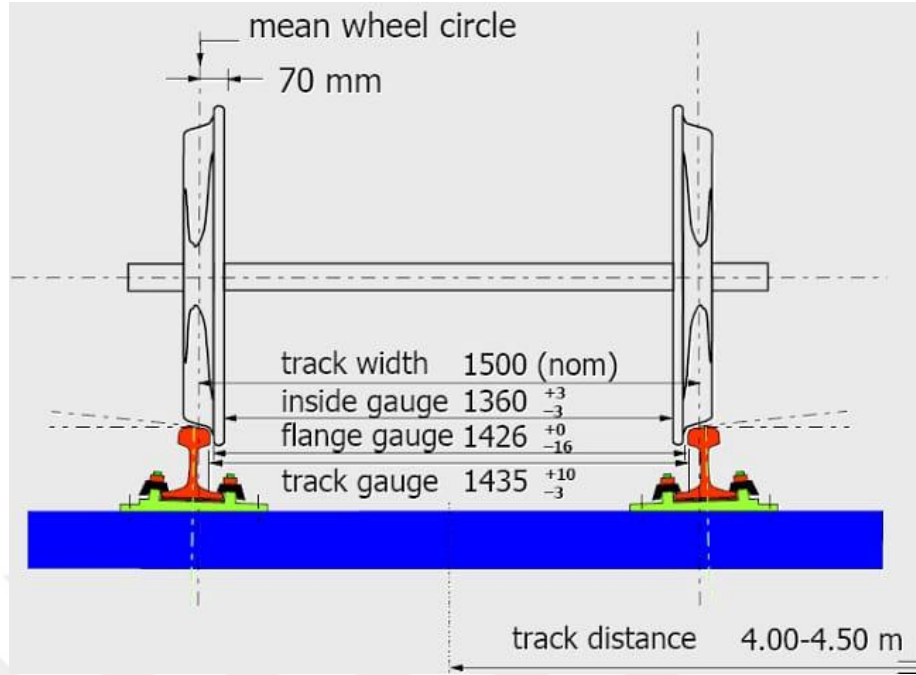
Tablo 3.3'te tramvay ulaşım aracının km başına tükettiği enerji miktarında ki farklılık araç uzunluğuna göre değişiklik göstermektedir. 32 m olan bir tramvay aracı için enerji tüketimi 3,4 kWh iken 45 m olan bir araçta bu değer 4 kWh değerlerine çıkmaktadır (An, 2011).

**Tablo 3.3.** Tramvay aracının enerji tüketimi (An, 2011)

| Araç çeşidi | Enerji tüketimi |
|-------------|-----------------|
| Tramvay 32m | 3,4 kWh/km/araç |
| Tramvay 45m | 4,0 kWh/km/araç |

#### 3.1.1.5. Hat genişliği

Raylı sistem araçlarında ulaşım tekerleğin bir ray üzerinde yuvarlanarak hareket etmesine dayanmaktadır. Bu yuvarlanma hareketi ile ulaşımın sağlanması ve devamlılığı, araç ile hattın birbiriyle olan uyumuna bağlıdır. Bu uyumun sağlanabilmesi için hattın sabit bir genişliğine sahip olması gerekmektedir. Demiryollarında bir hattın genişliği ekartman ölçüsü olarak ifade edilir ve standart olarak 1.435 mm değerindedir. Buna UIC ekartmanı da denilir. Hat genişliğine yönelik tüm ölçüler ray zemininden 10-14 mm aşağıdan alınan ölçülerdir. Bunun sebebi ray zemininde meydana gelebilecek olan aşınmadan dolayı ölçüm değerlerinde doğru sonuçlara ulaşabilmektir. UIC ekartmanı için tekerlek eksenleri arasındaki değer 1.500 mm, tekerlek bodenleri arasındaki değer 1.426 mm, tekerlek iç yüzeyleri arasındaki değeri 1.360 mm'dir. UIC ekartmanından daha düşük olan hatlar için dar, daha yüksek değere sahip hatlar için de geniş hat kavramı kullanılmaktadır. Demiryolu hat açıklığı Şekil 3.7'de gösterilmiştir (Kılıç ve Günaydın, 2018).



Şekil 3.7. Demiryolu hat açıklığı(ekartman)

#### 3.1.1.6. Eğim

Yerleşim bölgelerinin coğrafik yapısındaki farklılıklar raylı ulaşım araçlarının seçiminde önem arz etmektedir. Böylelikle de her yerleşim yeri için raylı ulaşım araçlarının sistemi uygun olmamakta ve eğim oranı yüksek olan rampalar sorun teşkil etmektedir. Raylı ulaşım araçlarında ray ile tekerlek arasındaki etkileşim azdır ve bunun da bazı olumlu olumsuz sonuçları bulunmaktadır. Bu etkileşimin düşük olmasının olumlu sonucu; yüksek ağırlıklı yüklerin düşük kuvvetlerle taşınabileceği iken rampa (eğim) çıkabilme, frenleme ve hızlanma kısmında olumsuz sonuçlar ortaya koymaktadır.

Hızlanma ve frenleme durumunda ray tekerlek arasındaki aderans kuvvetinin artırılması için kumlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu aderans kuvvetini artırmaya yönelik yapılan kumlama sistemi ise eğimi yüksek olan bölgelere çıkılırken yeterli gelmemektedir (Kahraman vd., 2018; Kırılangoğlu, 2016)

Tramvay sistemlerinin çıkabileceği azami eğim miktarı %8'dir. Bu oranın üzerinde bulunan bölgelerde tramvay kullanılamamaktadır. Eğimi fazla olan yerleşim noktalarında örneğin Dünya'da San Francisco da kablolu tramvayların kullanımı var iken zamanla bu kablolu tramvaylar yerini elektrikli HRS sistemlerine bırakmıştır. Kablolu tramvaylar %21 eğim oranlarına kadar çıkabiliyorken hız değeri 15 km/h değerine kadar düşmektedir. Tablo 3.4'de kablolu tramvay hat özellikleri gösterilmiştir.

**Tablo 3.4.** Kablolu tramvay hat özelliği (Kahraman vd., 2018)

| <b>Hat</b>             | <b>Tek yön uzunluğu</b> | <b>Azami eğim (%)</b> |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| <b>Powell ve Mason</b> | 2,6                     | 17,5                  |
| <b>Powell ve Hyde</b>  | 3,4                     | 21,3                  |
| <b>California</b>      | 2,4                     | 17,5                  |

Finiküler sistemde olduğu gibi kısa mesafede kablolu tramvaylar kullanılmıştır. Hat uzunluğunun kısa tutulmasının bir diğer sebebi de hatta kullanılan kablonun mukavemet açısından dayanımıdır (Kahraman vd., 2018).

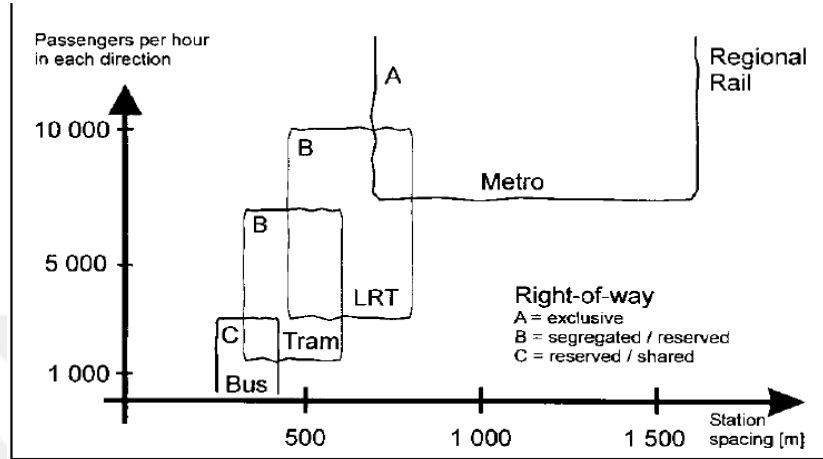
### **3.1.2. Tramvay işletme özellikleri**

#### **3.1.2.1. Kapasite**

Ulaşım yolları üzerinde kapasiteyi belirlemek nispeten kolaydır. Kapasite; saatlik araç sayısıdır, bazı hesaplamalarda ise saatlik araç sayısına bağlı yolcu sayısı şeklinde ifade edilmektedir. Bir altyapı tesisinin kapasitesi trenlerin kabul edilebilir bir dakiklikte çalıştırılma yeteneğidir. Demiryolu kapasitesi alt yapıya ve zaman çizelgesine bağlı olduğundan tanımlamak zordur. Tren sayısı, kararlılık (devamlılık), ortalama hız ve heterojenlik birbirine bağlı olmalıdır (Landex vd., 2006).

Kent içi ulaşım sistemlerinde kapasitenin önemi, yoğun trafik problemlerinin arttığı dönemde kapasitesi yüksek olan ulaşım araçları ile bu problemin önüne geçilebilmesidir. Tramvay sistemleri trafik sıklığında ilk planda kullanılan toplu

ulaşım araçlarıdır. Kent merkezlerinden banliyö hatlarına olan desteği ve kent içi kullanımıyla büyük önem taşımaktadır. Tramvayların saatlik yolcu kapasitesi 8.000 kişidir. Ulaşım sistemlerinin kapasiteleri ve durak mesafeleri şekil 3.8’de verilmiştir (Profillidis, 2014).



**şekil 3.8.** Kent içi ulaşım sistemlerinin saatlik yolcu kapasitesi

Demiryolu ulaşımında 4 farklı kapasite türü kullanılmaktadır. Bunlar; teorik kapasite, pratik kapasite, kullanılan kapasite ve mevcut kapasiteden oluşmaktadır.

Teorik kapasite bir hattın kapasitesi için bir üst sınır niteliğindedir. Matematiksel olarak değerlendirilip belirli bir zaman aralığında kesin olarak hatta çalıştırılabilecek tren sayısıdır. Gerçekte ise çalıştırılması mümkün olmayan bir kapasite çeşididir.

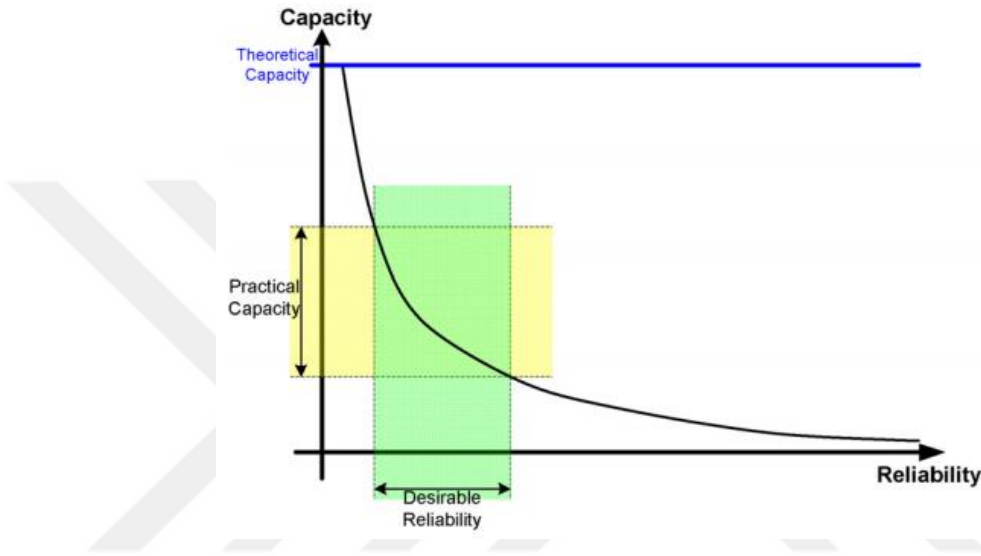
$$C = c * C_v \text{ ve } c = f_{max} * n = 3600 * \frac{n}{h_{min}} \quad (3.1)$$

Pratik kapasitede uygun güvenilirlik seviyesinde demiryolu hattında hizmet verebilecek araçların trafik hacmini içerir. Teorik kapasite üst sınırı ifade ettiğinde pratik kapasite daha gerçekçi bir kapasite değerini ifade etmektedir. Normal alışma şartlarında kalıcı olarak değerlendirilen kapasitedir. Belirli bir alt yapı, trafik gibi işletmenin sunduğu imkânlar sonucunda beklenen en çok trafik hacmi yani kapasitesidir.

$$C_A = C * P.H.F \text{ ve } P.H.F = \frac{R_{saat}}{4 * R_{15dk}} \quad (3.2)$$

Kullanılan kapasite gerçekte olan trafik hacmidir. Pratik kapasiteden daha düşük ve gerçek trafikteki kapasiteyi ifade etmektedir.

Mevcut kapasite, gerçek hatta olan kapasite ile pratik kapasite arasındaki farkı ifade eder. Mevcut bir demiryolu hattında kullanılan kapasiteye ek trafik hacmini göstermektedir. Yeni araçların eklenmesine izin veriyorsa kullanışlı bir kapasitedir, vermiyorsa mevcut kapasite kaybolacaktır (Abril vd., 2007).



