

**T.C**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**TOPLU TAŞIMADA TROLEYBÜS**  
**SİSTEMİ VE**  
**MALATYA ÖRNEĞİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**MEHMET ZEKİ HEDEKOĞLU**

**İSTANBUL, 2015**





**T.C**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA**  
**YÖNETİMİ**

**TOPLU TAŞIMADA TROLEYBÜS**  
**SİSTEMİ VE**  
**MALATYA ÖRNEĞİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**MEHMET ZEKİ HEDEKOĞLU**

**Tez Danışmanı: PROF.DR. MUSTAFA ILICALI**

**İSTANBUL, 2015**

**T.C**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA**  
**YÖNETİMİ**

Tezin Adı: Toplu Taşımada Trolleybüs Sistemi ve Malatya Örneği

Öğrencinin Adı Soyadı: Mehmet Zeki HEDEKOĞLU

Tez Savunma Tarihi: 14.04.2015

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmesi olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. Nafiz ARICA  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Prof. Dr. Mustafa ILICALI

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

| Jüri Üyeleri                        | İmza  |
|-------------------------------------|-------|
| Tez Danışmanı:                      |       |
| Prof. Dr. Mustafa ILICALI           | ..... |
| Üye : Doç. Dr. Halit ÖZEN           | ..... |
| Üye : Yrd. Doç. Dr. Nilgün CAMKESEN | ..... |

## ÖZET

### TOPLU TAŞIMADA TROLEYBÜS SİSTEMİ VE MALATYA ÖRNEĞİ

Mehmet Zeki Hedekoğlu

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Prof.Dr Mustafa Ilıcalı

Nisan 2015, 58 Sayfa

Trolleybüs sistemleri ilk olarak 19. yüzyıl sonlarında kullanılmaya başlanmış ve 1930'lu yıllarda büyük bir yaygınlık kazanmıştır. Sonraki yıllarda birçok şehirde, yerini çoğunlukla daha ucuz olması sebebi ile dizel otobüslere ve kısmen yolcu kapasitesi sebebi ile tramvay sistemlerine bırakmıştır. 1970'lerdeki petrol krizi, artarak devam eden fosil yakıt bağımlılığı ve bu yakıtların çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkileri gibi sebepler, tekrar alternatif enerji kaynaklarına ve bu kaynakları kullanan sistemlere dönmeye yönelik çabaları artırmıştır. Bu kaygıların ve çabaların neticesinde birçok şehir mevcut Trolleybüs hatlarını korumuş, araçlarını ve sistemlerini modern teknolojilerle iyileştirmiş ve hatlarını genişletmiştir. Bazı şehirler ise eski Trolleybüs hatlarını yenileyerek tekrar işletmeye almayı planlamaktadır.

Tramvayların ilk maliyeti ve alt yapı inşaatı esnasında çevreye verdiği rahatsızlık seviyesi oldukça fazladır, ama elektrikle işletildiği ve daha fazla yolcu taşıma kapasitesine sahip olduğu için işletme maliyetleri daha düşük olabilmektedir. Dizel otobüslerin ilk yatırım maliyetleri azdır ancak ömürleri de tramvaya göre çok daha azdır ve işletme maliyetleri oldukça fazladır. Trolleybüs sistemi ise Tramvay ve Dizel Otobüs sistemlerinin iyi özelliklerini birleştiren bir sistem olarak güçlü bir alternatif oluşturmaktadır. Elektrikli tahrik sisteminin bütün avantajlarını kullanan trolleybüs sistemlerinde 120-180-250 kişilik kapasiteye sahip yüksek kapasiteli ve konforlu araçlar kullanılmaktadır. Hareket etmek için elektrik motoru kullanan bu araçlar lastik tekerlekli oldukları için klasik yol üzerinde gitmektedirler. Enerjilerini tramvay sistemleri gibi havai hattan alırlar. Normalde ayrılmış yola ihtiyaçları yoktur, ancak, ayrılmış hat uygulamaları ve sinyalizasyon sisteminde öncelikli olmaları durumunda hızları ve verimlilikleri oldukça artmaktadır. Sistemi kullanan yolcular sistemin türüne göre bilet ücretlerini durak girişlerinde veya araç üstünde ödeyebilmektedir. Yüksek kapasiteli araçları sayesinde saatte 2000-10000 yolculuk bandında trolleybüs sistemlerinin maliyet açısından uygun çözüm oldukları görülmektedir.

Kurulacak tesislerin ve alınacak araçların maliyeti dizel otobüs sistemlerine göre fazladır, ancak, bu fark sistemin hizmet ömrü süresinden çok daha kısa bir sürede kapanmaktadır. Modern havai hat tasarımları şehrin görüntüsüne etkiyi büyük oranda azaltmış ve akım toplama sistemleri çok

daha fazla güvenilir hale getirilmiştir. Hibrit trolleybüslerin küçük dizel motorlar veya geliştirilmiş batarya üniteleri ile katenersiz gidebilme yeteneği sayesinde tarihi bölgelerdeki görüntüsel hassasiyetin korunması sağlanabilmektedir. Şu anki teknoloji ile enerjinin havai hattan (katener) alınması en verimli yöntemdir. Ayrıca, araç üstü ve sabit enerji depolama sistemlerinin kullanılması ile enerji verimliliği daha da artırılarak bilinmektedir.

Tramvay planları, özellikle yoğun talebin olmadığı yerlerde maliyet sınırına takılmaktadır. Farklı “Yeşil” otobüs teknolojileri denenmektedir, ancak ya yeterli seviyeyi yakalayamamakta, ya planlanandan daha az çevreci çıkmakta, ya da ilk düşünülen daha pahalıya mal olmaktadır. Belli seviyelerde yolculuk talebi olan yerlerde Trolleybüs sistemleri kesinlikle daha ciddi bir alternatif olarak incelenmelidir. İspanya, Venezuela ve İtalya’daki yeni sistemler yeni nesil trolleybüslerin performansına yönelik gerçek veriler sunmaktadır. Leeds ve Valenciennes şehirlerinin de aralarında olduğu bazı şehirler, tramvay sistemlerinin çok pahalı olmaları sebebi ile yerlerine trolleybüs sistemi kurmayı planlamaktadır. Helsinki toplu taşıma işletmecileri 2016 yılından itibaren trolleybüs sisteminin yeniden şehirde kullanılması yönünde çalışmalarına devam etmektedir.

Türkiye’de de birçok işletmeciler kuruluş, şehir içi toplu taşıma planlamasında elektrikli taşıma modlarına yönelik alternatifleri gündemlerine alarak değerlendirmektedir. İstanbul örneğinden sonra birçok il Metrobüs adı ile anılan Hızlı Otobüs Taşımacılığı (BRT) sistemini ve Tramvaya alternatif olarak Trolleybüs sistemini incelenmeye başlamıştır. Türkiye’nin bir çok ilinde trolleybüs sistemi ile ilgili fizibilite çalışmaları devam etmektedir. İlk olarak Malatya Büyükşehir Belediyesi alternatif toplu taşıma modları arasında yaptığı kapsamlı sistem karşılaştırmaları sonunda, nüfus artış hızı, yolculuk değerleri, yol yapısı, hız, konfor, güvenlik, yakıt maliyeti, çevre temizliği, sürdürülebilirlik vb faktörleri dikkate alarak en uygun toplu taşıma sisteminin trolleybüs sistemi olacağına karar vermiştir. Bu karar doğrultusunda da çalışmalar başlatılmış ve 2015 yılının başı itibarıyla sistemin kurulumu tamamlanmış ve 10 tane 24,7 metrelik araçla sistem işletilmeye hazır hale getirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Trolleybüs, Malatya, Katener, Hibrit, Metrobüs

## **ABSTRACT**

### **TROLLEYBUS SYSTEM IN PUBLIC TRANSPORTATION AND MALATYA CASE**

Mehmet Zeki Hedekoğlu

Urban Systems and Transportation Management

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Ilıcalı

April 2015, 58 pages

Trolleybus systems was initially started to be used at late 19<sup>th</sup> century and gained wide currency by 1930's. In the following years it took its place to diesel cars because they were generally cheaper and to tramway systems partially because of their passenger capacity. Petroleum crisis at 1970's, increasingly continuing fossil fuel dependency and reasons such as the harmful effects of these fuels to environment and human health enhanced efforts to return alternative energy sources and systems using these sources. In consequence of these concerns and efforts, many cities saved their Trolleybus lines, healed their vehicles and systems with modern technologies and extended their lines. Some cities plan to reoperate their old Trolleybus lines by healing them.

Initial costs of tramways and level of inconvenience to environment during infrastructure construction are pretty much but their operation costs can be much lower as they are operated by electricity and they have farther passenger carrying capacity. Initial investment costs of diesel buses are low but their lifetime are far less than tramway and their operation costs are pretty much. Trolleybus system consists of a strong alternative as a system which combines the good properties of Tramway and Diesel Bus systems. High capacity and comfortable vehicles with 120-180-250 passenger capacities are used in trolleybus systems that use all advantages of electrical drive systems. These vehicles using electricity motor to move run on classical roads as they have rubber wheels. They get their energy from aerial wire like tramway systems. Normally they don't need segregated roads but their speed and productivity increases considerably with segregated line applications and with their priority in the signalisation systems. Passengers using the system can pay fares at the entrance of the stop or inside the vehicle depending on the type of the system. Thanks to their high capacity vehicles, it is observed that trolleybus systems are proper solutions in terms of cost with their band of 2000-10000 passengers per hour. Costs of facilities to be installed and vehicles are more than diesel bus systems but these gap is closed within less time than the lifetime of the system. Modern aerial wire designs substantially decreased the effect to the view of the city and current collection systems are brought into much more reliable systems. Thanks to the ability of going without catenary of



hybrid trolleybuses with small diesel motors and enhanced battery units, preservation of pictographic sensitivity in historical regions can be procured. Receiving energy from the aerial wire (catenary) is the most productive method in current technology. In addition, energy productivity can be enhanced more with the utilisation of on vehicle and stable energy storage systems.

Tramway plans are stuck to cost borders especially in places where high demands are absent. Different “Green” autobus technologies are being tried but they either can’t reach the expected levels or they are less environment friendly than planned or they cost more than initial plans. Trolleybus systems should definitely be evaluated as a more serious alternative in places with definite demand of transportation. New systems in Spain, Venezuela and Italy present real data about the performance of new generation trolleybuses. Some cities including Leeds and Valenciennes plan to install trolleybus systems instead of tramway systems as they are very expensive. Helsinki public transportation operators are continuing their work on the reuse of trolleybus systems by 2016.

Many managing corporations are evaluating the alternatives towards electric transportation modes in planning of intracity public transportation by taking them into their agenda. After İstanbul case, many cities started to examine BRT named as Metrobus and Trolleybus systems as an alternative of Tramway. Feasibility studies are continuing about trolleybus systems in many cities of Turkey. Malatya Metropolitan Municipality decided that trolleybus systems is the most appropriate public transportation system by considering factors such as population growth rate, transportation values, road structures, speed, comfort, safety, fuel cost, environmental cleaning and sustainability at a result of detailed system comparisons within alternative public transportation modes. In accordance with this decision, works are started and installation of the system has been completed by the beginning of 2015 and system is ready to be operated by 10 vehicles having 24,7 metres length.

**Key words:** Trolleybus, Malatya, Catenary, Hybrid, Metrobus

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Orta ölçekli, özellikle nüfusu beş yüz binden büyük Anadolu şehirlerinde toplu ulaşım problemlerine çözüm konusunda yerel yönetimler bir arayış içerisindeyler. Hem yolculuk değerleri, hem bütçeleri hem de yol yapıları raylı sistemlere elverişli olmadığından alternatif çözüm arayışlarına yönelmektedirler. Bu ara çözüm için Türkiye’de metrobüs olarak isimlendirilen BRT sistemleri iyi bir çözüm olmakla beraber yüksek dizel yakıt maliyetleri bu şehirler için bu çözümü de zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada, daha önce İstanbul, Ankara ve İzmir de denenmiş fakat dönemin elektrik yetersizliği, karayolu yatırımlarının daha avantajlı olması vb nedenlerle vazgeçilmiş ancak hala dünyanın bir çok kentinde kullanılan trolleybüs sisteminin de bu kentler için bir çözüm olacağını anlatmaya çalıştım. Ayrıca ilk gününden itibaren içinde bulunduğum ve genel koordinatörlüğünü yaptığım Malatya trolleybüs projesi örneğini bu teze dahil ederek böyle bir proje yapmak isteyenlere projenin başından sonuna kadar nasıl bir yol izlemeleri gerektiği konusunda bir rehber çalışma olsun istedim.

Tezin hazırlanması aşamasında değerli zamanını benden esirgemeyen ve yönlendirmeleriyle bana katkı sağlayan tez danışmanı Sayın Prof. Dr Mustafa ILICALI Hocama ve tüm ekibine,

Malatya trolleybüs projesini beraber yürüttüğüm tüm mesai arkadaşlarıma,

Benim yetişmemde en büyük pay sahibi olan sevgili annem ve babama,

Çalışma boyunca her türlü kahrımı çeken ve bana sonsuz sabır gösteren sevgili eşim ve çocuklarıma teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul, 2015

Mehmet Zeki HEDEKOĞLU

## İÇİNDEKİLER

|  |            |
|--|------------|
| <b>TABLolar</b> .....  | <b>X</b>   |
| <b>ŞEKİLLER</b> .....  | <b>XI</b>  |
| <b>KISALTMALAR</b> .....   | <b>XII</b> |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....  | <b>1</b>   |
| <b>2. TROLEYBÜS SİSTEMLERİNİN TARİHÇESİ</b> .....                | <b>4</b>   |
| <b>3. TROLEYBÜS SİSTEMİNİN AVANTAJLARI</b> .....                 | <b>9</b>   |
| <b>3.1 TROLEYBÜS SİSTEMLERİNİN ÖNE ÇIKAN FAYDALARI</b> .....     | <b>12</b>  |
| <b>4. TROLEYBÜS SİSTEMİNİN ÇEVRESEL FAYDALARI</b> .....          | <b>13</b>  |
| <b>4.1 DAHA İYİ ENERJİ VERİMLİLİĞİ</b> .....                     | <b>13</b>  |
| <b>4.2 DAHA AZ KİRLETİCİ EMİSYONLAR</b> .....                    | <b>15</b>  |
| <b>4.3 AZALTI MIŞ GÜRÜLTÜ</b> .....                              | <b>16</b>  |
| <b>4.4 SERA GAZINI AZALTMA POTANSİYELİ</b> .....                 | <b>17</b>  |
| <b>4.1 DAHA AZ ARAÇ BAKIMI</b> .....                             | <b>18</b>  |
| <b>5. TROLEYBÜS VE DİZEL OTOBÜS İLK MALİYET ANALİZLERİ</b> ..... | <b>19</b>  |
| <b>6. HİBRİT VE ELEKTRİKLİ(AKÜLÜ) OTOBÜSLER</b> .....            | <b>28</b>  |
| <b>7. TROLEYBÜS SİSTEMİ ÖRNEKLERİ</b> .....                      | <b>31</b>  |
| <b>7.1 ATİNA TROLEYBÜS İŞLETMESİ</b> .....                       | <b>31</b>  |
| <b>7.2 PARMA TROLEYBÜS İŞLETMESİ</b> .....                       | <b>31</b>  |
| <b>7.3 ZÜRİH TROLEYBÜS İŞLETMESİ</b> .....                       | <b>33</b>  |
| <b>7.4 DİĞER ÖRNEKLER</b> .....                                  | <b>34</b>  |
| <b>8. MALATYA ÖRNEĞİ</b> .....                                   | <b>35</b>  |
| <b>8.1 DURUM TESPİTİ</b> .....                                   | <b>35</b>  |
| <b>8.2 MOD SSEÇİMİ İÇİN SİSTEM KARŞILAŞTIRMALARI</b> .....       | <b>37</b>  |
| <b>8.2.1 Minübüs</b> .....                                       | <b>37</b>  |
| <b>8.2.2 Otobüs</b> .....  | <b>37</b>  |
| <b>8.2.1 Metrobüs</b> .....                                      | <b>38</b>  |
| <b>8.2.1 Hafif Raylı Sistemler</b> .....                         | <b>38</b>  |
| <b>8.3 KARAR SÜRECİ</b> .....                                    | <b>39</b>  |
| <b>8.4 İHALEYE HAZIRLIK</b> .....                                | <b>39</b>  |
| <b>8.4.1 Sistemin Kurulduğu Güzergahta Maliyet Analizi</b> ..... | <b>40</b>  |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>8.4.2 Güzergah Seçimi ve Trafolar.....</b>       | <b>44</b> |
| <b>8.4.3 Trolleybüs Araç Detayları .....</b>        | <b>45</b> |
| <b>8.5 İHALE .....</b>                              | <b>48</b> |
| <b>8.6 İMALAT SÜRECİ VE İŞİN TAMAMLANMASI .....</b> | <b>49</b> |
| <b>9. SONUÇ .....</b>                               | <b>52</b> |
| <b>TANIMLAR .....</b>                               | <b>54</b> |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>                               | <b>56</b> |

## TABLULAR

|  |    |
|--|----|
| Tablo 2.1: Trolleybüs Araç Sayısı Ve Bölgelere Göre Dağılımı .....                         | 6  |
| Tablo 2.2: 2012 Yılında Satılan Trolleybüslerin Ükelere Dağılımı.....                      | 7  |
| Tablo 3.1: Elektrik ve Dizel Yakıt Fiyatlarının Yıllara Artış Eğilimi .....                | 12 |
| Tablo 4.1: Dizel Otobüs- Trolleybüs Enerji Tüketimi .....                                  | 14 |
| Tablo 4.2: Yakıt Türüne Göre Enerji Tüketim Karşılaştırmaları.....                         | 15 |
| Tablo 4.3: Körüklü Otobüs ve Trolleybüsün Zararlı Salınım Karşılaştırılması.....           | 17 |
| Tablo 4.4: Dizel ve Elektrikli Araçların Zararlı Gaz Salınımı Karşılaştırması.....         | 17 |
| Tablo 4.5: Farklı Araçların Ürettiği Gürültü Seviyeleri .....                              | 18 |
| Tablo 4.6: Araçlara göre yıllık CO2 salınımı .....   | 19 |
| Tablo 5.1:12,5 Km İçin Dizel Ve Elektrik Kullanımına Bağlı Maliyet Analizi .....           | 21 |
| Tablo 5.2:12,5 Km İçin Dizel Ve Elektrik Kullanımına Bağlı Maliyet Analizi .....           | 22 |
| Tablo 5.3:12,5 Km İçin Dizel Ve Elektrik Kullanımına Bağlı Maliyet Analizi<br>Grafığı..... | 22 |
| Tablo 5.1: 20 Km İçin Dizel Ve Elektrik Kullanımına Bağlı Maliyet Analizi .....            | 23 |
| Tablo 5.2: 20 Km İçin Dizel Ve Elektrik Kullanımına Bağlı Maliyet Analizi .....            | 24 |
| Tablo 5.3:20 Km İçin Dizel Ve Elektrik Kullanımına Bağlı Maliyet Analizi<br>Grafığı.....   | 24 |
| Tablo 5.1:25 Km İçin Dizel Ve Elektrik Kullanımına Bağlı Maliyet Analizi .....             | 25 |
| Tablo 5.2:25 Km İçin Dizel Ve Elektrik Kullanımına Bağlı Maliyet Analizi .....             | 26 |
| Tablo 5.3:25 Km İçin Dizel Ve Elektrik Kullanımına Bağlı Maliyet Analizi<br>Grafığı.....   | 26 |
| Tablo 8.1: TUİK Mayıs 2010 Yılı Malatya İli 2023 Projeksiyonu .....                        | 39 |
| Tablo 8.2: Malatya Trolleybüs Güzergahı Çift Yön Saatlik Yolcu Sayıları .....              | 41 |
| Tablo 8.3: Malatya Trolleybüs Güzergahi Tek Yön Saatlik Sefer Sayıları .....               | 41 |
| Tablo 8.4: Malatya Trolleybüs Yolcu Kapasite Oranları .....                                | 42 |
| Tablo 8.5: Malatya Trolleybüs Güzergahi Yakıt Maliyet Analizi .....                        | 43 |
| Tablo 8.6: Üretilecek Trolleybüse Ait Teknik Özellikler .....                              | 47 |

## ŞEKİLLER

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1: Berlin’de Werner Von Siemens Tarafından “Electromote” Adı<br>Verilmiş Olan İlk Trolleybüs ..... | 4  |
| Şekil 2.2: Leeds şehrinde yapımı planlanan trolleybüs sistemi .....  | 6  |
| Şekil 2.3: Lyon Trolleybüs İşletmesinden Bir Trolleybüs Aracı .....  | 8  |
| Şekil 5.1: Trolleybüslerde Şerit Kullanma Genişliği .....  | 30 |
| Şekil 7.1: Atina Trolleybüs Sisteminde Kullanılan 18 metrelik Trolleybüs .....                             | 31 |
| Şekil 7.2: Parma Trolleybüs Sisteminin Güzergah Haritası .....   | 32 |
| Şekil 7.2: Zurih Trolleybüs Sisteminin Güzergah Haritası.....  | 33 |
| Şekil 8.1: Malatya Trolleybüs Güzergahı .....  | 45 |
| Şekil 8.2: Malatya Trolleybüs Güzergahi Durak Yerleşimi .....  | 46 |
| Şekil 8.3: Malatya Trolleybüs Trafo Yerleşimi ve Depo Binası.....  | 46 |
| Şekil 8.4: Üretilen Trolleybüse Ait Tip Ve Teknik Yerleşim Detayları .....                                 | 48 |
| Şekil 8.5: Üretilecek Trolleybüse Ait Dış Görüntü .....  | 48 |
| Şekil 8.6: Havai Hat(Katener Sistemi) Montaj Çalışmaları.....  | 50 |
| Şekil 8.7: Üretilen Trolleybüse Ait İç Görüntü .....   | 51 |
| Şekil 8.8: Tamamlanan Trolleybüse Ait Bir Görüntü.....   | 51 |

## KISALTMALAR

- AC** : Alternating Current  
**APU** : Auxiliary Power Unit  
**BRT** : Bus Rapid Transit  
**CNG** : Compressed Natural Gas  
**DC** : Direct Current  
**LCC** : Life Cycle Cost  
**NBD** : Net Bugünkü Değer  
**UITP** : Uluslararası toplu taşımacılar birliği.

## 1. GİRİŞ

Toplu taşıma sistemleri, performans, teknoloji, kalite, maliyet ve çevresel etkiler açısından ele alınır. Performans denilince sistemler verimlilik, kapasite ve hız açısından incelenir. Şehrin boyutu ve kendine özel koşulları dikkate alınarak şehir planlaması gerçekleştirilir. Günümüzde şehir planlaması iki tane ana strateji çerçevesinde ele alınmaktadır: Sürdürülebilir gelişme ve kaliteli yaşam standartları. Kaliteli yaşam standartlarının sürdürülebilir bir şekilde geliştirilerek devam ettirilebilmesi dengeli bir şehiriçi taşımacılık sisteminin kurulması ile mümkündür.