**Şekil 3.9.** Kapasite-Güvenilirlik şeması

Şekil 3.9’da teorik kapasite gerçek olmayan bir azami kapasite değerine sahip iken gerçek değerlere yakın olan pratik kapasite daha alt değerlerdedir. İstenilen, arzu edilen güvenilirlik aralığı ise yüksek güvenilirlik ile yüksek kapasitenin birleşim aralığını ifade etmektedir. Gerçek trafikte olan kapasitenin üst sınırı olarak pratik kapasite ifade edildiğinde bu sınırlar içerisinde güvenilirlik sınırının yüksek olan yeşil alan ifade edilmektedir.

#### **3.1.2.2. Konfor**

Demiryolu ulaşım araçlarında konfor, bir ulaşım süresi boyunca ulaşım hizmetini kullanan yolcuların uygun ortam koşullarında seyahat etmesidir. Konfor düşük gürültü miktarı, düşük titreşim, yeterli koltuk sayısı, yeterli ışık, uygun sıcaklık ve temiz hava

ölçütlerinden oluşmaktadır. Konforlu bir seyahatte her bir koltuk için belirli bir alan ayrılması gerekmektedir ve bu ölçüt 0,30-0,55 m<sup>2</sup> aralığında, ayakta bulunan yolcular için de 0,15-0,25 m<sup>2</sup> alana ihtiyaç duyulmaktadır. Yolcu yoğunluğu fazla olan bölgeler için veya pik saatler için öngörülen 0,20 m<sup>2</sup> olmasıdır. Bu değerler araç kapasitesini etkilemektedir. Oturan yolcu sayısının ayakta taşınan yolcu sayısına göre fazla olması kapasitenin düşük olmasını, ayakta taşınan yolcu sayısının oturan yolcu sayısından fazla olması ise yüksek kapasite sonuçlarını doğurmaktadır (Çağlayan, 1995).

Araç sürüşünün kaliteli olması da konforu olumlu etkilemektedir. Raylı sistem araçlarında Konforlu bir sürüşü etkileyen titreşimler alt yapı kaynaklı veya ray ve tekerlek üzerinde oluşan aşınmalardan meydana gelmektedir. Diğer bir titreşime sebep olan noktalarda; yön değiştirirken makasların üzerinden geçmek ve ray bağlantılarındaki kaynak noktalarıdır. İnsan vücudunun titreşime duyarlılık değerleri Tablo 3.5’ de gösterilmiştir.

**Tablo 3. 5.** İnsan vücudunun titreşime duyarlılık değerleri (Öztürk vd., 2009)

| <b>Organ</b>        | <b>Frekans</b> | <b>Organ</b>  | <b>Frekans</b> |
|---------------------|----------------|---------------|----------------|
| <b>Kafatası</b>     | 20-30 Hz       | <b>Kol</b>    | 5-10 Hz        |
| <b>Gözbebeği</b>    | 20-90 Hz       | <b>El</b>     | 30-50 Hz       |
| <b>Omuz</b>         | 4-5 Hz         | <b>Omurga</b> | 10-12 Hz       |
| <b>Göğüs duvarı</b> | 50-100 Hz      | <b>Karın</b>  | 4-8 Hz         |
| <b>Alt kol</b>      | 16-30 Hz       | <b>Bacak</b>  | 2-20 Hz        |

Tablo 3.5’ de görüldüğü gibi insan vücudunda her bir kısım titreşimlere duyarlıdır ve farklı frekans aralıklarına sahiptir. Bir tramvay hattının iyileştirme çalışmalarında, balast tabakasının kaldırılarak beton bir tabakayla birlikte titreşim azaltıcı pedler ve elastik bağlantı elemanları gibi malzemelerle inşa edildiğinde üst yapı yenilenerek konforlu ulaşım elde edilir. Tramvaylarda balastlı ve beton inşa edilmiş hatlarda bu konfor farklılığı görülmektedir. Titreşim ivmesinin konfor açısından değerlendirilmesi Tablo 3.6’da verilmiştir (Öztürk vd., 2009).

**Tablo 3.6.** Titreşim ivmesinin konfor karşılığı (Öztürk vd., 2009)

| <b>Titreşim ivmesinin değeri (<math>m/s^2</math>)</b> | <b>Yolculuk konforu</b> |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>&lt;0,315</b>                                      | Konforlu                |
| <b>0,315-0,63</b>                                     | Çok az konforsuz        |
| <b>0,5-1</b>                                          | Biraz konforsuz         |
| <b>0,8-1,6</b>                                        | Konforsuz               |
| <b>1,25-2,5</b>                                       | Çok konforsuz           |
| <b>&gt;2</b>                                          | Aşırı konforsuz         |

### **3.1.2.3. Güvenirlilik**

Demiryolu güvenirlilik faktörü belirlenen bir zaman diliminde, şartlar doğrultusunda ulaşım hizmetinin yerine getirilebilmesidir. Demiryolu güvenirliliği ayrılmış yol kontrolüne, aracın hareket saatine ve sistemin teknik olarak güvenirliliğine bağlıdır.

Yol kontrolüne bağlılığı kısmında raylı sistem aracının kendine ayrılmış yol üzerinde hizmet vermesidir. Tramvay sistemleri kent içerisinde diğer toplu ulaşım araçları ile birlikte olması trafik üzerinde yapılacak düzenlemeleri içermektedir. Bu durum karşılığında da diğer ulaşım modellerine göre daha güvenirliliğe sahip bir ulaşım sistemidir. Aracın hareket saati, istasyonda gecikme süresine bağlı hareket saatini belirlemektedir. Ulaşım süresinde sarkma durumunun sebepleri ise;

- Raylı ulaşım araçlarında arıza, araç veya yolcu etkileşimleri ve aracın güvenilmezliğinden kaynaklanan sistem arızaları ile ilgili olaylar ile sınıflandırılır.
- Alt yapı hatalarından (sinyalizasyon, demiryolu arızaları vb),
- Çevrede ki kazalardan oluşmaktadır (hat, yolcular vb.) (Restel, 2013).

Raylı ulaşım sistemlerinde güvenirlilik değerinin belirlenmesi gerekmektedir ve sistemi oluşturan tüm alt bileşenlerde değerlendirilmeye dâhil edilmelidir. Alt bileşenlerde oluşan bir hata sistemin güvenirliliğinde, çalışmasında hata oluşturacaktır. EN 50126-1 standardı raylı sistemlerde emniyet yönetim sistemini açıklamaktadır. Bu demiryolu

standardının hedefi ise sunulacak olan hizmetin sistemli olarak alt bileşenleriyle açıklamaktır. EN 50126-1 standardı raylı sistem için uzun vadeli çalışma karakteristiği şeklinde RAMS başlığında toplanmıştır. RAMS başlığında ki parametreler belirli bir aralıkta döngüsel devam etmektedir. RAMS analizinin doğruluğu ise sistemin yapısı bileşenleri ve bu bileşenlerin hata tip değerlerinin doğru olarak belirlenmesidir. Demiryolu uygulamalarında kullanılan diğer standartlar; EN 50128 (demiryolu kontrolü ve koruması için yazılım) ve EN 50129 (sinyalizasyon için güvenlikle ilgili elektronik sistemler) şeklindedir (Koyun ve Kaymakçı, 2015).

#### **3.1.2.4. Güvenlik**

Ulaşım sistemlerinin güvenliği, sistemin bakım ve güvenlik eylemleriyle ilgilidir. Güvenlik, ölümlerin, yaralanmaların, maddi mal kayıplarının, doğal çevredeki olumsuz olayların meydana gelmesini önler. Demiryolu ulaşımında güvenlik faktörü, kabul edilemeyecek risklerin ulaşım hizmetinde yer almamasını sağlamaktır. Demiryolu ulaşım sistemi kapsamında, olumsuz olay riskinde bir olay ağacı ve bir hata ağacı kullanılmaktadır. Bu değerlendirmede önemli olan kısım güvenlik faktörünün bütünlük seviyelerinin belirlenmesidir. Demiryolu trafik kontrolü, iletişim, veri işleme parçası için basitleştirilmiş bir SIL tablosu kullanılmaktadır. Demiryollarında ulaşım risk seviyeleri önerilmiş ve bu şekilde kabul edilemez risk, kabul edilebilir risk alanları ve bir sınır bölgesi elde edilmiştir.

Demiryolu hattının parçaları, demiryolu taşıtlarının işletimi ve bakım süreci üzerinde ana etkiye sahiptir. Tramvay hattının bakımı yapılırken gerçekleştirilen temel işlevler, raylarda taşlama, bozulmuş rayların kaynağı, rayların bakımı ve raydan çıkma sonuçlarını ortadan kaldırarak önüne geçilmesidir. Tramvay hattında ki bakım ve onarım işlemleri hattın kullanılmadığı gece saatlerinde yapılmaktadır.

Güvenlik koşullarını etkileyen hız, aslında insan faktörü olarak bilinmektedir. Makas bölgelerinden, virajlardan (kurp) izin verilen hız değerinden daha yüksek bir hız ile geçildiğinde hat yapısında bozulmalara ve aracın hattan çıkmasına (deray) sebep olacaktır.

Tramvay kazalarında, aracın raydan çıkmasının ana dört sebebi bulunmaktadır. Bu sebepler;

- Hat yapısında ki zayıflıklar, hatalı teknik koşullar,
- Raylı ulaşım araçlarının teknikte zayıf ve hatalı olması,
- Belirlenen hızdan yüksek hız yapılması sonucu aracın raydan çıkması,
- Rastgele meydana gelen çevresel etmenlerdir (Restel and Wolniewicz, 2017)

### **3.1.3. Maliyetler**

Kent içi ulaşım sistemleri düşük, orta ve yüksek kapasiteli sınıflandırıldığında taksi, dolmuş için düşük kapasite, otobüs, tramvay için orta kapasite ve metro, banliyö hatları da yüksek kapasiteye dahil edilmektedir. Raylı ulaşım sistemleri yüksek performans, yüksek hizmet kalitesine sahiptir. Raylı ulaşım sistemlerinde ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına karşılık diğer sistemlere göre daha yüksek bir kapasiteye sahip olduğundan kapasite birim başına daha az maliyet çıkmaktadır. Kent içi raylı ulaşım da yüksek kapasite ve düşük maliyette olan tramvay sistemleridir.

#### **3.1.3.1. Yatırım maliyetleri**

Raylı ulaşım sistemlerinde yatırım maliyeti sistemin inşa edilebilmesi için gereken maliyetlerden oluşmaktadır. Yatırım maliyetlerini oluşturan alt faktörler;

- Ray, travers, balast, makas, sinyalizasyon ekipmanları gibi üst yapı elemanlarının ve durakların inşa maliyetleri,
- Ulaşım aracının enerjisini temin edeceği katener hattının inşası ve herhangi bir enerji kesintisine karşılık kullanılan besleme merkezlerinin maliyeti,
- Bakım atölyeleri, depoların inşa maliyeti ve araçların maliyetinden oluşmaktadır.

#### **3.1.3.2. İşletme maliyetleri**

Raylı ulaşım sisteminde işletme maliyetlerini oluşturan başlıklar bulunmaktadır. Bunlar;

- Verilen ulaşım hizmetinde görev yapan tüm personellerin ücretleri,
- Raylı sistem aracının ulaşım hizmetini yerine getirebilmesini sağlayan güç faktörünün maliyeti,
- Raylı sistem aracının periyodik bakımları, onarımları ve araca yönelik tüm maliyetleri,
- Hat bakımları, kontrolleri, testleri, temizliği için personel ve malzemelerin maliyetleri,
- İşletme kurumuna ait maliyetlerden oluşmaktadır (Vuchic, 2007).

#### **3.1.4. Çevresel faktörler**

Ulaşım hizmetinde yer alan araçlarının bazı olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu olumsuz etkiler, can ve mal kaybına sebep olan kazalar ve çevreye verdikleri zararlardır. Çevreye ve topluma karşı zarar veren çevresel faktörler gürültü kirliliği, hava kirliliği ve titreşimlerdir.

Çevresel gürültü, nüfus yoğunluğu fazla olan yerleşim yerlerinde ve yakınlarında trafik gürültüsü, konut ve iş merkezlerinin gürültüsü ile birleştiğinde ciddi bir sorun haline gelmektedir. Kent merkezleri karayolu trafiği, banliyö hat trenleri ve tramvay hatları ile birlikte birçok gürültüyü bir arada bulundurmaktadır.

Çevresel gürültünün değerlendirilmesinde, yönetilmesinde ve seviyelerinin belirlenmesinde 2002/49/EC direktifi kullanılmaktadır. Bu direktif ile gürültü haritaları, gürültü yönetimi eylem planları hazırlanmaktadır. Gürültü haritalarının amacı ise trafik gibi önemli gürültü kaynaklarının etrafında ki gürültünün sınır değerlerini belirlemektir. Ulaşım gürültüsünün azaltılabilmesi için bu yakın çevredeki sınır doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Kent içi ulaşımında aracı olan tramvay sistemlerinde en doğru bilgiye ölçümler aracılığıyla ulaşılmaktadır. Bu ölçüm yöntemi zaman alıcı bir metot olduğu için çoğunluk olarak hesaplama yöntemi ile belirlenmektedir. Trafik hacmi, tramvay aracının teknik yapısı, tramvay hattın teknik yapısı, hız, arazi yapısı ve

hat kaplama türü tramvay gürültü seviyelerini etkileyen parametrelerdir (Panulinova, 2017).