Yüksek dizel fiyatları, artan ekolojik zararlı emisyon miktarları ve kamu sektörlerindeki kronik finansal problemler modern trolleybüs sistemlerini daha çekici hale getirmektedir. “Sıfır” emisyonlu ve yüksek verimli modern trolleybüs sistemleri bir çok şehrin trafik problemini diğer toplu taşımacılık modlarına göre çok daha hızlı ve maliyet etkin şekilde çözebilir. Modern trolleybüs sistemleri, şehir dostu tramvay sistemlerinin getirdiği avantajları çok daha hızlı, ve düşük ilk yatırım maliyeti ile sağlayabilir. Modern trolleybüs sistemleri tek yönde saatte 10.000 yolcu kapasitesine ulaşabilir.

Finansal ve çevresel etki yönünden giderek artan baskılar ile birçok yeni karayolu ulaşımı projesinde elektrikli ulaşım sistemleri detaylı ele alınmaya başlanmış ve lastik tekerlek üzerinde elektrikli tahrik sistemleri ön plana çıkmaya başlamıştır. Bu opsiyonların içinde en yapılabilir olanı trolleybüs sistemleridir. Şangay şehri yaklaşık 100 yıldır kesintisiz olarak trolleybüs işletmektedir. Moskova’da 1933 yılında açılan trolleybüs sistemi yaklaşık 1500 trolleybüs ile hizmet vermeye devam etmektedir. Roma trolleybüs sistemini tekrar işletmeye almıştır. Philadelphia, Riga ve Milano filolarını yenilemiştir. Son üç olimpiyata ev sahipliği yapmış olan Atina, Pekin ve Vancouver şehirleri trolleybüs sistemlerini yenilemiş veya genişletmişlerdir. Dünya’da kırbinden fazla trolleybüs işletmede yolculara hizmet vermeye devam etmektedir.



Modern trolleybüs sistemleri tramvay teknolojilerindeki ilerlemelerin aynısına sahiptirler. Aynı elektrik tahrik ve kontrol sistemleri ve düşük taban uygulamalarını içermektedirler. Havai hat sistemlerinde de ilerlemeler kaydedilmiş ve görüntü olarak daha zarif hale getirilmiştir. Araçüstü küçük dizel generatörler veya bataryalar ile havai hatsız bölgeleri geçebilme kapasitesine sahiptirler. Örneğin Roma'da merkezi bölgede 3 km'lik kısımda havai hat bulunmamaktadır.

Trolleybüs ve otobüslerin direksiyon kontrolü ve araç gövdeleri neredeyse aynıdır. Ancak, elektrik tahrik güçlü çekiş sayesinde trolleybüsler raylı modlara benzer performans özellikleri sunar. Elektrikli tahrik ile lastik tekerlek kombinasyonu trolleybüslere iki mükemmel nitelik kazandırır: iyi bir performans ve düşük negatif çevresel etki. Yüksek ama yumuşak hızlanma ve yokuş tırmanma yeteneği yolcular tarafından takdir edilmektedir. Yolcular ve işletildiği bölgelerdeki nüfus arasında hizmetin aşırı sessizliği(trolleybüs diğer ulaşım modlarına göre daha az gürültü üretir) ve hava kirliliği olmaması ile popülerdir. Tek olumsuz tarafı bir çok hat bulunması durumunda kavşak noktalarında estetik olarak kötü görünen havai hat ağları olabilir ki onlarda genellikle ayrıntılı olarak tasarımılandırılırlar.

Trolleybüslerin dezavantajı elektrifikasyon sistemlerinin ilk kurulum ve bakım maliyetleridir. Geçici rota değiştirme yeteneği aracın tasarımına bağlıdır: bir yardımcı motor ile trolleybüsler havai hat teması olmaksızın birkaç blok seyahat edebilir. En ciddi olumsuzluk ise trolleybüs maliyetlerinin normal otobüslere göre yaklaşık yüzde 50-80 daha yüksek olmasıdır. Ancak, yaklaşık yüzde 100 daha uzun ömürlü olmaları bu farkı büyük oranda dengeler.

Trolleybüs işletme giderleri büyük ölçüde elektrik fiyatlarına bağlıdır. Birçok şehir daha iyi performans, daha çevre dostu ve herhangi bir birincil enerji kaynağından elde edilebilir elektrik kullanımı gibi üstün özellikleri için daha yüksek ilk maliyet bedelini ödeyerek trolleybüs sistemlerini tercih etmektedir.

Otobüsler ile karşılaştırıldığında trolleybüsleri avantajlı hale getiren ana koşullar aşağıdakilerden biri veya bir kaçının kombinasyonudur:

1. Eğimli arazilerde en yüksek tırmanma gücüne sahip toplu taşımasistemidir ve bu tür bölgelerde tercih sebebidir (Belgrad, San Francisco, Seattle).
2. Düşük gürültü ve hava kirliliğinin önem arz ettiği yerlerde tercih sebebidir (örneğin Atina ve Salzburg gibi tarihi şehirler).
3. Orta ve yoğun yolcu hacimleri olan yerlerde kullanımı fizibildir (Atina, Milano, SaoPaulo).
4. Yakıt olarak dizele karşı elektriğin tercih edilmesi, petrol ithalatının azaltılması hedeflenen yerlerde kullanımı yaygındır (İsviçre, Doğu Avrupa ülkeleri, Rusya, Çin).
5. Elektrik tedarik sistemlerinin Belediye'nin mülkiyetinde olması ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretilebilme imkânı elektrikli sistemlere ilgiyi artırmaktadır. (Malatya trolleybüs sisteminin kullanacağı depo binasının çatısına güneş enerjisinden elektrik üretimi için güneş panelleri kurulacak ayrıca şehir suyu şebekesi üzerinde hidroelektrik santral kurulacaktır. Bu sayede hem trolleybüs sisteminin hem de belediyenin diğer birimlerinin elektrik tüketimine yetecek kadar enerji üretilmesi sağlanacaktır.)

## 2. TROLEYBÜS SİSTEMLERİNİN TARİHÇESİ

İlk trolleybüs 1882 yılında Berlin'in banliyö bölgelerinde ortaya çıkmıştır. O zamanlar Raysız Tramvay olarak adlandırılan sistem tramvay sistemine göre çok daha düşük yatırım ve işletme maliyeti ve esnekliği getirmişti. İlk düzenli trolleybüs hattı 1890 yılında Dakota (US) şehrinde işletmeye açılmıştır. Kötü yol koşulları ve pnömatik sistemlerin seviyesi sebebi ile ilk yıllarda hızlı yayılamayan trolleybüs sistemleri gerçek genişlemesini 1930'lerden sonra göstermiş ve birçok eski Sovyetler Birliği, Batı Avrupa ve Amerika şehrinde yayılmıştır.

**Şekil 2.1: Berlin'de Werner Von Siemens tarafından Electromote adı verilmiş olan ilk trolleybüs**



*Kaynak:* <http://en.wikipedia.org/wiki/Trolleybus>

Prof. Vukan R. Vuchic kitabında, trolleybüs sistemlerinin geçmişini kısaca özetleyip yüksek ilk yatırım maliyeti ve kavşaklardaki görüntü kirliliği gibi sebeplerle trolleybüslerin bir çok şehirde kullanımdan kalktığını veya azaldığını anlatmaktadır. Londra şehrinde II. Dünya Savaşı döneminde 1500 Trolleybüs kullanılmakta olduğu belirtilen kaynakta 1970'lerden sonra yaşanan gelişmelerin Trolleybüslere karşı olumlu yönde bir tutum değişikliğine neden olduğu belirtilmektedir. 2000 li yıllarda bu tutum değişikliği bir çok yeni yatırımın başlamasının önünü açmış ve bir çok şehir yeni trolleybüs hatları açmış veya yeni sistemler kurmuştur.

Bu tutum deęişiklięinin ana sebepleri;

1. Minimum maliyet yerine hizmet kalitesine ilgiyi yükselten toplu taşımaya kamunun mali yardım yapması veya daha kolay kredi bulma imkanı
2. Gürültü ve hava kirliliği açısından trolleybüslerin mükemmel özelliklerinin tanınmasına sebep olan çevre duyarlılığının artması
3. Elektrikli tahrik kullanımı ile petrole bağımlılığın azaltılmasının önemli bir faktör haline gelmesi
4. Yolcu sayıları, yol yapıları ve finans durumları gibi sebeplerden dolayı diğer elektrikli (metro, hafif raylı sistem, tranvay) toplu taşıma araçlarına yatırım imkânı bulmayan şehirlerin alternatif elektrikli toplu taşıma arayışları şeklinde sıralanabilir.

Bugün trolleybüs sistemleri Rusya ve Doğu Avrupa ülkelerinde araç sayısı, taşınan yolcu sayısı ve ulaşımdaki payı açısından tramvay sistemleri ile eşit paya sahiptir. 86 EU şehirde trolleybüsler temel taşımacılık modu olarak hizmet vermektedirler, ve birçok şehirde de genişleme planları yapılmaktadır. İtalya ve İsviçre toplam 29 trolleybüs firması ile birinci sınıf teknoloji kullanmaktadır. Avrupa birliğinde en yaygın sistem Atina şehrinde dir. Olimpiyat oyunlarında sistem genişletilmiş ve sonrasında da sisteme üç hat daha ilave edilmiştir. Riga, Vilnius, Kaunas, Budapeşte ve Tallinn şehirleri geçtiğimiz yıllarda Trolleybüs sistemlerini yenilemişlerdir.

İngiltere’de Leeds şehri detaylı araştırmalarla mevcut teknolojileri ve sistemleri maliyet ve genel etkileri açısından kıyaslamış ve tercihinin yeni nesil ulaştırma sistemi olan modern trolleybüs sistemi olması gerektiğine karar vermiştir. İngiliz Ulaşım Bakanlığı 14 km’lik trolleybüs sistemine 5 Temmuz 2012 tarihinde onay vererek süreci başlatmıştır. Projenin inşasına 2016 yılında başlanıp 2018’de bitirilmesi planlanmaktadır.

## Şekil 2.2: Leeds şehrinde yapımı planlanan trolleybüs sistemi



Kaynak: <http://www.tbus.org.uk/leeds.htm>

Günümüzde mevcutta kullanılan trolleybüs araçlarının sayıları ve bunların bölgelere göre dağılımı Tablo 2.1’de verilmiştir. Dünya’daki trolleybüs hatlarında 40.000’in üzerinde trolleybüs aracı hizmet vermektedir. Yarısından fazlası Avrasya bölgesindedir. 2010 yılında, Rusya 4884 km toplam yolda işletilen 11.232 trolleybüs aracına sahiptir. 2012 yılı itibari ile Kazakistan’da 325 km yolda 235 araç ile işletilen trolleybüs sistemleri mevcuttur.

**Tablo 2.1: Trolleybüs araç sayısı ve bölgelere göre dağılımı**

| Bölge                | Toplam Trolleybüs Sayısı |
|----------------------|--------------------------|
| Doğu Avrupa          | 4482                     |
| Batı Avrupa          | 1893                     |
| Avrasya              | 26666                    |
| Kuzey Amerika        | 1926                     |
| Güney Amerika        | 828                      |
| Avustralya-Endonezya | 60                       |
| Asya                 | 4810                     |
| <b>Toplam</b>        | <b>40665</b>             |

Kaynak: <http://www.tbus.org.uk/article.htm>

Son yıllarda büyük sayılarda trolleybüs araç siparişleri verilmiştir. Bu şehirlerden bazıları, Athens, Arnhem, Bern, Bologna, Boston, Dayton, Esslingen, Genoa, Lausanne, Linz, Lyon, Naples, St. Etienne, Salzberg, San Francisco, Sao Paulo, Seattle ve

Solingen vb şehirlerdir. 2000 yılından sonra 218 şehir için 7958 Trolleybüs satılmıştır. Aşağıdaki tabloda (Tablo 2.2) gösterilen sadece 2012 yılında açılan hatlar bile trolleybüslere eğilimlerin olumlu yönde ciddi anlamda arttığını göstermektedir.

**Tablo 2.2: 2012 yılında satılan bazı trolleybüslerin ülkelere dağılımı**

| Ülke            | Şehir          | Araç Sayısı | Açılış Yılı |
|-----------------|----------------|-------------|-------------|
| Ukrayna         | Kiev           | 202         | 2012        |
| Ukrayna         | Crimea         | 56          | 2012        |
| Brezilya        | Sau Paulo      | 120         | 2012        |
| Çin             | Beijing        | 180         | 2012        |
| İtalya          | Parma          | 9           | 2012        |
| İtalya          | Milano         | 15          | 2012        |
| İtalya          | Cagliari       | 16          | 2012        |
| Fransa          | Limoges        | 4           | 2012        |
| İsviçre         | Zürih          | 12          | 2012        |
| Slovakya        | Presov         | 20          | 2012        |
| Çek Cumhuriyeti | Hradec Kralove | 31          | 2012        |

*Kaynak:* <http://www.tbus.org.uk>

1970 li yıllardan sonra trolleybüslerin kullanımındaki düşüş eğilimin genel olarak durduğu, yerine yeni sistemlerin kurulumu ve yeni araçların üretiminin ve siparişlerin arttığı görünmektedir. Bu ulaşım modu bir çok şehirde önemli bir rol olmaya devam edecek ve yeni şehirlerin de toplu taşıma konusunda çıkış noktası olacaktır. Özellikle Türkiye gibi toplu taşımanın yerel yönetimler veya kısıtlı imkânlarla sahip özel sektör eliyle yürütülen ülkelerde çok daha önemli bir işlev görecektir.

**Şekil 2.3: Lyon trolleybüs işletmesinden bir trolleybüs aracı**



*Kaynak:* <http://www.sytral.fr/14-tcl-trolleybus.htm>

### 3. TROLEYBÜS SİSTEMİNİN AVANTAJLARI

Otobüsler toplu taşımacılıkta en yaygın kullanılan moddur. Ancak, karbondioksit, azot ve belki de en zararlı element olan mikropartiküller içeren egzost gazı emisyonu sebebi ile tercih edilen mod değildir. Bundan dolayı elektrik tahrikli araçların kullanımı, çevresel etkilerinin azlığı sebebi ile daha çok arzu edilmektedir. Şehir caddelerindeki çevresel kirliliği tamamen yok etmenin en pratik yolu budur. Ayrıca, elektrik tahrikli araçlar, içten yanmalı motor kullanan araçlara göre daha verimlidir. Geleceğin yakıtı olan elektrik enerjisi, kullanım noktasında en temiz, esnek ve kullanışlı olan yakıttır. Doğal, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı çevreyi korumaktadır.

Trolleybüslerin bir diğer ekolojik avantajı da lastik tekerlek kullanmasıdır ki bu özelliği ile en sessiz toplu taşımacılık modudur. Ayrıca lastik tekerlek ve elektrikli motor beraber düşünüldüğünde eğimli yollarda en çok tercih edilen araçlar olmaktadır. Diğer avantajları olarak yumuşak hızlanma ve frenleme, araç içi düşük gürültü, ve dururken titreşim oluşturmaması sayılabilir. Ayrıca, modern teknoloji ile düşük tabanlı imal edilebilmektedirler. Bütün bu sebepler, trolleybüsleri toplu taşımacılık için yolcular açısından çekici duruma getirmektedir.

Trolleybüslerde araç üstünde enerji kaynağının olmaması birçok avantaj getirmektedir: Araç kütlesi daha azdır, yolcular için daha fazla alan sağlanabilmektedir ve araç güvenilirlik seviyesi artmaktadır.

Trolleybüs sistemlerinin ilk yatırım maliyeti otobüs sistemlerine göre daha fazla olmaktadır. Ancak, bu fark daha uzun işletme ömrü ve daha olumlu çevresel etkiler ile kapanmaktadır. Rusya Ulaştırma Bakanlığının 2001 yılı verilerine göre trolleybüs sistemlerinin işletme maliyeti 0,531 Eurocent/koltuk/km iken otobüs sistemlerinde bu rakam 0,596 Eurocent/koltuk/km'dir. Trolleybüs sisteminin rakamı yüzde 12.1 oranında daha düşüktür. Milano şehrinin verilerine göre trolleybüslerin hizmet ömrü 20 yıl iken bir çok otobüs için bu rakam 14 yıldır. Genel olarak otobüslerin hizmet ömrü 12-13 yıl, trolleybüslerin hizmet ömrü 25-26 olarak kabul görmektedir.



Trolleybüs araçları bir çok farklı boyutta üretilebilmektedir. Genellikle 12 m solo ve 18 m'lik körüklü modeller tercih edilmektedir. Bir çok üreticinin 24 m'lik modeli de mevcuttur. Trolleybüslerin imalat sayısı arttıkça trolleybüs maliyetleri düşecektir. 2000-2005 yılları arasında fiyatlar, artan pazar talebi, ihale süreçlerinin iyileştirilmesi ve standardizasyon sayesinde yüzde 20-25 oranında azalma göstermiştir. Sadece Vossloh Kiepe firması 1980-2008 arasında 1354 adet Trolleybüs elektrikli tahrik sistemi satmıştır. “www.tbus.org.uk”sitesindeki “Tbus Systems” dosyasında verilen bilgilere göre 2000-2012 tarihleri arasında satılan trolleybüs sayısı 7692 adettir. Bu satış rakamının yarısına yakını, 3535 adedi, 4 sene içinde, 2008-2012 döneminde gerçekleşmiştir.

Bu gidişat trolleybüs sistemlerinin en büyük dezavantajı olan ilk satın alma maliyetinin yüksek olması hususunda iyileşme sağlamaya devam edecektir. Modern trolleybüs tasarımlarında her tekerleğin ayrı motor ile tahrik edilmesi ile yüzde100 düşük tabanlı, tekerlekli sandelye ile binmeye uygun trolleybüsler en zorlu şartlara göre tasarım edilmektedir. Modern trolleybüsler APU (Yardımcı Güç Ünitesi) ile donatılarak havai hatların olmadığı yerlerde hareket olanağı kazandırılmaktadır. En çok tercih edilen opsiyonlar 50-75 kW arası dizel alternatör üniteleridir. Ancak, batarya ve süper kapasitör opsiyonları da mevcuttur. Son yıllarda bataryalarda meydana gelen olumlu gelişmelere paralel dizel alternatörler yerini bataryalara bırakmıştır. AC cer motorları dizel motorlara oranla daha fazla güç/kg oranı sunmaktadırlar. İnverter sürücülü olan bu cer motorları trolleybüsleri 1.3 m/s<sup>2</sup> ivme değeri ile hızlandırabilmektedirler ve bu hızlanma değerini 25-30 km/h değerine kadar sağlayabilmektedirler.

Trolleybüslerin dik yokuşları tırmanma yeteneği dizel otobüslere göre daha iyidir. Cer motorları neredeyse bakımsız denilebilir. Frenlemenin büyük kısmı elektriki olarak gerçekleştirildiği için fren sistemlerinin bakım masrafı da azdır. Regeneratif frenleme sisteminin kullanılabilmesi enerji tüketim değerini aşağıya çekmektedir.

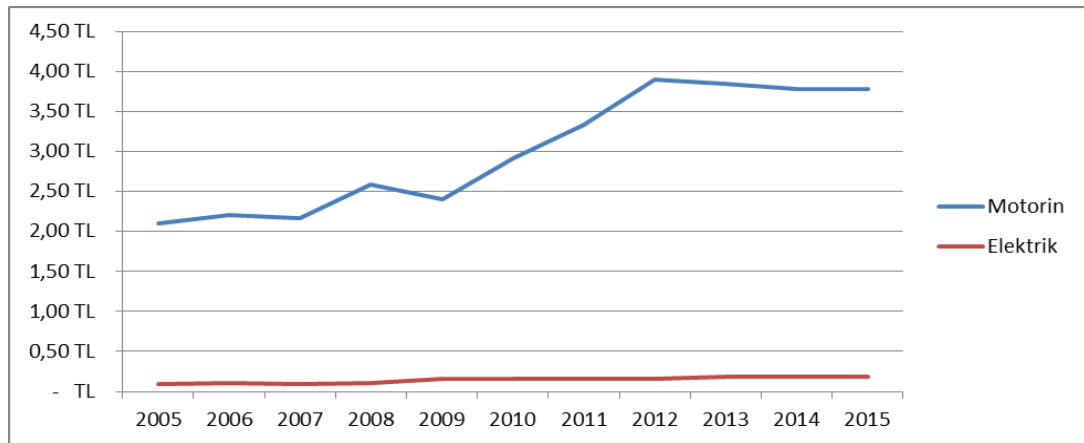
Her ne kadar bazı uzmanlar tersini belirtse de katener sisteminin oluşturduğu görsellik ele alındığında otobüs sistemleri trolleybüs sistemlerinin önünde görünmektedir.

Araştırmalar göstermiştir ki trolleybüs sistemleri kullanıcılar tarafından otobüs sistemlerine göre daha fazla kabul görmektedir. Havai hatların sürekli olarak görünmesi aslında bir avantajdır. Çünkü net bir şekilde hattın görünüyorsa toplu taşıma sistemlerine erişimi iyileştirmektedir.

Birçok uzman havai hatların tramvaylardaki raylar gibi yolculara güven telkin ettiğini ve yolculuk sayısını arttırdığını düşünmektedirler. Salzburg, Arnhem, Limoges ve Landskrona şehirlerinde bu deneyim yaşanmış ve buralarda modern trolleybüs sistemleri yolcular tarafından yüksek kaliteli sistemler olarak kabul görmektedirler. Tramvay opsiyonuna karşı uygun bulunarak inşa edilmiş olan Landskrona sisteminde makas bölgeleri kullanılmamış, araçlar hat sonlarında looplarda dönüş yapmaktadırlar. Hat üzerinde ise kendi batarya sistemleri ile istenen manevraları gerçekleştirebilmektedirler.

2005-2015 yılları arasında birim ham petrol ve elektrik enerji bedellerinin değişimi aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.1). Grafikten görüleceği üzere ham petrol fiyatları ciddi risk içermekte iken elektrik enerjisinin fiyatı daha stabildir. Yıllar içinde dizel fiyatının artışı ve trolleybüs sistemlerinin ilk maliyetlerindeki düşüş sebebi ile sistemler arasındaki başabaş noktasını yakalamanın daha az kilometrede gerçekleşeceği anlaşılmaktadır. İlk yatırım ve yakıt masrafları dikkate alındığında yolculuk değerlerinin yüksek olduğu hatlarda yakıt ekonomisi açısından trolleybüs sistemleri dizel otobüslere göre daha avantajlı duruma geçmektedir.