Bir hattın inşasında ulaşım gürültüsünü etkisini azaltmak veya ortadan kaldırmak için çevredeki gürültü yükünün bilinmesi gerekmektedir. Çeşitli ülkelerde belirlenmiş olan bir gürültü sınırı bulunmaktadır. Konforlu raylı ulaşım sistemleri için gürültü seviyesi azami olarak 65 desibel, tahammül edilebilir seviyesi olarak 65-75 desibel iken rahatsız edici sınır için 75-120 desibel aralığında değerler kabul edilmektedir. Bu değerler genel bir raylı ulaşım sisteminde belirlenmiş olan sınır olmasına karşılık gerçekte olan gürültü değerleri eğim, araçların bakımları, hattın bakımı, alt yapıda kullanılan malzemesine ve etkileşim halinde olan tekerlek ve ray gibi faktörlerin etkisi bulunmaktadır. Bu etkiler doğrultusunda otomobillerde 72 desibel iken tramvay ve otobüs de 90 desibel civarındadır (Baştürk, 2014)

Ulaşım sistemlerinde çevresel etki olarak gürültü kirliliğine ek bir diğer faktör hava kirliliğidir. Petrole dayalı olarak yakıtın yanması sonucunda havayı kirleten CO, HC, NO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ortaya çıkmaktadır. İnsan sağlığının en çok tehdit eden gaz ise, renksiz ve kokusuz olan karbon monoksittir (CO). Raylı ulaşım sistemlerinde elektrik enerjisini elde edebilmek için yakıtın yanması sonucunda ortaya çıkan CO miktarı ve kent içi ulaşımında kullanılan otobüslerin yakıt kullanımı sonucunda ortaya çıkan CO miktarları arasında oldukça büyük farklar bulunmaktadır. Bu farklar raylı ulaşım sistemlerinin çevreye duyarlı birer ulaşım sistemi olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır.

2009 yılında raylı ulaşım sistemi kullanan 466.178.000 kişi iken, İETT'yi yıllık olarak 1.013.824.000 kişi kullanmıştır.

Raylı sistemlerde elektrik üretimi için kömür kullanıldığında açığa çıkan CO<sub>2</sub> miktarı 0,971 kg/kWh, doğalgaz kullanılacak olursa ise açığa çıkan CO<sub>2</sub> 0,450 kg/kWh ve yıllık harcanan enerji miktarı 6.228.757 kWh. İETT'nin yıllık motorin kullanımı 98.550.000 litredir. 1 litre yakıt için 2,65 kg/lt CO<sub>2</sub> açığa çıkmasıyla alakalı olarak İETT'de yıllık 261.115.500 kg CO<sub>2</sub> açığa çıkmaktadır. Raylı sistemlerde ise kömür kullanımı

yapıldığında dahi 6.228.757 kWh enerji için açığa çıkan CO<sub>2</sub> miktarı 6.048.125,96 kg olacaktır.

$$98.550.000 * 2,65 \text{ kg/lt} = 261.115.500 \text{ kg CO}_2 \quad (3.3)$$

$$6.228.757 \text{ kWh} * 0,971 \text{ kg/kWh} = 6.048.125,96 \text{ kg CO}_2 \quad (3.4)$$

Yıllık taşınan yolcu sayılarının oranına 2,174'tür. Tüm yolcular raylı ulaşım sistemini tercih ettiğinde açığa çıkacak olan CO<sub>2</sub> miktarı 13.124.433,33 kg olacaktır. Tamamen raylı ulaşım sistemi kullanıldığında İETT kullananlardan farkı olan 247.991.066,7 kg CO<sub>2</sub> azalacağını göstermektedir.

$$1.013.824.000 / 466.178.000 = 2,174 \quad (3.5)$$

$$6.048.125,96 \text{ kg CO}_2 * 2,174 = 13.124.433,33 \text{ kg CO}_2 \quad (3.6)$$

$$261.115.500 \text{ kg CO}_2 - 13.124.433,33 \text{ kg CO}_2 = 247.991.066,7 \text{ kg CO}_2 \quad (3.7)$$

Kişi başına düşen CO<sub>2</sub> miktarları İETT'de 257,5 iken tamamen raylı sistemler kullanımında 12,9'dur. Arasındaki 244,6 gramlık fark tamamen raylı sistem kullanımı olduğunda CO<sub>2</sub> miktarında ki azalmayı göstermektedir. Tüm bu veriler ile birlikte kent içi ulaşımında raylı sistemlerin karayolu ulaşımından daha az çevreye zararı olduğu bilinmektedir. Kent içi raylı sistemin kullanımda elektrik enerji kullanımında doğrudan herhangi bir CO<sub>2</sub> salınımı olmadığına, sadece ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin üretiminde kullanım olduğunun ve bu sistemin çevreci olduğunu göstermektedir (Sertsöz ve Kuşdoğan, 2012).

$$261.115.500 \text{ kg CO}_2 / 1.013.824.000 = 257,5 \quad (3.8)$$

$$13.124.433,33 \text{ kg CO}_2 / 1.013.824.000 = 12,9 \quad (3.9)$$

$$257,5 - 12,9 = 244,6 \quad (3.10)$$

## 4. BULGULAR

### 4.1. Translohr

Modern tramvaylar saatte en az 3.000 ile 10.000 kişi/saat arasında yolcu kapasitesi ve saatte 70-80 km/h hızla hizmet vermektedirler. Yolcular yatay eksen üzerinde inip binebilir, gerekli olan enerjiyi ise katener hattından veya depolama pillerinden temin edilmektedir. Doğrudan bir yakıt yakılarak enerji elde edilmediğı için sıfır emisyonu sahip sistemlerdir. Hareket sırasında meydana gelen gürültü, arka planda bulunan gürültüden daha düşüktür.

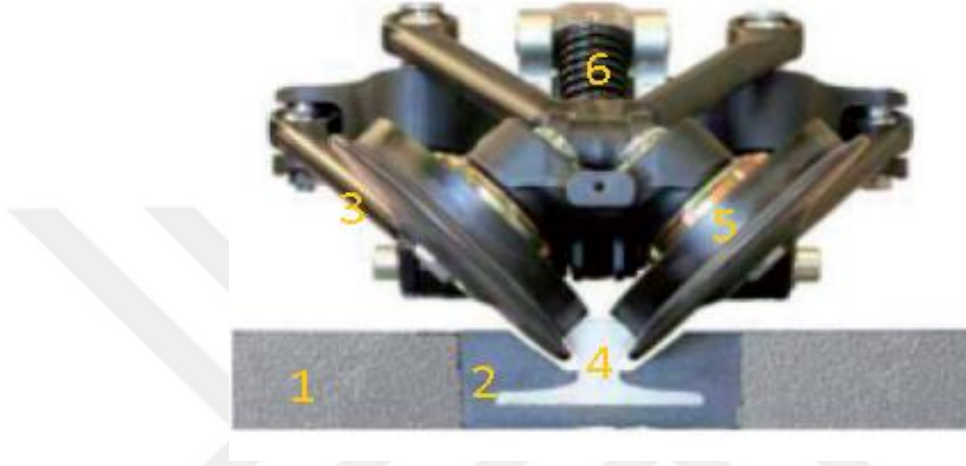
Modern tramvaylar iki farklı moda sahiptir. Bunlardan biri çelik bir ray üzerinde hareket eden çelik bir tekerlekten oluşan tramvay sistemidir, diğeri ise kılavuz hat üzerinde lastik tekerlerle hareket eden Şekil 4.1’de ki translohr aracından oluşmaktadır (Weiwei vd., 2016; Johansson och Lange, 2008).



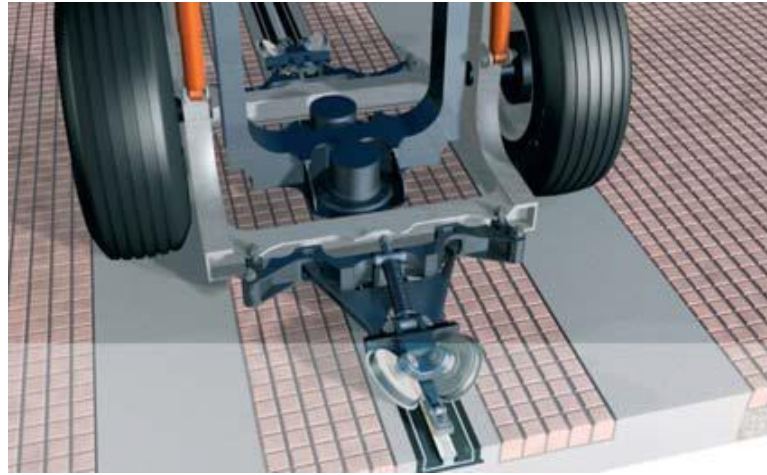
Şekil 4.1. Translohr aracı (Johansson och Lange, 2008)

Translohr sistemi, Fiat-Ferrovial üreticisine bağı olan Lohr Endüstri üreticisi tarafından üretilmiştir ve 2001 yılında ise protatif ilk örneğine Paris’in güneyinde

bulunan Marne’de ki Trans Val bölgesinde rastlanmıştır. Translohr aracı merkezi tek bir ray üzerinde kılavuzlanarak ulaşım ilk 2006 yılında Clermont-Ferrand'da gerçekleştirilmiştir. Her aks dönen bir kol üzerine sabitlenmiş Şekil 4.2’de ki “V” şeklinde bulunan parçanın yönlendirmesinden oluşmaktadır. Lastik tekerlekli, elektrik enerjili ve “V” kılavuzlu sisteme dayalı olan bir tramvay aracı Şekil 4.3’te gösterilmiştir (Kühn and Soulas, 2001; Kühn and An 2008).



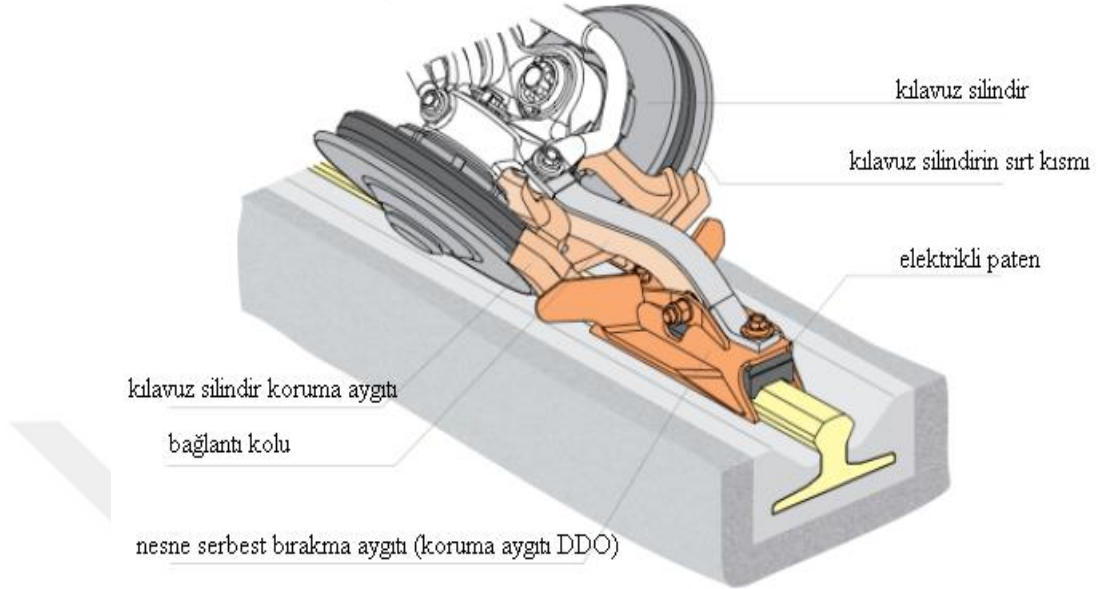
**Şekil 4.2.** Translohr aracına ait kılavuzluk yapan “V” profil ray (Diez, 2010)



**Şekil 4.3.** Translohr aracına kılavuzluk yapan ray ve lastik tekerlekler (Diez, 2010)

Kılavuzluk yapan “V” profile sahip ray tekerlek bölümünde 1 numara karayolunu, 2 numarada reçine parçayı, 3 numarada bir ray profilinde boden olarak ifade edilen

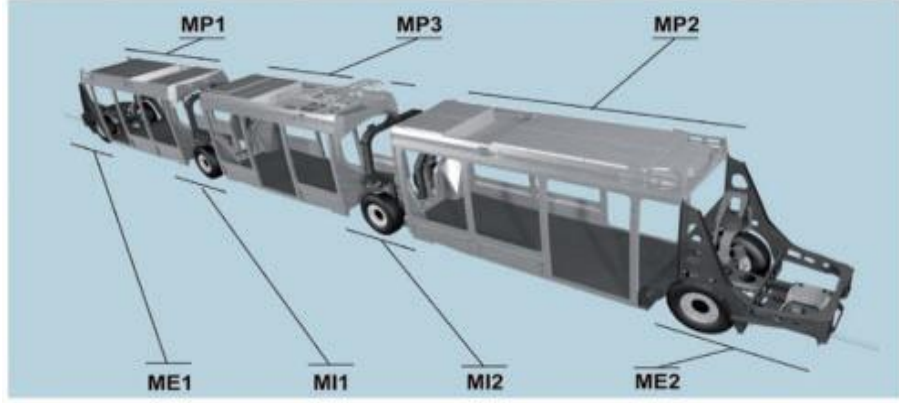
burada ise çene olarak geçen kısmı, 4 numarada rayı, 5 numarada silindir tekerlek ve 6 numarada ise yayı ifade etmektedir.



**Şekil 4.4.** Kılavuz ray ve tekerlek bileşenlerinin detayı (An, 2011)

Şekil 4.4’de kılavuz görevi gören raya ait bileşenlerin detayı bulunmaktadır. “V” kılavuzluk yapan silindir tekerlekler ve bu tekerleklerin dış kısmında koruyucu bir parçadan oluşmaktadır. Tramvay sistemlerinde katener hatlarından alınan elektrik enerjisinin geri dönüşü katener aracılığı ile gerçekleşirken translohr sistemlerinde geri dönüş akımı elektrikli paten ile kılavuz raydan gerçekleşir. Bu elektrikli patenin dışında koruma aygıtı olarak “DDO” bileşeni yer almaktadır. Ray üzerinde hareket eden silindir tekerlekler ve geri dönüş akımının sağlandığı parça arasındaki bağlantı ise bağlantı kolu aracılığıyla gerçekleşmektedir (An, 2011).

Translohr aracı Şekil 4.5’de 3 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; uç bölüm (ME), yolcu bölümü (MP) ve etkileşimli olan bölümden (MI) oluşmaktadır. Uç bölümün alt kısmında güç hareket dişlisi, etkileşimli olan bölüm altında da römork şasi bulunmaktadır ve menteşe bağlantıları ile diğer vagonlara bağlantısı gerçekleşmektedir.



**Şekil 4.5.** Translohr aracının bölümleri (Ji vd., 2016)

Ulaşım projelerinde, hafif raylı ulaşımın nitelikleriyle karayolu ulaşım sistemlerinin faydalarını birleştirerek ve bir şekilde raylı sistemlere ulaşmak amacıyla kauçuk-lastik tekerlekli ray kılavuzlu olan translohr ulaşım aracı ortaya çıkmıştır.

Karayolu ulaşım araçları ve raylı ulaşım araçları hibrid bir tür olan translohr sisteminin avantajları aşağıda sıralanmıştır;

- Karayolu ulaşımında kullanılan otobüslere göre daha fazla kapasiteye sahiptir.
- Araç kılavuzu, sisteme ayrılan yüzeyi azaltmaktadır ve ayrı geçiş hakkına sahiptir. Kılavuz ayrıca platformlar boyunca boşluğu bastırırken daha iyi araç dayanımı, platformun kenarı ile zemini arasındaki azaltılmış boşluk sayesinde daha iyi bir erişilebilirlikle beraber hizmet kalitesini artırarak kullanıcılar için genel bir konfor sağlamaktadır.
- İstasyonlarda ise araç ve platform arasında uygun olan bir bağlantıyı sağlar.
- Tarihi kent merkezlerinde translohr aracına ayrılan alanı, caddenin kullanımlarını (parklar, bisiklet yolları, kaldırımlar vb.) veya görsel olarak iyileştirilmesini kolaylaştırır.
- Lastik tekerlekli sistemde hizmet verilen yollar üzerinde sistemin okunabildiğini gösteren izi oluşturmaktadır.

- Otobüs ve tramvay araçları arasında bulunan bu translohr aracında yüksek verimliliğe sahip ve çevreye zararı olmayan katener hattından elektrik enerjisini almaktadır veya dikkat çekmeyen besleme cihazları kullanılmaktadır.
- Sessizlik ve konfor faktörleri açısından otobüs tasarımdan farklı tasarımlar içermektedir.
- Lastik tekerlekli bir ulaşım aracı olması açısından zemine tutunma, yapışmaları daha yüksektir. Buna bağlı olarak ani frenleme durumunda ve eğim çıkabilme durumlarında çelik ray-çelik tekerleğe göre yüksek performans sunmaktadır.
- Lastik tekerleklerin çelik tekerleklere göre daha fazla titreşimi sönümleyebilme, emme özelliklerinden dolayı çevreye çok az bir miktarda titreşim iletilmekte ve titreşime bağlı olan konfor ölçüsü daha düşüktür. Kurplarda oluşabilecek gürültüde de daha düşük olmasından dolayı ulaşım hizmetinden yararlanan yolcular yüksek konforda yolculuk yaparken, aracın çevreye karşı gürültü miktarı da düşüktür.
- Lastik tekerleklerin manevra kabiliyeti olarak çelik tekerleklerden daha üstündür ve kolaylıkla yön değişimi gerçekleştirebilirler. Dönüş yarıçapı lastik tekerlekli translohr araçlarında 18 değerlerinden 11-12 değerlerine kadar düşürülmüştür. Küçük kurp değerlerine sahip olunan yerleşim bölgeleri için ulaşımında bir kolaylık sağlamaktadır (Kühn and Soulas, 2001).

Bu sistemler en az 24,5-25 metre uzunluğunda, genişlikleri 2,2 metre, 70 km/h hıza sahip ve azami %13 eğim değerlerine kadar tırmanabilme özelliklerine sahiptirler. Translohr araçlarında hareketi sağlayan elektrik enerjisi 2 farklı mod ile kullanılmaktadır. Bunlar; katenerden doğrudan elektrik enerjisini alarak hareket etmesi ve elektrik enerjisini depolanarak bataryalar aracılığıyla elektrikle aracın hareket etmesidir. Translohr ulaşım sisteminde katener hattı olmadan gerçekleşen ulaşım için, piller aracılığıyla 5 kW'lık bir enerji ile depolanarak ulaşım hizmeti sınırlı bir alanda devam etmektedir. Translohr ulaşım sisteminde ortalama olarak 1 km'lik bir hatta 3,3 kW enerji kullanıldığında 5 kW'lık depolanmış olan enerjide yaklaşık 1-1,5 km

uzunluğunda katener hattına ihtiyaç duyulmadan ulaşımına devam etmektedir. (Kühn and Soulas, 2001; Andriollo vd., 2002).

Tablo 4.1'e göre çelik ray üzerinde çelik tekerlekli tramvay translohr (kılavuzlu lastik tekerlekli tramvay) aracına göre daha küçük eğim değerlerine ulaşırken kurp yarıçapı daha büyük değerlerdedir. Taşınan yolcu kapasitesi çelik ray üzerinde çelik tekerlekli tramvayda daha yüksektir (Weiwei vd., 2016).

**Tablo 4.1.** Translohra ve çelik raylı çelik tekerlekli tramvaya ait bilgiler (Weiwei vd., 2016)

| Parametreler                          | Çelik raylı çelik tekerlekli tramvay | Kılavuz ray üzerinde lastik tekerlekli tramvay (translohr) |
|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Araç uzunluğu                         | 22-50 m                              | 25-46 m                                                    |
| Araç genişliği                        | 2,3-2,65 m                           | 2,2 m                                                      |
| Yolcu kapasitesi                      | 176                                  | 167                                                        |
| Azami hız (km/h)                      | 70                                   | 70                                                         |
| Çıkılabilen eğim değeri               | 8                                    | 13                                                         |
| Asgari dönüş yarıçapı (karp yarıçapı) | 20                                   | 10,5                                                       |
| Güç kaynağı çeşitliliği               | 2                                    | 2                                                          |

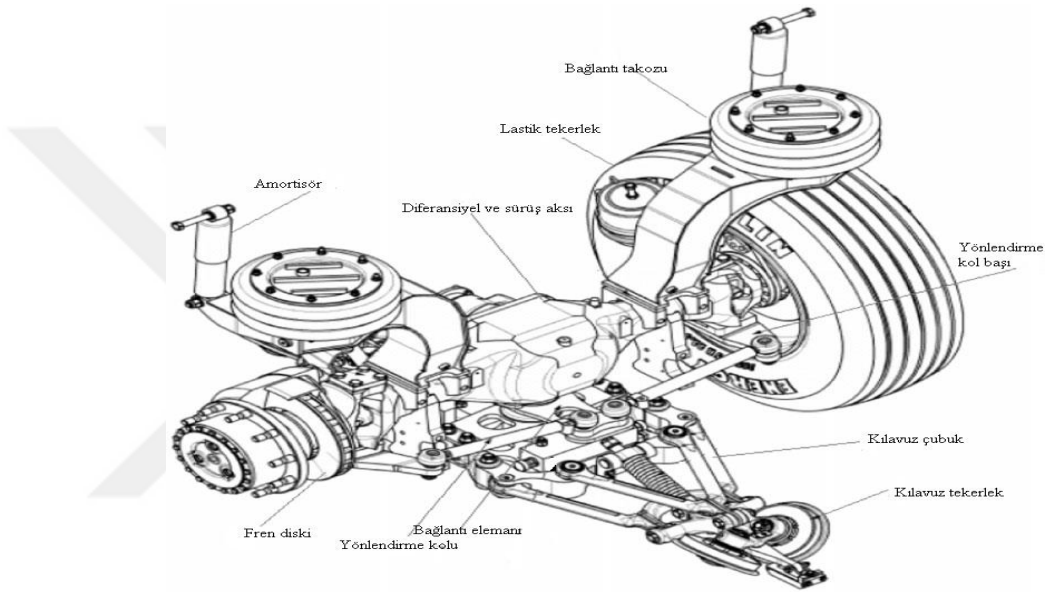
#### 4.1.1. Translohr aracının çalışma prensibi

Translohr aracı çelik raylı çelik tekerlekli geleneksel tramvaya benzer çalışmaktadır. Katener hattından elektrik enerjisi alınarak elektrik motorundan hareketi sağlayan tekerlek parçasına yani kinetik enerjinin mekanik enerjisine dönüştürülmesiyle çalışmaktadır.

Çalışma prensibinde translohr ve geleneksel tramvay aracı arasında ki fark hareketin sağlandığı tekerleklerde bulunmaktadır. Geleneksel tramvayda elektrik motorunda ki

enerji dişliler aracılığıyla tekerlek aksına iletilir ve aksın dönme hareketiyle birlikte tekerleklerde dönerek hareket gerçekleşmektedir.

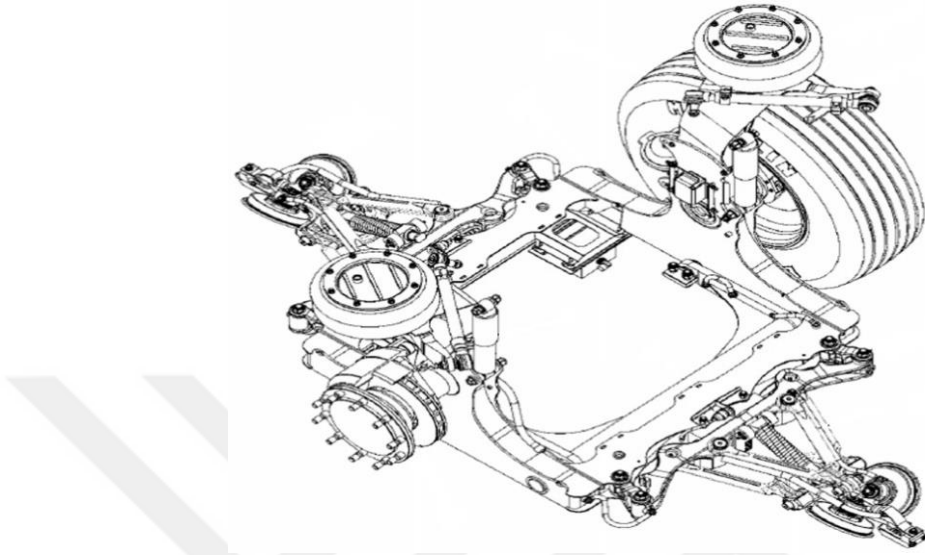
Translohr ulaşım sisteminin çalışması ise lastik tekerlekli otomobile benzer çalışmaktadır. Geleneksel tramvaylardan farkı lastik tekerleklerin zeminde daha iyi tutunarak rampa çıkmada yüksek eğim değerlerini elde etmesi ve dar kurpları kolaylıkla dönmesidir. Diğer bir farkı da geri dönüş akımının kılavuzluk görevi gören raydan verilmesidir.



**Şekil 4.6.** Translohr ME bölümüne ait tekerlek şeması (Ji vd., 2016)

Şekil 4.6’da yer alan tekerlek şeması ME bölümünde aittir. Enerjinin olduğu, vagonlar arasında bağlantının yer almadığı tekerlek şemasıdır. Enerjinin diferansiyele gelerek mekanik enerjiye dönüşmesiyle birlikte diferansiyele bağlı olan akslardan tekerlekler harekete geçmektedir, bağlantı elemanları ve yönlendirme kolunun bulunduğu kısım kılavuz çubuğu aracılığıyla kılavuz görevi gören raya bağlantısı bulunmaktadır. Tekerlek ve ray arasında ki bağlantı bu şekilde gerçekleşmektedir. Yönlendirme kolları, otomobillerde rot kolları olarak ve bağlı olduğu kısımlar rot başı olarak geçmektedir. Tekerlekte ki hareketi raya ve kılavuz görevi gören ray yön değişikliği olduğunda kılavuz çubuklar ile aradaki parçaya yön bilgisi vererek yönlendirme kolları da

tekerleğin gerekli yöne dönmesini sağlamaktadır. Fren diski frenlemede, amortisörler sönüm görevinde ve bağlantı takozu ise vagonlar ile bağlantının gerçekleşeceği kısımdır.