**Tablo 3.1: Elektrik ve dizel yakıt fiyatlarının yıllara artış eğilimi**



Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

### 3.1 TROLEYBÜS SİSTEMLERİNİN ÖNE ÇIKAN FAYDALARI:

1. Karayolunu kullanan en verimli toplu taşıma modudur. Yakıt olarak elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Bu da kaynak esnekliği, verimlilik ve çevreye duyarlılık demektir.
2. Yerel kirlenmeye yol açmaz. Çevre dostu elektrikli tahrik sistemi, enerjinin harcandığı nokta olan şehir merkezlerinde sıfır emisyon demektir.
3. Üretim miktarındaki ve dış gövde kalitesindeki artışla birlikte ucuzlamakta olan araçlara sahiptir.
4. İşletmesi karlı bir sistemdir, çünkü trolleybüs araçları titreşim yokluğu, elektriksel yalıtım için daha dayanıklı dış gövde zorunluluğu vb sebeplerden dolayı dizel otobüslere göre yaklaşık iki kat daha uzun ömürlüdür.
5. Sessiz ve huzur vericidir. Lastik tekerlekler tramvayların demir tekerlerine göre çok daha az gürültü çıkarır. Araç içinde geniş alan ve araç dışı enerji üretimi ile yolculara daha uygundur.
6. İndirgenmiş maliyet ve işletme maliyetleri dizel otobüslere göre daha azdır. Kaldı ki fosil yakıt maliyetlerinin gelecekte gidebileceği tek bir yön varken, elektrik enerjisi birçok farklı yenilenebilir kaynaktan tedarik edilebilmektedir.
7. Hafiftirler ve bütün sistem ara yüzü tesisleri tramvaylara göre daha ucuzdur.
8. Hibritleştirilmeye uygundur. Araç üstü depolama veya jeneratör üniteleri ile bağımsız şekilde çalışabilirler. Hibrit trolleybüsler havai hatlardan bağımsız çalışabilirler. Kazalar, planlı bakım bölgeleri, araç blokajları vb. zorluklar yaşanmadan aşılabilir.
9. Son derece dinamik, emniyetli, topografya ve araç yükünden bağımsız olarak kolayca hareket edebilirler.
10. Verimli, yüksek kapasiteli ve yüksek teknolojiye araçlar ile kendine özel yollarda yüksek hızlarda seyahat edebilirler.
11. Araçlar ve güzergâh açısından en düşük ilk yatırım maliyeti ve en kısa proje uygulama süresine sahip elektrikli ulaşım sistemi modudur.
12. Ulaşım kapasitesine ve çevreye olumlu katkısını hızlı bir şekilde gösterebilmesi ile yerel halkın kaygıları açısından kabul edilebilir bir sistemdir.

#### 4. TROLEYBÜS SİSTEMİNİN ÇEVRESEL FAYDALARI

Çevreye verilen önem ve çevre kirleticileri azaltmak için konulan hedeflere yönelik yapılan çalışmalar büyük artış göstermektedir. Bu hedeflere ulaşmada en etkin yöntem fosil yakıt kullanımının azaltılmasıdır. Ancak, böyle büyük bir azalma bir gecede oluşmaz. Çevre kirleticilerini azaltmak için umut verici olan mevcut teknolojileri bir araya getirerek gelecek için planlama yapılması gerekmektedir.

Zararlı emisyonlara en önemli katkıda bulunan sistemlerden biri içten yanmalı motorlardır. Bu motorların çevresel etkilerini azaltmak için tüm ulaşım alanlarında ona olan bağımlılığın azaltılmasına ilişkin yolların incelenmesi gerekmektedir. Otomobil sürücülerinin araçlarını bırakıp otobüslere binmesini sağlamak yetmez. Otobüslerde ciddi anlamda zararlı emisyonlarda bulunmaktadır. İşletmecilerin bunu dikkate alarak temiz toplu taşıma sistemlerine geçmesi gerekmektedir.

Temiz toplu taşıma araçları bugünkü kabul ile daha az veya hiç fosil yakıt kullanmayan alternatif teknolojilerdir. Kendini ispatlamış ve uzun süredir hizmet vermekte olan trolleybüsler bu alternatiflerin en güçlüsüdür. Trolleybüs sistemlerinin çevresel yönden incelenmesi ve enerji verimlilikleri aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

##### 4.1 DAHA İYİ ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Elektrik motorunun verimi yüzde 95-97 ve modern bir gaz türbini santralinin verimi ise genelde yüzde 60 civarındadır. Bunlara kıyasla dizel motor ancak yüzde 40 verimlilik oranına sahiptir ve bu noktada teknoloji teorik üst sınıra oldukça yaklaşmıştır. Bu, trolleybüslerin daha az atık üreterek daha verimli bir enerji kullanımı gerçekleştirdiği anlamına gelir(Tablo 4.1).

**Tablo4.1: Dizel otobüs-trolleybüs enerji tüketimi**

| Araç         | MJ/araç/km |
|--------------|------------|
| Dizel Otobüs | 24.1       |
| Trolleybüs   | 9.84       |

Kaynak: <http://www.tbus.org.uk>

**Tablo 4.2: Yakıt Türüne Göre Enerji Tüketim Karşılaştırmaları**

|   | 12 m<br>Otobüs | 12 m<br>Otobüs | 12 m<br>Trolleybüs | 18 m<br>Otobüs | 18 m<br>Otobüs | 18 m<br>Trolleybüs | 25 m<br>Trolleybüs | 32 m<br>Tramva<br>y |
|---|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Yakıt<br>Tipi   | Dizel          | Cng            | Elektrik           | Dizel          | Cng            | Elektrik           | Elektrik           | Elektrik            |
| 100 km'de<br>Tüketilen<br>Enerji                                    | 50<br>LT       | 55<br>M3       | 150<br>KW          | 60<br>LT       | 65<br>M3       | 200<br>KW          | 300<br>KW          | 500<br>KW           |
| 100 km'de<br>Tüketim<br>Bedeli (TL)                                 | 197,5<br>TL    | 151,25<br>TL   | 39<br>TL           | 237<br>TL      | 178,75<br>TL   | 52<br>TL           | 78<br>TL           | 130<br>TL           |
| Günlük<br>Tüketim<br>(300 Km)                                       | 150<br>LT      | 165<br>M3      | 450<br>KW          | 180<br>LT      | 195<br>LT      | 600<br>KW          | 900<br>KW          | 1500<br>KW          |
| Günlük<br>Tüketim<br>Bedeli (TL)                                    | 592,5<br>TL    | 453,75<br>TL   | 117<br>TL          | 711<br>TL      | 536,25<br>TL   | 156<br>TL          | 234<br>TL          | 390<br>TL           |
| Aylık<br>Tüketim<br>(9000 Km)                                       | 4500<br>LT     | 4950<br>LT     | 13500<br>KW        | 5400<br>LT     | 5850<br>LT     | 18000<br>KW        | 27000<br>KW        | 45000<br>KW         |
| Aylık<br>Tüketim<br>Bedeli(TL)                                      | 17775<br>TL    | 13612,5<br>TL  | 3510<br>TL         | 21330<br>TL    | 16087,5<br>TL  | 4680<br>TL         | 7020<br>TL         | 11700<br>TL         |
| Yıllık<br>Tüketim<br>(100000<br>Km)                                 | 50000<br>LT    | 55000<br>LT    | 150000<br>KW       | 60000<br>LT    | 65000<br>LT    | 200000<br>KW       | 300000<br>KW       | 500000<br>KW        |
| Yıllık<br>Tüketim<br>Bedeli (TL)                                    | 197500<br>TL   | 151250<br>TL   | 39000<br>TL        | 237000<br>TL   | 178750<br>TL   | 52000<br>TL        | 78000<br>TL        | 130000<br>TL        |
| <b>Dizel= 3,95 TL/Lt    Elektrik= 0,26 TL/Kw    CNG= 2,75 TL/Lt</b> |                |                |                    |                |                |                    |                    |                     |

Kaynak: Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

## 4.2 DAHA AZ KİRLLETİCİ EMİSYONLAR

Kirletici emisyonlar, yanmanın zehirli yan ürünleridir. Bunlar hava kirliliği gibi olumsuz çevresel şartlara neden olur ve insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemektedirler. Dizel egzoz dumanı kanserojen madde içerir. Kirletici emisyonlar, CO (Karbonmonoksit), NO<sub>x</sub> (azotoksitleri), SO<sub>x</sub> (kükürt oksitleri) ve Partikül Madde gibi ürünlerden oluşmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, bunlar ve diğer kirleticilerin yol açtığı solunum yolu rahatsızlıkları önemli bir ölüm nedenini oluşturmaktadır. Toronto'da, hava kirliliğinin yıllık sağlık maliyetinin beş milyar doların üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Londra'da, bir çalışma hava kirliliğinin trafik kazalarından daha fazla ölüme yol açtığını ortaya çıkarmıştır.

Motorlu otobüsler, özellikle dizel otobüsler, önemli miktarlarda kirletici emisyon üretirler. Hidroelektrik enerji ile çalışan trolleybüs sistemlerinde ise hiç emisyon bulunmaz. Sık otobüs seferleri olan sokaklarda yoğun bulunan kirletici emisyonlar yayalar ve yolcular için tehlike oluşturmaktadır. Bu özellikle yoğun yaya trafiği olan şehir merkezi alanlarında böyledir. Clark Üniversitesinden Prof Dale Hattis'e göre metreküp başına 1 mikrogram dizel egzozuna düzenli maruz kalınması milyon nüfus başına 230-350 ek kanser vakasına neden olmaktadır. Yoğun dizel otobüslerinin işlediği güzergahlarda genellikle bu değerden kat kat daha yüksek konsantrasyonlarda egzoz gazı bulunmaktadır. Trolleybüsler sokak seviyesinde hiçbir emisyon üretmez ve bu yüzden dizel otobüslere göre yayalar ve yolcular üzerinde doğrudan sağlık etkisi bulunmaz. Slaven Tica yapmış olduğu bir çalışmanın neticesinde elde etmiş olduğu zararlı emisyon değerlerini aşağıdaki tablodaki gibi yayınlamıştır (Tablo 4.2).

Tablolardaki değerler incelendiği zaman zararlı madde salınımlarının tümünde trolleybüs sistemleri en az değerleri vermektedir. Eğer, trolleybüs sisteminin elektrik enerjisi hidroelektrik veya yenilenebilir kaynaklardan sağlanıyorsa global emisyon değerleri sifıra çok yakın değerlere inmektedir.

**Tablo 4.3: Körüklü otobüs ve trolleybüsün zararlı salınım karşılaştırması**

| Değerler        | Yerel Zararlı Salınım |                           | Global Zararlı Salınım |                            |                             |
|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                 | Körüklü Otobüs (g/km) | Körüklü Trolleybüs (g/km) | Körüklü Otobüs (g/km)  | Körüklü Trolleybüs (g/km)* | Körüklü Trolleybüs (g/km)** |
| SO <sub>2</sub> | 1,07                  | 0                         | 1,7                    | 0,86                       | 0,43                        |
| NO <sub>2</sub> | 23,6                  | 0                         | 24,2                   | 1,31                       | 0,66                        |
| CO              | 0,47                  | 0                         | 4,8                    | 0,61                       | 0,31                        |
| CO <sub>2</sub> | 1204                  | 0                         | 1314                   | 912                        | 456                         |
| Partikül        | 0,47                  | 0                         | 0,5                    | 0,25                       | 0,13                        |

\*Fosil yakıtlı elektrik \*\*Hidroelektrik santralinden elde edilen elektrik

Kaynak: Slavan Tica, International Journal for Traffic and Transport Engineering

**Tablo 4.4:Dizel ve elektrikli araçların zararlı gaz salınımı karşılaştırması**

| Yakıt Türü                              | Particüller | NO <sub>x</sub> | CO          |
|---|-------------|-----------------|-------------|
| Konvansiyonel Dizel                     | 1.3-3.5     | 22.0-38.0       | 10.0-30.0   |
| Temiz Dizel                             | 0.1-1.77    | 10.75-21.0      | 3.1-24.3    |
| Doğal Gaz                               | 0.016-0.051 | 3.60-13.0       | 5.63-6.0    |
| Dizel/Elektrik Hibrit                   | 0.017-0.23  | 6.64-8.6        | 0.08-2.5    |
| Trolleybüs (Karışık Kaynaktan)          | 0-0.2       | 2.91-3.69       | 0.056-0.144 |
| Trolleybüs (Doğalgaz Santralinden)      | 0           | 1.98-3.12       | 0.04-0.06   |
| Trolleybüs (Hidroelektrik Santralinden) | 0           | 0               | 0           |
| Trolleybüs (Yenilenebilir Kaynaklardan) | 0           | 0               | 0           |

Kaynak: <http://www.tbus.org.uk>

### 4.3 AZALTILMIŞ GÜRÜLTÜ

Gürültü de bir kirleticidir. 85 desibel üzerindeki gürültüye maruz kalmak işitme kaybına neden olabilir. Çalışmalar trolleybüs geçen sokakta gürültünün ortam seviyesinin üzerinde olmadığını göstermektedir.