**Şekil 4.7.** Translohr MI bölümüne ait tekerlek şeması (Ji vd., 2016)

Şekil 4.7’de translohrun vagonlar arasında ki bağlantıyı sağlayan MI bölümüdür. ME bölümü daha karmaşık bir alana sahiptir. ME bölümünde enerjinin aktarımına yönelik kısımlar yer alırken MI bölümünde tekerlek parçası, kılavuzluk görevi gören bir ray, lastik tekerlekler ve bu tekerlekler arasında bağlantısı sağlayan parça yer almaktadır. Tekerlek baş kısımlarına doğru fren diskleri, amortisörler, bağlantı parçası gibi parçalar yer almaktadır (Ji vd., 2016).

#### **4.1.2. Translohr araç çeşitleri ve kapasiteleri**

Bir ulaşım sisteminde kapasite, sistem performansı, hız, güvenlik, konfor gibi faktörler hizmet düzeyi ile alakalıdır. Bazı durumlarda ise hızın düşük olması, güvenliğin ve konforun yeterli düzeyde olmaması gibi nedenlere bağlı kapasite miktarında düşüş görülmektedir. Kapasitede düşüş yaşanan durumlarda ise bu aracın hız değeri, konfor ölçütü (oturan ve ayakta yolcu sayısı,  $m^2$ ’de bulunan yolcu sayısı) ve güvenlik faktörü artırılmaktadır.

Translohr araçları bir dizi halinde bulunmaktadır ve bu dizide bulunan araç miktarına veya araç uzunluklarına göre farklı isimlendirilmektedir. Bunlar;



**Şekil 4.8.** Translohr araç çeşitleri (An, 2011)

Şekil 4.8’de translohr STE3, STE4, STE5, STE6 araçlarını oluşturan 3, 4, 5, 6 seti ifade etmektedir. Benzer bir diğer ifade ile translohr S ve ST diye bir ayırım yapılır. Bu ayırımı dikkat edilen, araç uzunlukları ve aracın tek yönlü veya çift yönlü kullanım özelliğinin bulunmasıdır. Translohr S prime olan modellerde tek yönlü kumanda durumu söz konusu iken STE olan modellerde çift yönlü kumanda edilebilmektedir. Genel bilgilerde Fransa Clermont-Ferrand’da kullanılan translohr STE4 modeli; 4’li setten oluşan 32 metre uzunluğuna sahip olan ulaşım aracının bilgileridir.

**Tablo 4.2.** Translohr araç modelleri ve kapasiteleri (Kühn, 1998)

| Translohr araç modeli | Araç kapasitesi | Saatlik yolcu kapasitesi (tur sıklığı 3 dk) | Saatlik yolcu kapasitesi (tur sıklığı 1 dk) |
|-----------------------|-----------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Translohr S (25 m)    | 146-262         | 2.900–8.700                                 | 5.240–15.720                                |
| Translohr ST (30 m)   | 150-275         | 3.000–9.000                                 | 5.500–16.500                                |
| Translohr ST (38 m)   | 196-362         | 3.900–11.700                                | 7.240–21.720                                |

Tablo 4.2’de araç kapasitelerinde oturan yolcu oranı %30-%40 civarında olup, ayakta ki yolcu sayısı ise m<sup>2</sup>’de 4 yolcu olduğu durumda ilk veriler elde edilmektedir. Araç kapasitesinde ki 2. Değerler ise oturan yolcu sayısının oranı %25 düşürülüp ayakta yolcu sayısının ise m<sup>2</sup>’de 8 yolcu olmasıyla birlikte araçların yolcu kapasiteleridir. Bu değerler doğrultusunda 3 dakikada bir tur gerçekleştiğinde aracın saatlik bir yönde taşınan yolcu sayısına ulaşılmıştır. Her bir dakikada 1 tur gerçekleştirildiğinde ise 1 saatte 60 tur olarak araç kapasitesinin 60 katında ki veriler elde edilmektedir (Kühn, 1998).

**Tablo 4.3.** STE tipi translohr araç çeşitleri (Diez, 2010)

| Karşılaştırma verileri | Birim             | STE3          | STE4            | STE5          | STE6          |
|------------------------|-------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|
| Azami hız              | km/h              |               | 70              |               |               |
| İşletme hızı           | km/h              |               | 20              |               |               |
| Hızlanma ivmesi        | m/s <sup>2</sup>  |               | 1,3             |               |               |
| Besleme gerilimi       | V                 |               | 750 V DC        |               |               |
| Araç üstü ekipman      | km                |               | Batarya (1-1,5) |               |               |
| Çift yönlü             |                   |               | Evet            |               |               |
| Genişlik               | m                 |               | 2,2             |               |               |
| Yükseklik              | m                 |               | 2,89            |               |               |
| Taban yüksekliği       | cm                |               | 25              |               |               |
| Dönüş yarıçapı         | m                 |               | 10,5            |               |               |
| Uzunluk                | m                 | 25 (3’lü set) | 32 (4’lü set)   | 39 (5’li set) | 46 (6’lı set) |
| Kapasite               | 4p/m <sup>2</sup> | 127           | 170             | 213           | 255           |
|                        | 6p/m <sup>2</sup> | 178           | 238             | 298           | 345           |

Translohr araçlarında çift yönlü kullanıma uygun olan ve yaygın kullanımı bulunan STE serisine ait özellikler Tablo 4.3’de verilmiştir. Translohr S, ST ve STE serilerinde teknik farklılık değil tasarımsal farklılık bulunmaktadır (Diez, 2010; Pede and Agostini, 2007).

#### **4.1.3. Dünya üzerinde translohr aracını kullanan ülkeler**

Yaygın kullanımı Fransa’da Clermont-Ferrand kentinde ve Paris’te T5 T6 hatlarının kullanımı bulunmaktadır. Clermont-Ferrand’da 2006 yılında kullanımına başlanmıştır. 32 metre uzunluğa sahip STE4 aracı ile 14 km’lik hatta hizmet vermektedir. T5 hattı Paris’te STE3 aracı kullanılmakta ve hat uzunluğu 6,6 km. İlk kullanımına 2013 yılında başlanmıştır. T6 hattının ilk kullanımı 2014 yılında gerçekleşmiştir. 6 araçtan oluşan STE6 modeli kullanılmakta ve 14 km hat uzunluğuna sahiptir.

Lastik tekerlekli tramvay sisteminin İtalya’da ise 2 farklı bölgede kullanımı vardır. Venedik-Mestre arasındaki STE4 modeli kullanılmaktadır. Hat uzunluğu 20 km ve ilk kullanımı 2010 yılında başlamıştır. İtalya’da translohr aracının bir diğer kullanım bölgesi ise Padova’dır. 2007 yılında kullanıma başlayan STE3 aracı, 10,3 km uzunluğunda hatta sahiptir.

Çin’de uygulaması bulunan bölgeler Tianjin-Teda ve Shanghai’dır. Tianjin-Teda bölgesinde ilk 2007 yılında kullanılmıştır. Hat uzunluğu 8 km ve STE3 aracı kullanılmaktadır. Shanghai bölgesinde ise 2009 yılında 9 km’lik hat ile 3 araçtan oluşan STE3 modeli kullanılmaktadır.

Kolombiya’daki translohr aracı sadece Medellin kentinde ilk 2016 yılında kullanılmaya başlanmıştır. 4,2 km’lik hatta 5 araçtan oluşan STE5 translohr modeli ile hizmet verilmektedir NTL(2021).

#### **4.1.4. Performans ve hizmete bağlı faktörler**

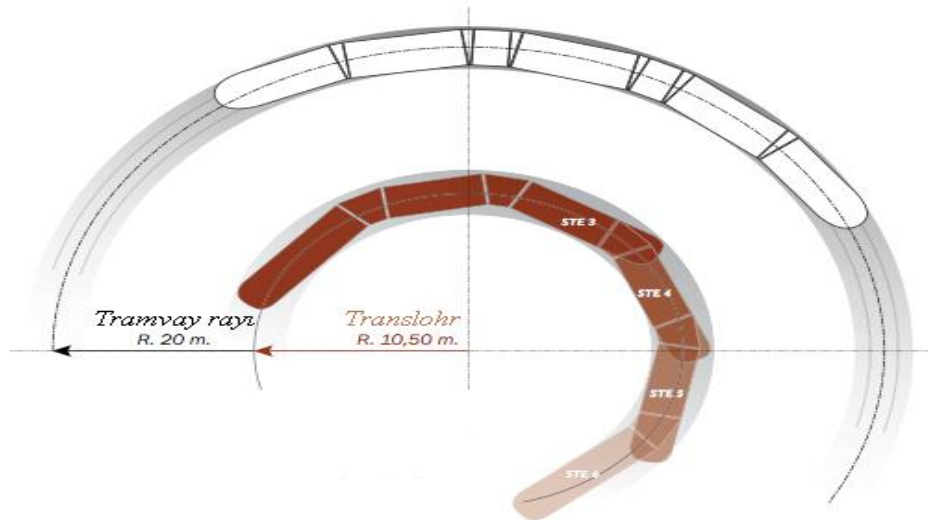
Tramvay ulaşım araçlarında hizmetin gerçekleşmesi için verilen hizmetin performansını belirleyen bazı teknik özellikleri bulunmaktadır. Ülkemizde İstanbul’da da örneklerine

rastladığımız Fransız kökenli Alstom firmasının üretimi olan Citadis modelli tramvay ve translohr aracının teknik olarak karşılaştırılmasında;

**Tablo 4.4.** Translohr aracının performans ve hizmet faktörleri (An and Kühn, 2010)

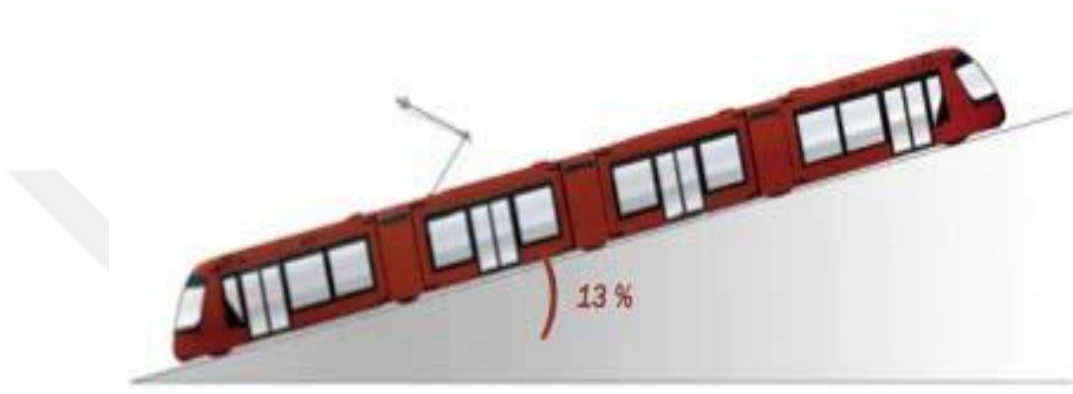
| Teknik özellik   | Birim          | Tramvay(Citades) | Translohr |
|------------------|----------------|------------------|-----------|
| Saatlik kapasite | Yolcu/saat.yön | 3.000            | 2.550     |
| Konfor           | 0-10           | 9                | 8         |
| Dönüş yarıçapı   | m              | 20               | 11,80     |
| Hız              | km/h           | 70               | 70        |
| İşletme voltajı  | V              | 750 V DC         | 750 V DC  |
| Eğim             | %              | 8                | 13        |
| Hat genişliği    | m              | 1.435            | 1.435     |

Tablo 4.4’de geleneksel tramvay sistemi ve karayolu ile demiryolu arasında geçiş sistemi olan translohr bulunmaktadır. Bu hibrid sistem olan translohr aracında konfor açısından bir kayıp olmaması adına kapasite parametresinde ideal olan 1 m<sup>2</sup>’de 4 kişinin yer almasıyla hesaplanmıştır (An and Kühn, 2010).