Dizel otobüs, özellikle hızlanırken, trolleybüsten çok daha fazla gürültü enerjisi üretir ve

daha sessiz sokaklar ve mahalleleri kurmak için verilen çabalar üzerinde olumsuz etki yapar. Dizel otobüsler genellikle araç ve motor büyüklüğüne göre 80-90 desibel seviyelerinde gürültü üretir. CNG araçları 75 desibelden biraz daha sessizdir ama yine de trolleybüslerin rakibi olmazlar. Trolleybüs işletilen bazı bölgelerde sokak gürültüsüne eşdeğer bir gürültü ürettikleri için yayalar tarafından fark edilmediği bu yüzden araçlara uyarcı olarak zil takıldığını görülmüştür.

Kuzey Amerika'da gerçekleştirilmiş bir çalışma sonucunda farklı araçların ürettiği gürültünün seviyeleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 4.3).

**Tablo 4.4: Farklı araçların ürettiği gürültü seviyeleri**

|                             | <b>dbA</b> |
|-----------------------------|------------|
| <b>İşitme Kaybı</b>         | 90+        |
| <b>Dizel Otobüs</b>         | 80-90      |
| <b>CNG Otobüs</b>           | +75        |
| <b>Yakıt Hücreli Otobüs</b> | <70        |
| <b>Trolleybüs</b>           | 60-70      |
| <b>Sessiz bir cadde</b>     | 60         |

*Kaynak:* <http://www.tbus.org.uk>

#### **4.4 SERA GAZI SALINIMINI AZALTMA POTANSİYELİ**

Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) küresel ısınmaya etki eden en önemli sera gazıdır. Verilere göre doğal olmayan CO<sub>2</sub> üretiminin yüzde 40'ı ulaşım kaynaklıdır. Kirletici emisyonların azaltılmasına ek olarak, elektrikli taşıma CO<sub>2</sub> azaltımında önemli bir rol oynayabilir. Vancouver'da olduğu gibi hidroelektrik elektrik enerjisi ile işleyen trolleybüs sistemleri gerçek bir sıfır emisyonlu sistemdir ve nerede ise hiç CO<sub>2</sub> üretmez.

Trolleybüs araçları, fosil yakıtlardan üretilen elektrik enerjisini kullanan şehirlerde trolleybüs sistemlerinde CO<sub>2</sub> sera gazı emisyonu olmaktadır, ancak araç km başına emisyon miktarı içten yanmalı motorlu otobüslere göre daha azdır. Elektrik santrallerinin CO<sub>2</sub> emisyonu halen yüksek olsa bile, bu emisyonları azaltmak için devam eden çabalar uzun vadede içten yanmalı motorlarda yapılacak olan iyileştirmelere göre daha iyi sonuçlar vermesi beklenmektedir. Tek bir güç kaynağından emisyonları kontrol etmek ve



azaltmak küçük ve mobil kaynakları kontrol etmekten çok daha kolaydır.

CNG otobüsler aslında sera gazı üretimini arttırmırlar. Neredeyse dizel otobüse eşdeğer miktarda CO2 yayarlar, ama bunun yanı sıra aynı zamanda ihmal edilmeyecek miktarda metan üretirler. Metanın sera gazı değeri karbondioksitten 21 kat daha fazladır. Diez ve arkadaşları yayınladıkları makalede Bogota Trans Milenio Metrobüs hattının (Günlük 1.8 Milyon yolcu taşınmaktadır) mevcut dizel otobüsler yerine farklı teknoloji kullanan otobüslerle işletilmesi durumunda yıllık CO2 emisyon miktarlarının aşağıdaki tablodaki gibi oluşacağını vermişlerdir (Tablo 4.5).

**Tablo 4.6: Araçlara göre yıllık CO2 salınımı**

| Açıklama                  | Dizel   | Hibrit  | CNG     | Trolleybüs |
|---------------------------|---------|---------|---------|------------|
| Yıllık CO2 Salınımı (Ton) | 140,852 | 117,377 | 113,397 | 54,487     |

Kaynak: <http://www.tbush.org.uk>

#### 4.5 DAHA AZ ARAÇ BAKIMI

Elektrik motorları nispeten basittirler ve çok az bakım gerektirirler. Dizel motorlar ise, aksine, birçok hareketli parçaya sahiptir ve sağlıklı çalışır durumda tutmak için sürekli bakım gerektirir. Sık sık yağ değişimi ve soğutma sistem bakımı gerektiren dizel araçlar fosil kaynakların tükenmesine ve çevresel bozulmanın artmasına katkıda bulunur. Dizel motorun, benzinli motorlar ile karşılaştırıldığında bakım gereksinimleri azdır, ancak yine de bir elektrik motoru ile karşılaştırıldığında daha fazla bakım personel adam saati ve yedek parçasına ihtiyaç duyar ve bu gereksinimler motor yaşlandıkça önemli oranda artar. Verimlilik açısından her iki sistem incelendiğinde ise, dizel motorların verimlilik oranı yüzde 40 civarındayken, elektrik motorlarında bu oran yüzde 95'dir. Bu da enerji tasarrufu açısından düşünüldüğünde büyük bir orandır. İşletme esnasında yüksek oranda yakıt masraflarında tasarruf sağlayacaktır.

## 5. TROLEYBÜS VE DİZEL OTOBÜS İLK MALİYET ANALİZLERİ

Dizel otobüs ile trolleybüs sistemlerinin toplam maliyetlerini direkt karşılaştırmak kolay değildir. Çünkü birisi düşük sermaye maliyeti ama fazla işletme masrafı, diğeri yüksek bir sermaye maliyetine karşı küçük işletme maliyetine sahiptir. Hesaplama yapılırken gelecek düşünölmeli ve bu tür araç ve altyapıların ömürleri, göreceli dizel ve elektrik maliyetleri, trolleybüs işletilmesi ile büyük olasılıkla artacak olan kullanma oranları, gelir seviyeleri ve çevresel faydalar gibi parametreler hakkında varsayımlar yapılmalıdır.

UITP kaynaklarında kullanım ile ilgili olarak, trolleybüslerin dizellere göre daha fazla yolcu çekmesine delil olarak Salzburg verilmektedir. Bu şehirde dizel hatların trolleybüse dönüştürölmüsinden sonra yolculuk sayısı yüzde 16 artmıştır. Benzer bir uygulama Arnhem'de ise yolculuk sayısı yüzde 17 artmıştır. Karşılaştırma yapılırken karşılaşılan bir diğerkomplikasyon ise dizel otobüsün ne tür olduğudur. Ayrı tahrikli tekerlekli motorlu sürücü teknolojisi kullanan bir trolleybüs kesinlikle mekanik şanzımanlı geleneksel bir dizel ile mukayese edilemeyecek, tamamen düşük tabanlı olması gibi üstünlöklere sahiptir.

Trolleybüs araçlarının ilk alım maliyeti eşdeğeri sayılabilecek dizel otobüse göre yüzde 70-80 daha fazladır. Avrupa orijinli iyi tanınan markaların 18 m'lik trolleybüs araçları 700,000-800,000 Euro civarındadır. Ancak, Skoda ve Brezilyalı üreticilerin benzer kapasiteye sahip trolleybüs araçlarının maliyeti 600,000-700,000 USD mertebelerindedir.

Maliyeti fazla olan bir diğerkomplikasyon sistemleridir. Maliyet muhasebesi yapılırken 30 yıllık amortisman tabi olmasına rağmen havai hat direkleri iyi bakılırsa 50 yılı aşkın ömrü olabilir. Benzer şekilde cer trafo merkezlerinin ömrü de iyi bakılması durumunda 30-35 yılı bulabilir. Trolleybüs, tramvay ve yeraltı treni araçları yaşam ömürleri boyunca bir kere iç yenileme, modernizasyondan geçirilmektedirler. Trolleybüs sistemleri maliyet, ömür açısından tramvay sistemlerine göre çok daha verimlidirler.

İlk yatırım açısından trolleybüs sistemi pahalı olsa da yaşam döngüsü maliyeti (LCC) ele

alındığında trolleybüs sistemi çok daha ucuzdur. Türkiye’de elektrik enerjisi ve dizel yakıt fiyatlarındaki bant aralığı çok geniş olduğundan trolleybüs sistemleri, ilk yatırım maliyetlerini yakıt farkından oluşan tasarruf ile kısa sürede amorti etmektedir. Enerji ve yakıt fiyatlarındaki, enerji depolama sistemlerindeki ve araçlardaki yeni gelişmeler ve buluşlar trolleybüs sisteminin ekonomik durumunu daha da iyileştirmektedir.

Satın alma yapılırken, alım bedeli genellikle ilk ölçüt, bazen de tek ölçüt olarak değerlendirilmekte, ona göre karar verilerek ürün ve sistemler seçilmektedir. Alım bedelinin tek ölçüt olarak dikkate alınması çok basittir, değerlendirmesi çok kolaydır fakat sıklıkla hem finansal olarak kötü sonuçlar hem de teknik problemler ortaya çıkarmaktadır. Yaşam boyu maliyet (LCC) analizinde bir ürünün yaşam boyu maliyeti, varlığını devam ettirdiği süre sonuna kadar, ortadan kaldırma, yenileme masrafları da dikkate alınarak ortaya çıkacak maliyetlerin toplanması ile elde edilen bir değerdir. Bu yöntem tek alım bedelini değil yaşam boyunca ortaya çıkacak tüm maliyetleri kapsamaktadır. Yaşam boyu maliyet (LCC) açısından değerlendirildiğinde yoğun yolcu taşımacılığı olan bir güzergahta trolleybüs ve dizel otobüs arasında, altyapı maliyeti ve yakıt maliyeti açısından üç farklı senaryo üzerinden örnek değerlendirmeler yapılacaktır.

LCC hesaplanmasında;

$$LCC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+d)^t} \quad \text{formülü kullanılmıştır.}$$

LCC = Yaşam Boyu maliyetin bugünkü değeri

n= Çalışma içindeki yıl sayısı

d= İndirim Faktörü (yüzde 3 olarak alınacaktır.)

Ct= Toplam Maliyetler

İlk örnek için çift yön 12,5 kilometre uzunluğunda bir güzergâh seçilmiştir. Bu güzergâhta günlük kırk bin yolcu ve pik saatlerde yolculuk değerinin yüzde 60 olduğu varsayılmıştır. Pik saatlerde tek yönde 2000 yolcu olduğu ve tüm yolcuların hızlı, güvenli ve konforlu taşınabilmesi için 12 tane 18 metrelik tek körüklü trolleybüs veya dizel otobüse ihtiyaç duyulduğu kabul edilmiştir. Bu değerler ve maliyetler Tablo 5.1’de detaylı olarak verilmiştir.

Örneğimizde araçların sabah 6:00-24:00 arasında günlük 18 saat çalışacağı ve saatte 25 km/saat hızla gidiş-dönüş 25 km'lik yolu 60 dakikada alacağı hesaplanmıştır. Pik saatler dışında sefer aralığının bir miktar düşürülmesi durumunda her bir aracın günlük ortalama 16 sefer yapacağı kabul edilmiştir. Buna göre;

Bir günlük toplam kilometre= sefer sayısı\*araç sayısı\*güzergah uzunluğu

Bir günlük toplam kilometre= 16\*12\*25= 4800 km

Bir günlük toplam yakıt bedeli=Toplam km\*yakıt tüketimi(lt veya kw)\*birim fiyat(TL)

Bir günlük yakıt bedeli (dizel için)= 4800\*0,6(lt)\*3,95=11376 TL= 4063 €

Bir günlük yakıt bedeli (elektrik için)= 4800\*2,5(kw)\*0,26=3120 TL= 1114 €

Bir yıllık yakıt bedeli (dizel için)= 4063\*365=1.482.995 €

Bir yıllık yakıt bedeli (elektrik için)= 1114\*365=406.610 €

(Tüm örnekler için 18 metrelik dizel otobüs yakıt tüketimi= 0,6 lt/km ve bir litre dizel yakıtın bedeli 3,95 TL, 18 metrelik trolleybüs enerji tüketimi 2,5 kw/km ve 1 Kw elektrik enerjisinin bedeli 0,26 TL, 1 €= 2,8 TL olarak alınmıştır.)

**Tablo 5.1:12,5 Km için Dizel ve Elektrik kullanımına bağlı maliyet analizi**

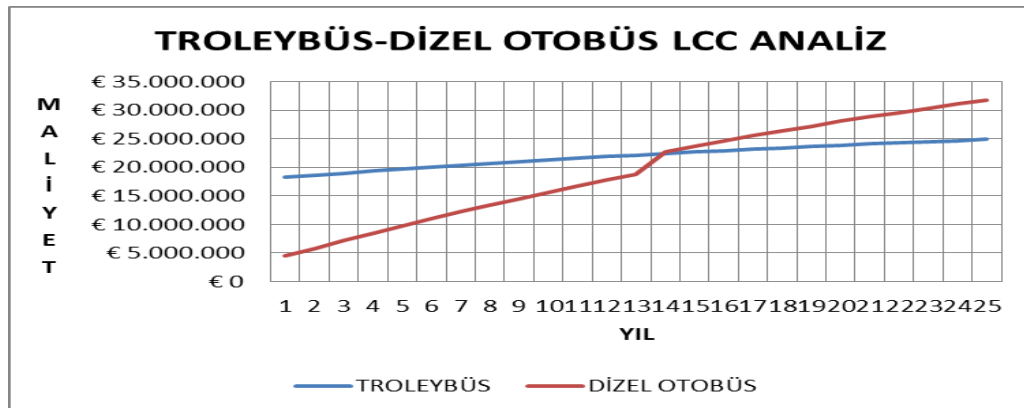
|                             | <b>TROLEYBÜS</b>    | <b>DİZEL OTOBÜS</b> |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>ARAÇ SAYISI</b>          | 12                  | 12                  |
| <b>ARAÇ MALİYETİ</b>        | 600.000 €           | 250.000 €           |
| <b>TOPLAM ARAÇ MALİYETİ</b> | 7.200.000 €         | 3.000.000 €         |
| <b>GÜZERGAH UZUNLUĞU</b>    | 12,5 KM             |                     |
| <b>ALTYAPI MALİYETİ</b>     | 10.625.000 €        | 0 €                 |
| <b>YAKIT TÜKETİMİ</b>       | 250 Kw/100Km        | 60 lt/100Km         |
| <b>ARAÇ UZUNLUĞU</b>        | 18 Metre            | 18 Metre            |
| <b>YOLCU SAYISI</b>         | 20.000              | 20.000              |
| <b>ARAÇ ÖMRÜ</b>            | 25 yıl              | 13 yıl              |
| <b>TOPLAM MALİYET</b>       | <b>17.825.000 €</b> | <b>6.250.000 €</b>  |

*Kaynak:* Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

**Tablo 5.2: Dizel ve Elektrik kullanımına bağlı maliyet analizi**

| YIL | İŞLETME YAKIT MALİYETİ |             |                    |              | YATIRIM MALİYETİ |             | LCC NBD      |              |
|-----|------------------------|-------------|--------------------|--------------|------------------|-------------|--------------|--------------|
|     | TROLEYBÜS(A)           | NBD A       | DİZEL<br>OTOBÜS(B) | NBD B        | A                | B           | A            | B            |
| 1   | € 406.610              | € 394.767   | € 1.482.295        | € 1.439.121  | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 18.219.767 | € 4.439.121  |
| 2   | € 406.610              | € 778.036   | € 1.482.295        | € 2.836.327  | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 18.603.036 | € 5.836.327  |
| 3   | € 406.610              | € 1.150.142 | € 1.482.295        | € 4.192.836  | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 18.975.142 | € 7.192.836  |
| 4   | € 406.610              | € 1.511.409 | € 1.482.295        | € 5.509.836  | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 19.336.409 | € 8.509.836  |
| 5   | € 406.610              | € 1.862.155 | € 1.482.295        | € 6.788.477  | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 19.687.155 | € 9.788.477  |
| 6   | € 406.610              | € 2.202.684 | € 1.482.295        | € 8.029.876  | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 20.027.684 | € 11.029.876 |
| 7   | € 406.610              | € 2.533.295 | € 1.482.295        | € 9.235.117  | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 20.358.295 | € 12.235.117 |
| 8   | € 406.610              | € 2.854.277 | € 1.482.295        | € 10.405.255 | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 20.679.277 | € 13.405.255 |
| 9   | € 406.610              | € 3.165.910 | € 1.482.295        | € 11.541.310 | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 20.990.910 | € 14.541.310 |
| 10  | € 406.610              | € 3.468.466 | € 1.482.295        | € 12.644.277 | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 21.293.466 | € 15.644.277 |
| 11  | € 406.610              | € 3.762.209 | € 1.482.295        | € 13.715.118 | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 21.587.209 | € 16.715.118 |
| 12  | € 406.610              | € 4.047.398 | € 1.482.295        | € 14.754.770 | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 21.872.398 | € 17.754.770 |
| 13  | € 406.610              | € 4.324.279 | € 1.482.295        | € 15.764.141 | € 17.825.000     | € 3.000.000 | € 22.149.279 | € 18.764.141 |
| 14  | € 406.610              | € 4.593.096 | € 1.482.295        | € 16.744.113 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 22.418.096 | € 22.744.113 |
| 15  | € 406.610              | € 4.854.084 | € 1.482.295        | € 17.695.541 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 22.679.084 | € 23.695.541 |
| 16  | € 406.610              | € 5.107.470 | € 1.482.295        | € 18.619.259 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 22.932.470 | € 24.619.259 |
| 17  | € 406.610              | € 5.353.475 | € 1.482.295        | € 19.516.072 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 23.178.475 | € 25.516.072 |
| 18  | € 406.610              | € 5.592.316 | € 1.482.295        | € 20.386.764 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 23.417.316 | € 26.386.764 |
| 19  | € 406.610              | € 5.824.200 | € 1.482.295        | € 21.232.096 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 23.649.200 | € 27.232.096 |
| 20  | € 406.610              | € 6.049.330 | € 1.482.295        | € 22.052.807 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 23.874.330 | € 28.052.807 |
| 21  | € 406.610              | € 6.267.903 | € 1.482.295        | € 22.849.613 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 24.092.903 | € 28.849.613 |
| 22  | € 406.610              | € 6.480.110 | € 1.482.295        | € 23.623.212 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 24.305.110 | € 29.623.212 |
| 23  | € 406.610              | € 6.686.136 | € 1.482.295        | € 24.374.278 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 24.511.136 | € 30.374.278 |
| 24  | € 406.610              | € 6.886.161 | € 1.482.295        | € 25.103.469 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 24.711.161 | € 31.103.469 |
| 25  | € 406.610              | € 7.080.360 | € 1.482.295        | € 25.811.422 | € 17.825.000     | € 6.000.000 | € 24.905.360 | € 31.811.422 |

Kaynak: Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

**Tablo 5.3: Dizel ve Elektrik kullanımına bağlı maliyet analizi grafiği**

Kaynak: Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

İkinci örnek için çift yön yirmi kilometre uzunluğunda bir güzergah seçilmiştir. Bu güzergahta günlük kırk bin yolcu ve pik saatlerde yolculuk değerinin yüzde 60 olduğu varsayılmıştır. Pik saatlerde tek yönde 4000 yolcu olduğu ve tüm yolcuların hızlı, güvenli ve konforlu taşınabilmesi için 25 tane 18 metrelik tek körüklü dizel otobüs veya trolleybüs araca ihtiyaç duyulduğu kabul edilmiştir. Bu değerler ve maliyetler Tablo 5.4’te detaylı olarak verilmiştir.

Örneğimizde araçların sabah 6:00-24:00 arasında günlük 18 saat çalışacağı ve saatte 25 km/saat hızla 40 km’lik yolu 96 dakikada alacağı hesaplanmıştır. Buda herbir aracın günlük ortalama 11.25 sefer yapacağı sonucunu çıkarmaktadır. Buna göre;

Bir günlük toplam kilometre= sefer sayısı\*araç sayısı\*güzergah uzunluğu

Bir günlük toplam kilometre= 11.25\*25\*40= 11250 km

Bir günlük toplam yakıt bedeli=Toplam km\*yakıt tüketimi(lt veya kw)\*birim fiyat(TL)

Bir günlük yakıt bedeli (dizel için)= 11250\*0,6(lt)\*3,95=26625,5 TL= 9522,3 €

Bir günlük yakıt bedeli (elektrik için)= 11250\*2,5(kw)\*0,26=7312,5 TL= 2611,6 €

Bir yıllık yakıt bedeli (dizel için)= 9522,3\*365=3.475.640 €

Bir yıllık yakıt bedeli (elektrik için)= 2611,6\*365=953.234 €

**Tablo 5.4: 20 Km için Dizel ve Elektrik kullanımına bağlı maliyet analizi**

|                             | <b>TROLEYBÜS</b>    | <b>DİZEL OTOBÜS</b> |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>ARAÇ SAYISI</b>          | 25                  | 25                  |
| <b>ARAÇ MALİYETİ</b>        | 600.000 €           | 250.000 €           |
| <b>TOPLAM ARAÇ MALİYETİ</b> | 15.000.000 €        | 6.250.000 €         |
| <b>GÜZERGAH UZUNLUĞU</b>    | 20 KM (ÇİFT YÖN)    |                     |
| <b>ALTYAPI MALİYETİ</b>     | 17.000.000 €        | 0 €                 |
| <b>YAKIT TÜKETİMİ</b>       | 250 Kw/100Km        | 60 lt/100Km         |
| <b>ARAÇ UZUNLUĞU</b>        | 18 Metre            | 18 Metre            |
| <b>YOLCU SAYISI</b>         | 40.000              | 40.000              |
| <b>ARAÇ ÖMRÜ</b>            | 25 yıl              | 13 yıl              |
| <b>TOPLAM MALİYET</b>       | <b>32.000.000 €</b> | <b>6.250.000 €</b>  |