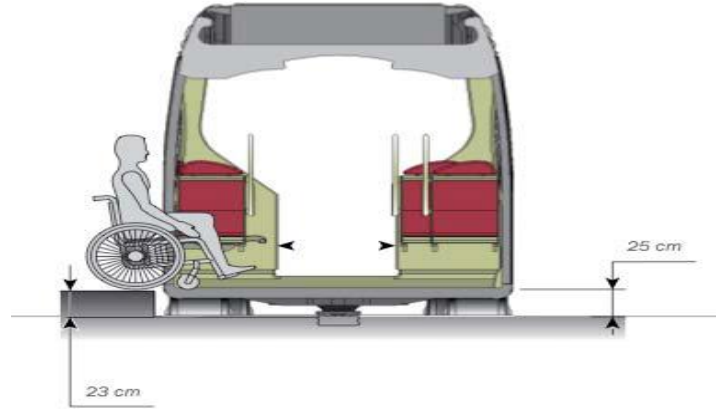
**Şekil 4.9.** Tramvay ve translohr araçlarının dönüş yarıçapı (An, 2011)

Şekil 4.9’da tramvay ve translohr raylı ulaşım araçlarının kurplarda konforlu dönüşü sağlayabilecek yarıçap değerleri tramvay için R:20 iken translohr için bu değer R:10,5’dur. Yüksekliği 2,89 m, genişliği 2,2 m olan translohr aracında ki bu değer STE3, STE4, STE5, STE6 gibi araç çeşitlerinde değişmemektedir. Dönüş yarıçapının düşük olması dar sokaklara, dar kurplara sahip yerleşim yerlerinde ulaşım hizmetinin mümkün olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.10.** Translohr aracının eğimli yollara uygunluğu (An, 2011)

Translohr araçlarında eğim oranı yüksek olan güzergâhlarda kesintisiz ulaşım gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 4.10’da translohr %13 eğime sahip rampalarda ulaşım gerçekleştirebilirken tramvay sisteminde bu oran %8’dir. Tramvay sistemi bu %8 oranının üzerine çıkamamaktır. %8 orana kadar olan eğim değerlerinde dahi mevsimsel sorunlar yaşanlabilmektedir. Meydana gelebilecek sorunların giderilmesinde kullanılan yöntemler maliyeti artıracak yönde etkisi bulunmaktadır.



**Şekil 4.11.** Translohr aracının taban yüksekliği (An, 2011)

Ulaşılabilirlik faktörü açısından da Şekil 4.11’de translohr aracının taban yüksekliği 25 cm’dir. Ulaşılabilirlik bir ulaşım sistemini kullanan yolcuların sisteme kolay ulaşabilmesidir ve taban yüksekliğinin bu açıdan önemi oldukça fazladır.

Ulaşım sistemlerinde zaman faktörü önem arz etmektedir. Ulaşım sistemlerine binip-inmede geçen sürede seyir süresini etkilemektedir ve bu ise sistemin taban yüksekliği ile orantılıdır. Sistemin alçak taban olması inip-binmenin daha seri gerçekleşeceğini ve süreyi azaltacağını göstermektedir (An, 2011).

#### **4.1.5. Maliyet**

Maliyet, bir ulaşım sistemi için en önemli faktörlerden biridir. Yeni bir ulaşım aracının kullanıma başlanması için mevcutta olan sistemlerden daha düşük maliyet veya eş değer bir sonuç elde edilmesi gerekmektedir. Yüksek maliyetler içeren bir sistemin dâhil edilmesi çok daha zor, maliyetli ve toplum için ise verimsiz ve kabul görmeyen bir sistem olacaktır.

Parasal değer içermeyen fakat toplumu doğrudan etkileyen çevresel etki, yaşam tarzının iyileştirilmesi ve kent içerisinde ki aracın görünüşü gibi faktörler bulunmaktadır. Bu faktörlerle birlikte yeni bir ulaşım sistemi seçerken parasal değer içermeyen toplumun talep edeceği farklı ölçütlerde bulunmaktadır (An and Kühn, 2010).

**Tablo 4.5.** Translohr ve tramvay araçlarının maliyeti (An and Kühn, 2010)

| <b>Maliyetler</b>                 | <b>Birim</b> | <b>Tramvay(Citades 302)</b> | <b>Translohr</b> |
|-----------------------------------|--------------|-----------------------------|------------------|
| <b>Yatırım maliyeti (sermaye)</b> | M€/km        | 23,8                        | 21,9             |
| <b>İşletme maliyeti</b>           | €/km         | 7,15                        | 6,9              |

Tablo 4.5’de görüldüğü gibi translohr ulaşım aracı tramvay aracına göre daha düşük maliyetleri içermektedir. Systra firmasının maliyet verileri de tablo üzerindeki verilere benzer olarak Tablo 4.6’da verilmiştir.

**Tablo 4.6.** Systra firmasına ait maliyet değerleri (An, 2011)

| <b>Maliyetler</b>        | <b>Birim</b> | <b>Tramvay</b> | <b>Translohr</b> |
|--------------------------|--------------|----------------|------------------|
| <b>Bir araç maliyeti</b> | (M€/araç)    | 1,7-2,5        | 2,35             |
| <b>Yatırım maliyeti</b>  | (M€/km)      | 20-30          | 20               |
| <b>İşletme maliyeti</b>  | (€/km)       | 6              | 6                |

Tablo 4.6’da ve Tablo 4.5’de yer alan maliyet değerleri birbirlerine yakın aralıktadır. Tramvaya ait yatırım maliyetleri daha geniş aralıkta yer almaktadır. Bunun asıl sebebi ihale sürecinde talep edilen ürünlerin farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Bunlara ek olarak bazı bölgelerde ulaşımın aksamadan ilerleyebilmesi için tramvay ulaşım hattının yapımında bazı farklılıklara ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. İşletmeye yönelik maliyetlerde ise böyle farklı bir durum yoktur, maliyetlerde büyük farklılıklar yatırım maliyetlerinden kaynaklanmaktadır (An, 2011).

#### **4.1.5.1. Maliyet analizi**

Maliyet analizinde çelik tekerlekli tramvay ile translohr sistemlerine ait yatırım ve işletme maliyetlerine değinilmiştir. Tablo 4.7’de yatırım maliyetlerini oluşturan kalemler incelenmiştir. Tablo 4.8’de aynı uzunluğa sahip tramvay ve translohr araçlarının karşılaştırması yer almaktadır.

**Tablo 4.7.** Translohr STE4 ve Citades 302 tramvay araçlarının yatırım maliyetleri (An, 2011)

| <b>Gider kalemleri</b>                                     | <b>Translohr (Clermont-Ferrand) “14 km”</b> |                 | <b>Tramvay (Valenciennes) “9,4 km”</b> |                 |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|-----------------|
|                                                            | Toplam tutar (M€)                           | Maliyet (M€/km) | Toplam tutar (M€)                      | Maliyet (M€/km) |
| <b>Sözleşme</b>                                            | 44,6                                        | 3,19            | 33,8                                   | 3,33            |
| <b>Etüt çalışması</b>                                      | 32,5                                        | 2,32            | 0,00                                   | 0,00            |
| <b>Proje yönetimi</b>                                      | 3,7                                         | 0,27            | 20,4                                   | 2,01            |
| <b>Arazi edinimi ve geçiş hakkının serbest bırakılması</b> | 4,0                                         | 0,28            | 9,1                                    | 0,90            |
| <b>Makaslar</b>                                            | 18,6                                        | 1,33            | 3,7                                    | 0,36            |
| <b>Ön hazırlık</b>                                         | 2,9                                         | 0,21            | 8,7                                    | 0,86            |
| <b>Başıyapıtlar</b>                                        | 8,6                                         | 0,61            | 16,6                                   | 1,63            |
| <b>Platform sahipliği</b>                                  | 23,3                                        | 1,67            | 21,7                                   | 2,13            |
| <b>Kaplama sahipliği</b>                                   | 23,6                                        | 1,68            | 0,00                                   | 0,00            |
| <b>Raylı sistem hattı</b>                                  | 2,00                                        | 0,14            | 31,2                                   | 3,07            |
| <b>Çekiş enerji beslemesi</b>                              | 12,5                                        | 0,90            | 14,4                                   | 1,42            |
| <b>Ana yollar</b>                                          | 55,7                                        | 3,98            | 26,0                                   | 2,56            |
| <b>Kentsel ekipmanlar</b>                                  | 13,4                                        | 0,95            | 5,4                                    | 0,54            |
| <b>Tabelalar</b>                                           | 11,2                                        | 0,80            | 2,0                                    | 0,20            |
| <b>İstasyonlar</b>                                         | 6,2                                         | 0,44            | 6,5                                    | 0,64            |
| <b>Alçak gerilim ve PCC</b>                                | 12,1                                        | 0,86            | 22,0                                   | 2,17            |
| <b>Depozito</b>                                            | 14,4                                        | 1,03            | 22,4                                   | 2,21            |
| <b>Vagon</b>                                               | 50,5                                        | 3,61            | 37,2                                   | 3,66            |
| <b>Diğer</b>                                               | 0,00                                        | 0,00            | 26,4                                   | 2,59            |
| <b>Toplam</b>                                              | 339,8                                       | 24,27           | 307,6                                  | 30,26           |

**Tablo 4.8.** Aynı uzunluğuna sahip tramvay ve translohr aracının tahmini işletme maliyeti (An, 2011)

| Giderler                                | Tramvay(€/km) | Translohr   |
|-----------------------------------------|---------------|-------------|
| Personel                                | 2,99          | 2,96        |
| Enerji                                  | 0,34          | 0,33        |
| Taşeron bakım                           | 0,87          | 0,87        |
| Diğer satın almalar ve harici hizmetler | 0,22          | 0,22        |
| Bağımsız parçalar                       | 1,07          | 1,07        |
| <b>Toplam</b>                           | <b>5,49</b>   | <b>5,45</b> |

**Tablo 4.9.** Kocaeli tramvay işletmesinin 2021 yılında ait bazı ayların giderleri (Ulaşım park, 2021)

| Aylar   | İşçilik giderleri (₺) | Enerji giderleri (₺) | Bakım onarım giderleri (₺) | Diğer giderler (₺) | Toplam giderler (₺) |
|---------|-----------------------|----------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|
| Ocak    | 644.729,78            | 289.908,55           | 6.141,32                   | 992.202,07         | 1.932.981,72        |
| Nisan   | 716.482,85            | 238.125,39           | 44.900,79                  | 119.642,69         | 1.119.151,72        |
| Temmuz  | 1.280.190,44          | 375.887,58           | 46.215,98                  | 134.937,87         | 1.837.231,87        |
| Ağustos | 1.551.558,72          | 419.724,07           | 26.261,83                  | 144.038,35         | 2.141.582,97        |

| Aylar   | Sefer başı maliyet (₺) | Km başına toplam gider (₺) |
|---------|------------------------|----------------------------|
| Ocak    | 380,51                 | 40,479                     |
| Nisan   | 212,40                 | 22,595                     |
| Temmuz  | 229,54                 | 24,419                     |
| Ağustos | 262,55                 | 27,930                     |

Tablo 4.9’da verilen maliyet verileri ayrı ayrı sınıflandırılmıştır. Kocaeli tramvay hattının 9,4 km’lik tek yön bölümü dikkate alınmıştır. Örneğin ocak ayı içerisinde

toplam gider olarak 1.932.981,72 verisi elde edilmiştir. Ocak ayı içerisinde tramvaylar toplamda 5.080 sefer gerçekleştirmiştir ve sefer başına düşen maliyet 380,51'dir. Bu 380,51 maliyeti 9,4 km'lik hatta gerçekleşmesi durumunda ise km başına aylık olarak 40,479 TL'dir. Nisan ayında 5.269 sefer, Temmuz ayında 8.004 sefer ve Ağustos ayında 8.157 sefer yapılmıştır.

Metraray firmasının üzerinde çalıştığı Polonya tramvay proje verileri Tablo 4.10'da verilmiştir. Proje aşamasında olup tamamlanmadığından öngörülen veriler yer almaktadır. Metraray firmasının ülke içerisinde yapmış olduğu çalışmalarda da bu tabloya benzer veriler yer almaktadır. Diğer giderler dışında toplam maliyetin yaklaşık %40'ı elektromekanik alandan %60'lık bir dilimi ise hatta ait maliyetlerden oluşmaktadır. Ülke içerisinde tamamlanmış olan tramvay projelerinde km başına düşen maliyet değeri 10-12 M € arasında yer almaktadır Metraray (2021).

**Tablo 4.10.** Metraray firmasının Polonya tramvay projesi için ön görülen yatırım maliyetleri Metraray (2021)

| <b>Gider kalemleri</b>                            | <b>Toplam maliyet (M €)</b> |
|---------------------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Trafo merkezi</b>                              | 4.780.149                   |
| <b>Katener</b>                                    | 3.135.736                   |
| <b>Sinyalizasyon</b>                              | 4.864.825                   |
| <b>Duraklar</b>                                   | 1.374.850                   |
| <b>Kumada merkezi, depo ve hemzemin kavşaklar</b> | 532.850                     |
| <b>Telsiz sistemi ve baz istasyonu</b>            | 839.000                     |
| <b>Network sistemi</b>                            | 378.320                     |
| <b>Hat işlemleri</b>                              | 23.858.595                  |
| <b>Diğer</b>                                      | 20.000.000                  |
| <b>Toplam maliyet (6-6,5 km)</b>                  | 59.794.325                  |
| <b>Km başına toplam maliyet</b>                   | 10.000.000                  |

Erzincan Belediye'sinden temin edilen taşımacılık verilerinde, bir gün içerisinde merkezde 35.000 ve sonradan merkeze bağlanan beldelerde ise toplam 15.000 yolcu taşımacılığı bulunmakta ve toplamda günlük toplu ulaşım kullanma sayısı 50.000 değerine ulaşmaktadır.

Yatırım maliyetinin kaç yılda amorti edeceğinin hesabı ise formül (4.1)'de verilmiştir. Toplam maliyetin günlük toplam yolcu sayısı ve her yolcunun bilet ücretine oranıyla kaç günde amorti edeceği bilgisine ve bu sonuç değerinin 365 güne oranlanmasıyla kaç yılda amorti edeceğine ulaşılmaktadır.

$$MAS = (TYM) / (GTUKS * BÜ * 365) \quad (4.1)$$

Erzincan ili için otogar ve Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi arasında olacak şekilde 15 km'lik planlanan bir hatta ortalama günlük 27.000 yolcu taşındığında ve 5 TL bilet ücreti beraberinde tramvay sistemi başabaş noktasını yaklaşık 34 yıl içerisinde karşılayıp amorti edecektir. Erzincan ili için tramvay sisteminde km başına 10 M € olan değer, maliyeti daha düşük olan translohr sisteminde 8 M € olarak değerlendirildiğinde ise başabaş noktasını yaklaşık 27 yıl içerisinde karşılayıp amorti edecektir. Arada 7 yıllık farkta ise yine günlük toplam yolcu sayısı 27.000 ve bilet ücreti 5 TL olarak dikkate alındığında 344.925.000 TL kazanç sağlayacaktır. Burada 26.10.2021 tarihli döviz kuru 1 € = 11 £ olarak esas alınmıştır Erzincan Belediyesi (2021).

#### **4.1.6. Çevresel boyutu**

Çevresel boyut doğa ile ilgili bir kavram olmasıyla birlikte aynı zamanda günlük sosyal hayatı etkileyen ve toplumu da içerisine alan bir kavramdır. Bu noktada yeni bir ulaşım sistemi uygulanmasına bağlı olarak bu sisteme erişilebilirlik, meydana gelen kentsel değişimler ve bu ulaşım hizmetinden yararlanacak yolcuları kapsamaktadır.

Çevre kirliliği açısından sistem elektrik ile hizmet verdiği için çevreci olarak sıfır emisyonlu bir sistemdir. 0-10 arasında bir değerlendirme ölçütü kullanıldığında 9 olarak değerlendirilir. Elektrik üretiminde açığa çıkan CO, NO gibi zararları gazlardan dolayı

bir çevre kirliliği söylenebilmesine karşılık genel olarak çevreci, çevreye zarar vermeyen elektrikli ulaşım sistemleri şeklinde ifade edilebilmektedir. CO<sub>2</sub> emisyonu, tramvay araçlarında olduğu gibi sıfır emisyonlu ulaşım araçlarıdır. Tramvay ve translohr araçlarının kirlilik açısından karşılaştırması Tablo 4.11’de verilmiştir (An and Kühn, 2010).

**Tablo 4.11.** Translohr kirlilik ölçütü (An and Kühn, 2010)

|                                      | <b>Kirlilik ölçütü</b> | <b>Tramvay(Citades 302)</b> | <b>Translohr</b> |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------|
| <b>İnşa edilmesinde kente etkisi</b> | 0-10                   | 9                           | 9                |
| <b>Kirlilik</b>                      | 0-10                   | 9                           | 9                |

## 5. SONUÇLAR

Kent içi raylı ulaşım sistemleri elektrik enerjisiyle birlikte çalışması sonucunda çevreye zararlı gaz salınımı yapmamasından ötürü çevreci olduklarını, yolcu taşıma kapasitelerinin daha fazla olduklarının, yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen ekonomik sistem olmaları diğer ulaşım sistemlerinden ayırmaktadır.

Türkiye’de kent içi raylı ulaşım sistemlerinin kullanımı ülkemizin Ege Bölgesi, Akdeniz Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi, Marmara Bölgesi’nde bulunmaktadır. Fakat Doğu Anadolu Bölgesi’nde, Güney Doğu Anadolu Bölgesi’nde ve Karadeniz Bölgesi’nde (Samsun ili hariç) kent içi ulaşım sistemleri bulunmamaktadır. Bu bölgelere bakıldığında ise ortak olarak engebeli merkezlere sahip olması ve daha soğuk bir iklime sahip olmaları göze çarpmaktadır.

Kent içi trafiğindeki yoğunluğa çözüm önerisi olarak ilk başta tramvay önerisi bulunuyorken bu noktada tramvay araçlarının rampa çıkabilme özelliği dikkat edilmesi gerekmektedir. Tramvay araçlarında azami olarak %8 eğim oranlarına çıkabildiği bilgisine araştırmalar sonucunda varılmıştır ve Eskişehir ilinde %7, Kayseri ili için bu oran ortalama %6’yı geçmemektedir.

Bir diğer dikkat edilecek husus ise kurp yarıçap değeridir. Bu değer Eskişehir ilinde en düşük 20-21 m bilinmektedir ve genel bir tramvay aracıda 20 m altına düşmemektedir. Tramvayın eğim çıkamaması ve dar dönme yarıçapına sahip olmaması birçok şehirde kullanımını engellemektedir.

Engibeli bir yerleşim alanına sahip Karadeniz bölgesinde tramvay aracı sadece Samsun ilinde kullanılmaktadır. Samsun’da en son yapılan hat üzerinde yüksek olmayan eğim değerine sahip noktada rampayı çıkma sorunu yaşanılmaktadır. Çözüm olarak ise hattın inşasında makas ısıtma sistemlerine benzer bir şekilde hattın üzerine bir sistem inşa edilerek hattın eğimi çıkmakta zorlandığı kısımda yağmur, kar gibi çevresel etmenlerden etkilenerak ray tekerlek arasında kayma “patinaj” durumu olmadan ulaşım gerçekleştirilmektedir. Fakat yapılan bu yapı maliyet faktörünü artırmaktadır.

“Geleneksel tramvay sistemi ve lastik tekerlekli tramvay (translohr) sisteminin karşılaştırılarak Erzincan için uygulanabilirliğinin araştırılması” isimli hazırlanan tez çalışmasında hedeflenen, en büyük farklılığı meydana getiren eğim çıkabilmeyi ve kurplarda ki manevra kabiliyetini kolaylaştırarak zorlukları ortadan kaldırmaktır.

Bu noktada kent merkezlerinde yaşanan trafik sorununa çözüm olarak kullanılan tramvay sisteminin alternatif sistem önerisi ve Dünya’da kullanılan ulaşım sistemleri araştırılmıştır. Fransa’da kullanılan lastik tekerlekli tramvay sistemi %13 eğime kadar rahatlıkla çıkabilmektedir. Dönüş yarıçapı ise translohr araçları 10-10,5 m oranına kadar düşmektedir. Eğim çıkma özelliğine sahip olan trambüs araçları dahi bu kadar düşük dönüş yarıçapına sahip değildir.

Tramvay ve translohr araçlarının ağırlıkları veya aks başına düşen ağırlıkları da sistemin enerji tüketiminde önemlidir ve maliyeti doğrudan etkilemektedir. Durmazlar firmasına ait ipekböceği tramvay araç uzunluğu 29 metredir ve ağırlığı 38.500 kg değerine sahipken translohr STE4 aracı 32 metre ve ağırlığı 28.500 kg’dır.

Maliyet noktasında; translohr sisteminde tek ray kullanılması çift ray kullanılmasına nazaran daha ekonomik olacaktır. Bakımları kısmında translohr sisteminde kullanılan lastik tekerlekler maliyet açısından tramvay tekerleğinden daha az maliyete sahiptir. Aynı zamanda çelik tekerlek ray ikilisinin birbirine olan temasına bağlı olarak bir sürtünme kaybı ve enerjinin tam olarak aktarılmama durumu var iken lastik tekerlekli araçta bu daha düşüktür, gelen gücü, kuvveti daha az kayıpla doğrudan iletecektir.

Maliyet verileri her ülkede alt yapısına bağlı olarak farklı değerlere sahip olabilir. Fransa’da tramvay sistemleri 23 M €, translohr sistemi daha uygun maliyette ve 20 M €’dur. Türkiye’de yapılan tramvay hatlarının yatırım maliyeti yaklaşık olarak km başına 10-12 M € değerindedir. Translohr aracıda en fazla bu tramvay değerlerini geçmeyeceğine ve ortalama 8-10 M € olacağı bilgisine varılmıştır.

Erzincan ili için yapılan hesaplamalarda tramvay sisteminde 15 km’lik hat için 34 yılda amorti edeceğine, lastik tekerlekli tramvay için ise amorti süresi 27 yıl bulunmuştur.

Aynı zamanda tramvay sisteminin yapımı planlandığında Samsun örneği gibi ekstra maliyet artıracak faktörleri ortadan kaldıracağı için ekstra bir maliyette tasarruf sağlayacak ve bu kazanç farklı alanlarda kent merkezini iyileştirilmesi için kullanılması ön görölmüştür.

Erzincan ili için tramvay sisteminin yapılmasında yeterli kapasite olmamasından ve buna bağlı başabaş noktasında amorti süresinin uzun olmasından dolayı ön görölmemektedir. Erzincan ilinde bugün yeterli bir kapasite sağlanmış olduğu varsayıldığında günlük 60.000 yolcu ile ortalama 12 yıl içerisinde başabaş noktasına ulaşacaktır.

İlerleyen yıllar içerisinde ise yapılması için yeterli kapasiteye ulaştığında lastik tekerlekli tramvay (translohr) sisteminin yapılması maliyet açısından ve bölgenin coğrafiik yapısından dolayı daha uygun olacağı ön görölmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abril, M., Barber, F., Ingolotti, L., Salido, M.A., Tormos, P., Lova, A. (2007) “An assessment of railway capacity”, *Transportation Research Part*, 774-779.
- Açıkbaş, S., Alataş, A. (2006) “Raylı sistemlerde enerji verimli sürüş ve frenleme enerjisinin geri kazanılması” *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi TÜRKİYE 10. ENERJİ KONGRESİ*, İstanbul, 241.
- Akman, G., Alkan, A. (2016) “İzmit kent içi ulaşımında alternatif toplu taşıma sistemlerinin aksiyomlarla tasarım yönetimi ile değerlendirilmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 54-56.
- Altuntaş, S., Eyigün, Y. (2020) “Sürdürülebilir kent içi ulaşım politikaları raylı sistemler örneği”, *Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 3, 220-221.
- An, J. H. (2011) “Le choix d’un système de transport durable : analyse comparative des systèmes de transport guidé de surface”, These de Doctorat, *Laboratoire : GRETTIA et LTN (IFSTTAR)*, de l’Université Paris-Est Ecole doctorale VTT, 177-128, 180-195.
- An, J. H., Kühn, F. (2010) “Appropriate conditions for adopting new public transit systems: a comparative analysis of guided surface systems”, *CODATU XIV Sustainable transport and quality of life in the city*, Argentina, 1-14.
- Andriollol, M., Del Torchio, G., Martinelli, G., Morini, A., Tortella, A. (2002) “Innovative technologies for the public transportation in the Urban Mobility Plan of Padova”, *Eighth International Conference on Urban Transport and the Environment in the 21st Century*, Spain Seville, 1-6.
- Antray. “Antalya tramvay işletmesi”, <https://www.antalyaulasim.com.tr/Home/Index/> Son erişim tarihi: 08.06.2021.
- Arlı, V. (2015) Demiryolu mühendisliği, 2, *Birsen yayınevi*, İstanbul, 272-304.
- Atus. “Konya tramvay işletmesi” <https://atus.konya.bel.tr/> Son erişim tarihi: 08.06.2021.
- Avcı, M. (2014) “Atatürk dönemi demiryolu politikası”, *Ankara Üniversitesi Türk İnkılâp Tarihi Enstitüsü Atatürk Yolu Dergisi*, 54, 40-53.
- Baştürk, G. (2014) “Kent içi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması”, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, *Ulaştırma, Denizcilik Ve Haberleşme Bakanlığı*, Ankara, 12 -60.

- Beşirli, M. (2004) “Bağdat demiryolu'nun AKDENİZ uzantısı: Toprakkale-İskenderun demiryolu”, *Atatürk Üniversitesi Araştırmaları Enstitüsü Dergisi*, 23, 215-216.
- Bilgin, A., Çağman, E., Bıyıklı, Ş. (2012) “Dünden bugüne toplu ulaşım kültürü”, *İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü*, İstanbul, 30-35.
- Burulaş. “Bursa tramvay işletmesi”, <https://www.burulas.com.tr/> Son erişim tarihi: 08.06.2021.
- Can, M., Yörükeren, N. (2021) “Kent içi raylı sistemlere yeni hat entegrasyonunda işletme modellerinin analizi”, *Demiryolu Mühendisliği*, 13, 1-3.
- Ceylan, M. (2010) “Manisa-Uşak demiryolu ulaşımının yerleşme üzerine etkileri”, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 23, 223-225.
- Chang, A. S. F., Kalawsky, R. S., Cheng, K. W. E., Thomas, A. V., Walmsley, D. A. (2018) “Energy storage impact on light rail development”, *IET International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, Hong Kong, Çin, 1-5.
- Coşkun, A. (2017) “Demiryollarında geçiş eğrileri ve dever uygulamaları”, *Demiryolu Mühendisleri Derneği*, 57-59.
- Çağlayan, T. A. (1995) “Tramvay Sistemlerinin Yapılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-25.
- Çalış, E. A. (2016) “Monoray ulaşım sisteminin özellikleri ve diğer kent içi ulaşım araçları ile karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7-40.
- Çalışkan, F., Kırmızı, Z. “İstanbul’da Tramvay tramvayların tarihi”, [https://okumaninsonunayolculuk.com/html/alt\\_sayfa/istanbul\\_ulasimi/istanbul\\_ulasim\\_tramvay\\_tarihi.html](https://okumaninsonunayolculuk.com/html/alt_sayfa/istanbul_ulasimi/istanbul_ulasim_tramvay_tarihi.html) Son erişim tarihi: 30.05.2021.
- Çolak, M. (2003). “XX. yüzyıl başlarında İstanbul'da trafik ve tramvay”, *The Journal Of Ottoman Studies XXII*, 177-180.
- Diez, A.E. (2010) “Análisis de la factibilidad de implementación de una solución de transporte masivo eléctrico de mediana capacidad en la ciudad de bogota mediante trolebuses informe final”, *Technical Report*, 1-18.
- Divall, C. (2006) “From waggonway to bullet train: Railway engineering through the millennium”, *Transactions of the Newcomen Society*, 193-195.
- Doğan, F. (2016) “Osmanlı'dan Cumhuriyet'e Kırklareli-Babaeski demiryolu”, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9, 574-576.

- Doğan, Z., Beller Dikmen, B. (2018) “Türkiye’deki ulaştırma sektörü ve ulaştırma türlerinin karşılaştırılması”, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11, 758-760.
- Engin, V. (1993) Rumeli demiryolları, *Eren Yayınevi*, İstanbul, 21-30.
- Er, Ü., Çakır, F. H. (2018) “Urban light rail transportation systems catenary line anti-icing applications; laboratory and field tests”, *Anadolu University Journal of Science and Technology*, 19, 432-435.
- Erzincan Belediyesi. <https://www.erzincan.bel.tr/> Son erişim tarihi: 06.09.2021.
- Estram. “Eskişehir tramvay işletmesi”, <http://www2.estram.com.tr/Cntnt/15> Son erişim tarihi: 06.06.2021.
- Gazi ulaş. “Gaziantep tramvay işletmesi”, <https://gaziulas.com/Tramvay-Hatlari.aspx?hat=1&ID=16> Son erişim tarihi: 08.06.2021.
- Görgülü, Ç. (2017) “Tarihsel süreç içerisinde demiryolu trafik yönetim sistemlerine yüzeysel bakış”, *Demiryolu Mühendisliği*, 34-36.
- Güler, H., Jovanovic, S., (2005) “Demiryollarında hız yükseltilmesi amacıyla yapılması gerekli ön çalışmalar”, *6.Ulaştırma Kongresi*, İstanbul, 275-286.
- Gündüz, A. (2001) “Ortadoğu’da demiryolu ulaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, 66-69.
- Gündüz, A., Kaya, M., Aydemir, C. (2011) “Kent içi ulaşımında karayolu ulaşımına alternatif sistem: raylı ulaşım sistemi”, *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 2, 134-137.
- Hamurcu, M., Eren, T. (2017) “Selection of monorail technology by using multicriteria decision making”, *9th International İstanbul Transport Congress*, 303-305.
- Hamurcu, M., Eren, T. (2017) “Toplu taşıma türünün seçiminde çok kriterli karar verme uygulaması”, *International Conference on Advanced Engineering Technologies*, 1-3.
- Ji, Y., Ren, L., Gong, D., Wang, J. (2016) “Mechanism and affecting factors of translohr tramway guide rail side wear”, *ARCHIVE Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C Journal of Mechanical Engineering Science*, 1-3.
- Johansson, T., Lange, T. (2008) Persontransporter i lunga banor: Lätta kollektivtransportsystem med strukturerande effekter, *Banverket*, Hassleholm, 38-45.

- Kahraman, Y., Keleş, Y. C., Kanyılmaz, H. (2018) “Eğim çıkabilen %100 alçak tabanlı tramvay aracı konsept tasarımı”, *IV. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu*, Karabük, 570-574.
- Kal, N. (2016) Cumhuriyetin sloganı:“Bir karış fazla demiryolu”, *Ekonomi Tarihi*, 110-112.
- Kanberoğlu, N. (2018) “Osmanlı Devleti’nin II. meşrutiyet dönemi demiryolu politikaları 1908-1914”, *VAKANÜVİS- Uluslararası Tarih Araştırmaları Dergisi*, 159-171.
- Kara, Ç., Bilgiç, Ş., Akalın, K., Karacasu, M. (2017) “Effect of tramway headway on urban traffic and evaluation with simulation simulation technique: Eskişehir case study technique: Eskişehir case study”, *Innovation and Global Issues in Social Sciences*, Antalya, 673-677.
- Karabulut, Y. (1997) “Türkiye’de demiryolu ulaşımı”, *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 163-187.
- Karataşer, B., Öztürk, S. (2018) “Osmanlı dönemi ulaşımında raylı sistemler üzerine bir inceleme: İstanbul tramvay örneği”, *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 7, 54-56.
- Kasımoğlu, E. (2015) “Tramvay istasyonlarında tasarım ve güvenlik esaslarının araştırılması istanbul T1 tramvay hattı incelemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-6.
- Kaynar, İ. S. (2015) “Haydarpaşa-İzmit demiryolu ve iskelelerle ilişkisi”, *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 5 (12) 136-148.
- Kayseri ulaşım. “Kayseri tramvay işletmesi”, <https://www.kayseriulasim.com> Son erişim tarihi: 08.06.2021.
- Key, H. (2007) “Osmanlı’da demiryolu faaliyetlerine bir bakış(İzmir-Aydın hattı ve İzmir-Kasaba hattı örneği)”, *T.C. Balıkesir Üniversitesi F.E.F. Karesi Tarih KULÜBÜ Bülteni* 2007/1, 43- 45.
- Kılıç, H., Günaydın, L. (2018) “Yeni bir demiryolu bisikleti tasarımı ve imalatı”, *Electronic Journal of Vocational Colleges* 48-51.
- Kılınç, A. S. (2017) “Karayolu ve demiryolu geçki tasarımlarında sademe sınır değerlerine göre en küçük yatay kurp yarıçaplarının belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon 28.
- Kırlangıçoğlu, C. (2016) “Çok kriterli karar verme yöntemleri ile kent içi raylı sistem koridor planlaması”, *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi* 64-65.

- Kolay, A. (2011) “İzmir-Kasaba ve uzantısı demiryolu hatları”, Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü**, İstanbul, 1-6.
- Kolay, A. (2017) “Anadolu’da işletmeye açılan ilk demiryolu hattı: İzmir-Kasaba (Turgutlu) demiryolu”, **Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi**, 92.
- Koyun, A., Kaymakçı, Ö. T. (2015) “Bir tramvay hattının güvenilirlik analizi”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 30, 615-625.
- Kozak, M. (2016) “Demiryolunda dever uygulaması ve güvenliğe etkisi”, **Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik bilimleri ve Tasarım Dergisi**, 4(1), 41-47.
- Köse, V. (2020) “Demiryolu yük taşımacılığının Türkiye ekonomisindeki yeri ve önemi: ekonometrik model ile analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Çankaya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, Ankara, 26.
- Kühn, F. (1998) “Emergence of intermediate urban transit systems L’émergence des systèmes de transport urbain intermédiaire”, **La politique de déplacements urbains, outil du développement durable**, Cape Town South Africa, 4-8.
- Kühn, F., An, J. H. (2008) “Impacts of insertion and operation of a new surface guided transit system”, **Technical Report**, 4-12.
- Kühn, F., Soulas, C. (2001) “Between bus and light rail, emergence of intermediate urban systems”, **9 th Conference WCTR in Seoul**, KOEX Seoul, 3-13.
- Lakušić, S. (2012) “Road and rail Infrastructure II”, **2nd International Conference on Road and Rail Infrastructure**, Dubrovnik – Croatia, 891.
- Landex, A., Kaas, A., Schittenhelm, B., Schneider-Tilli, J. (2006) “Evaluation of railway capacity”, **Annual Transport Conference**, Aalborg University, 3-4.
- Makine Mühendisleri Odası, (2019) Ulaşımda demiryolu gerçeği 8. baskı, **TMMOB Makina Mühendisleri Odası**, Ankara, 67-74.
- Marin, A., Rodenas, R. (2008) “Location of infrastructure in urban railway networks”, **competers and operations research** 1461.
- Metro İstanbul. “İstanbul tramvay işletmesi”, <https://www.metro.istanbul/Home> Son erişim tarihi: 08.06.2021.
- Metroray. <http://www.metroray.com/> Son erişim tarihi: 08.09.2021.
- NTL. <http://www.newtl.com/en/#cities> Son erişim tarihi: 06.08.2021.
- Öner, J., Kara, İ. (2019) “Planning of tram stop design: usak university sample”, **Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 8, 119.

- Özdemir, M. (2012) “Tren gelir, hoş gelir...”, *Turizm Araştırmaları Dergisi*, 23, 117-123.
- Öztürk, Z., DüNDAR, M. (2016) “Metro sistemlerinin yapım ve işletme maliyetleri”, *İMO Teknik Dergi*, 7660-7661.
- Öztürk, Z., Öztürk, T., Erol, H., Arlı, V. (2009) “Demiryolu titreşimlerinin konfora etkisinin örnek hatlarda incelenmesi”, *İMO Teknik Dergi*, 4811-4814.
- Panulinova, E. (2017) “Input data for tram noise analysis”, *Procedia Engineering*, 371-376.
- Pede, G., Agostini, A. (2007) “Innovative technologies for public transport” Urban Transport XIII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century First edition, C. A. Brebbia, *WIT Press*, Southampton UK, 96, 449-453.
- Profillidis, V. A. (2014) Railway Management and Engineering, Fourth Edition, *Ashgate Publishing Limited*, England, 30-48.
- Restel, F. J. (2013) “Impact of infrastructure type on reliability of railway transportation system”, *Journal of Konbin*, 1, 21-22.
- Restel, F., Wolniewicz, L. (2017) “Tramway reliability and safety influencing factors”, *10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation Science and Technology*, Poland, 477- 481.
- Saatçioğlu, C., Yaşarlar, Y. (2012) “Kent içi ulaşımında toplu taşımacılık sistemleri: İstanbul örneği”, *Kafkas Üniversitesi, İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3, 118-128.
- Samulaş. “Samsun tramvay işletmesi”, <http://samulas.com.tr/> Son erişim tarihi: 08.06.2021.
- Serhatlı, M (2019) “Eskişehir’de ki tramvay sisteminin aynı sistem özellikleri kullanan diğer illerle matlab programı kullanılarak QFD uygulamasıyla iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yalova Üniversitesi, 21-24.
- Sertsöz, M., Kuşdoğan, Ş. (2012) “Raylı sistemlerde çevresel etki ve yolcu sayısının enerji tüketimine etkileri”, *ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 113-115.
- Simit, K. O., Rizelioğlu, M., Arslan T. (2016) “Türkiye’nin ilk yerli tramvayı ipekböceği hattı üzerine bir analiz”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21, 492.

- Tamçelik, S. (2000) “Osmanlı dönemi demiryollarının tarihi gelişimi içerisinde siyasi, iktisadi ve sosyal etkiler”, *ERDEM İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 12, 485-509.
- Tanyeri, C. (1994) “Mühendis Ebû'n-Nedret Nuri Efendi'nin hicaz demiryolu hatıraları”, *Tarih İncelemeleri Dergisi*, 9, 339-340.
- Temizgüney, F. (2008) “Erzurum'a demiryolunun gelişi”, *Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Erzurum, 13.
- Tram İzmir. “İzmir tramvay işletmesi”, <http://www.tramizmir.com/tr/hatharita/56> Son erişim tarihi: 08.06.2021.
- Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü, (2019) “Demiryolu sektör raporu”, *TCDD, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı*, 33-35.
- Ulaşım park. “Kocaeli tramvay işletmesi”, <https://www.ulasimpark.com.tr/> Son erişim tarihi: 08.06.2021.
- Uzuntepe, G. (2000) “Osmanlı imparatorluğu'nda ilk demiryolu: İzmir-Aydın-Kasaba(Turgutlu)”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Eskişehir, 4-39.
- Vuchic, V. (2000) “Comparison of light rail transit with bus semirapid transit”, *5th UITP Light Rail Conference*, Melbourne, Australia, 1-4.
- Vuchic, V. R. (2007) Urban transit systems and technology, *John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey*, United States of America, 425-430.
- Weiwei, L., Yue, D., Xiaojing, L. (2016) “Research on selection of new public transit system based on low carbon economy perspective”, *Procedia Engineering*, 137, 85-88.
- Yaman, Y. C. (2015) “Integration and coordination between regional/urban plans and transportation plans: the case of the rail transit investments in Gaziantep”, Yüksek Lisans Tezi, *The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University*, Ankara, 9-11.
- Yayla, N. (2004) “Karayolu mühendisliği”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 137-150.
- Yazıcı, N. (1992) “Tanzimatta haberleşme ve kara taşımacılığı”, *Ankara Üniversitesi Osmanlı Tarihi Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 3, 356-360
- Yıldırım, R., Oban, R. (2010) “The importance of heritage roads on the development of Western”, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19 (2011), 94-95