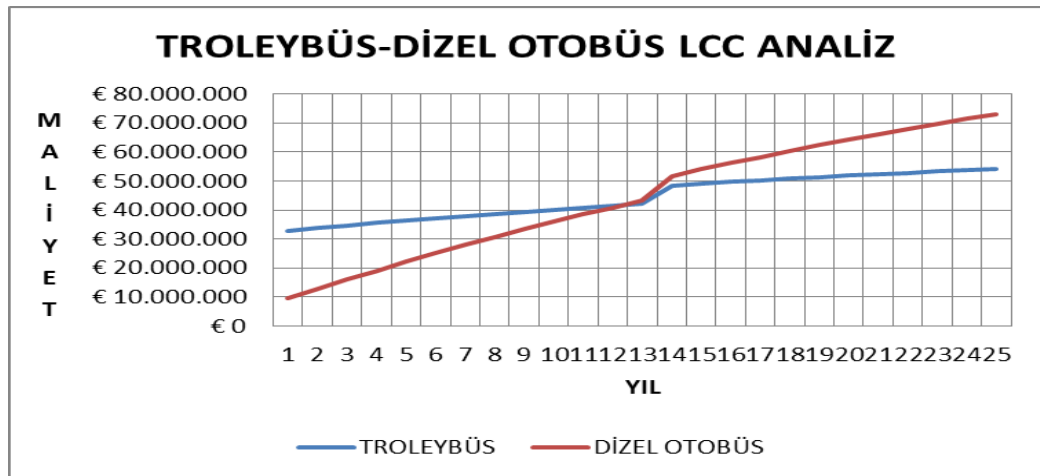
*Kaynak:* Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

**Tablo 5.5: 20 Km için Dizel ve Elektrik kullanımına bağlı maliyet analizi**

| YIL | İŞLETME YAKIT MALİYETİ |              |                 |              | YATIRIM MALİYETİ |              | LCC NBD      |              |
|-----|------------------------|--------------|-----------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
|     | TROLEYBÜS (A)          | NBD A        | DİZEL OTOBÜS(B) | NBD B        | A                | B            | A            | B            |
| 1   | € 953.234              | € 925.470    | € 3.475.640     | € 3.374.408  | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 32.925.470 | € 9.624.408  |
| 2   | € 953.234              | € 1.823.984  | € 3.475.640     | € 6.650.532  | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 33.823.984 | € 12.900.532 |
| 3   | € 953.234              | € 2.696.329  | € 3.475.640     | € 9.831.235  | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 34.696.329 | € 16.081.235 |
| 4   | € 953.234              | € 3.543.265  | € 3.475.640     | € 12.919.296 | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 35.543.265 | € 19.169.296 |
| 5   | € 953.234              | € 4.365.533  | € 3.475.640     | € 15.917.413 | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 36.365.533 | € 22.167.413 |
| 6   | € 953.234              | € 5.163.851  | € 3.475.640     | € 18.828.207 | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 37.163.851 | € 25.078.207 |
| 7   | € 953.234              | € 5.938.918  | € 3.475.640     | € 21.654.221 | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 37.938.918 | € 27.904.221 |
| 8   | € 953.234              | € 6.691.409  | € 3.475.640     | € 24.397.923 | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 38.691.409 | € 30.647.923 |
| 9   | € 953.234              | € 7.421.984  | € 3.475.640     | € 27.061.712 | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 39.421.984 | € 33.311.712 |
| 10  | € 953.234              | € 8.131.279  | € 3.475.640     | € 29.647.914 | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 40.131.279 | € 35.897.914 |
| 11  | € 953.234              | € 8.819.916  | € 3.475.640     | € 32.158.790 | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 40.819.916 | € 38.408.790 |
| 12  | € 953.234              | € 9.488.495  | € 3.475.640     | € 34.596.534 | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 41.488.495 | € 40.846.534 |
| 13  | € 953.234              | € 10.137.601 | € 3.475.640     | € 36.963.276 | € 32.000.000     | € 6.250.000  | € 42.137.601 | € 43.213.276 |
| 14  | € 953.234              | € 16.410.614 | € 3.475.640     | € 39.261.084 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 48.410.614 | € 51.761.084 |
| 15  | € 953.234              | € 17.022.459 | € 3.475.640     | € 41.491.965 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 49.022.459 | € 53.991.965 |
| 16  | € 953.234              | € 17.616.483 | € 3.475.640     | € 43.657.869 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 49.616.483 | € 56.157.869 |
| 17  | € 953.234              | € 18.193.205 | € 3.475.640     | € 45.760.688 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 50.193.205 | € 58.260.688 |
| 18  | € 953.234              | € 18.753.129 | € 3.475.640     | € 47.802.260 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 50.753.129 | € 60.302.260 |
| 19  | € 953.234              | € 19.296.745 | € 3.475.640     | € 49.784.369 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 51.296.745 | € 62.284.369 |
| 20  | € 953.234              | € 19.824.528 | € 3.475.640     | € 51.708.747 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 51.824.528 | € 64.208.747 |
| 21  | € 953.234              | € 20.336.938 | € 3.475.640     | € 53.577.074 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 52.336.938 | € 66.077.074 |
| 22  | € 953.234              | € 20.834.424 | € 3.475.640     | € 55.390.985 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 52.834.424 | € 67.890.985 |
| 23  | € 953.234              | € 21.317.420 | € 3.475.640     | € 57.152.063 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 53.317.420 | € 69.652.063 |
| 24  | € 953.234              | € 21.786.348 | € 3.475.640     | € 58.861.848 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 53.786.348 | € 71.361.848 |
| 25  | € 953.234              | € 22.241.617 | € 3.475.640     | € 60.521.833 | € 32.000.000     | € 12.500.000 | € 54.241.617 | € 73.021.833 |

Kaynak: Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

**Tablo 5.6: 20 Km için Dizel ve Elektrik kullanımına bağlı maliyet analizi grafiği**



Kaynak: Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

Üçüncü örnek için çift yön yirmi beş kilometre uzunluğunda bir güzergah seçilmiştir. Bu güzergahta günlük 60000 yolcu ve pik saatlerde yolculuk değerinin yüzde 60 olduğu varsayılmıştır. Pik saatlerde tek yönde 6000 yolcu olduğu ve tüm yolcuların hızlı, güvenli ve konforlu taşınabilmesi için 25 tane 25 metrelik çift körüklü trolleybüs veya 35 tane tek körüklü dizel otobüse ihtiyaç duyulduğu kabul edilmiştir. Bu değerler ve maliyetler Tablo 5.7’de detaylı olarak verilmiştir.

Örneğimizde araçların sabah 6:00-24:00 arasında günlük 18 saat çalışacağı ve saatte 25 km/saat hızla 50 km’lik yolu 120 dakikada alacağı hesaplanmıştır. Buda 18 metrelik 35 adet dizel otobüs ve 25 metrelik 25 tane trolleybüsün her birinin ortalama 9 sefer sonucunu çıkarmaktadır. Buna göre;

Bir günlük toplam kilometre= sefer sayısı\*araç sayısı\*güzergah uzunluğu

Bir günlük toplam kilometre= 9\*35\*50=15750 km (35 adet dizel otobüs için)

Bir günlük toplam kilometre= 9\*25\*50=11250 km (25 adet trolleybüs için)

Bir günlük toplam yakıt bedeli=Toplam km\*yakıt tüketimi(lt veya kw)\*birim fiyat(TL)

Bir günlük yakıt bedeli (dizel için)= 15750\*0,6(lt)\*3,95=37327,5 TL= 13331,3 €

Bir günlük yakıt bedeli (elektrik için)= 11250\*3(kw)\*0,26=8775 TL= 3134 €

Bir yıllık yakıt bedeli (dizel için)= 13331,3\*365=4.865.924 €

Bir yıllık yakıt bedeli (elektrik için)= 3134\*365=1.143.910 €

**Tablo 5.7: 25 Km için Dizel ve Elektrik kullanımına bağlı maliyet analizi**

|                             | <b>TROLEYBÜS</b>    | <b>DİZEL OTOBÜS</b> |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>ARAÇ SAYISI</b>          | 25                  | 35                  |
| <b>ARAÇ MALİYETİ</b>        | 600.000 €           | 250.000 €           |
| <b>TOPLAM ARAÇ MALİYETİ</b> | 15.000.000 €        | 8.750.000 €         |
| <b>GÜZERGAH UZUNLUĞU</b>    | 25 KM (ÇİFT YÖN)    |                     |
| <b>ALTYAPI MALİYETİ</b>     | 21.250.000 €        | 0 €                 |
| <b>YAKIT TÜKETİMİ</b>       | 300 Kw/100Km        | 60 lt/100Km         |
| <b>ARAÇ UZUNLUĞU</b>        | 25 Metre            | 18 Metre            |
| <b>YOLCU SAYISI</b>         | 60.000              | 60.000              |
| <b>ARAÇ ÖMRÜ</b>            | 25 yıl              | 13 yıl              |
| <b>TOPLAM MALİYET</b>       | <b>36.250.000 €</b> | <b>8.750.000 €</b>  |

*Kaynak:* Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

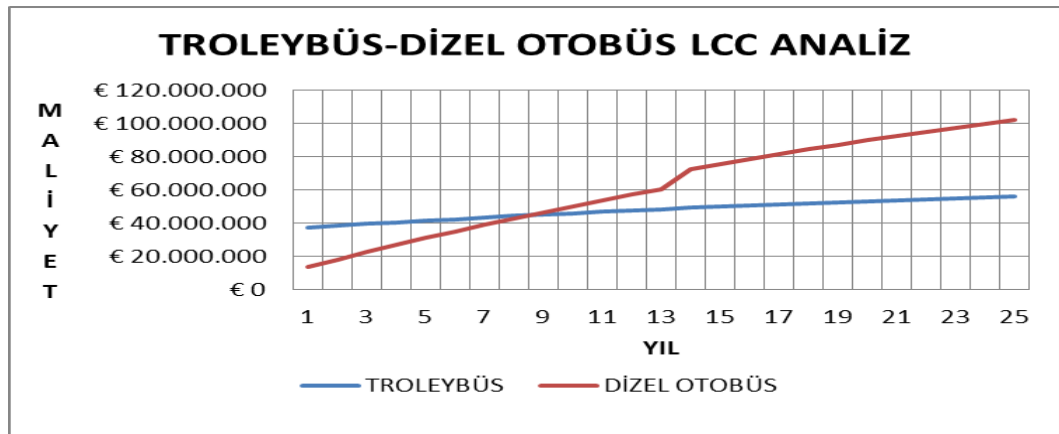


**Tablo 5.8: 25 Km için Dizel ve Elektrik kullanımına bağlı maliyet analizi**

| YIL | İŞLETME YAKIT MALİYETİ |              |                 |              | YATIRIM MALİYETİ |              | LCC NBD      |               |
|-----|------------------------|--------------|-----------------|--------------|------------------|--------------|--------------|---------------|
|     | TROLEYBÜS(A)           | NBD A        | DİZEL OTOBÜS(B) | NBD B        | A                | B            | A            | B             |
| 1   | € 1.143.910            | € 1.110.592  | € 4.865.924     | € 4.724.198  | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 37.360.592 | € 13.474.198  |
| 2   | € 1.143.910            | € 2.188.837  | € 4.865.924     | € 9.310.798  | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 38.438.837 | € 18.060.798  |
| 3   | € 1.143.910            | € 3.235.677  | € 4.865.924     | € 13.763.808 | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 39.485.677 | € 22.513.808  |
| 4   | € 1.143.910            | € 4.252.026  | € 4.865.924     | € 18.087.118 | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 40.502.026 | € 26.837.118  |
| 5   | € 1.143.910            | € 5.238.773  | € 4.865.924     | € 22.284.507 | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 41.488.773 | € 31.034.507  |
| 6   | € 1.143.910            | € 6.196.779  | € 4.865.924     | € 26.359.642 | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 42.446.779 | € 35.109.642  |
| 7   | € 1.143.910            | € 7.126.883  | € 4.865.924     | € 30.316.083 | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 43.376.883 | € 39.066.083  |
| 8   | € 1.143.910            | € 8.029.896  | € 4.865.924     | € 34.157.289 | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 44.279.896 | € 42.907.289  |
| 9   | € 1.143.910            | € 8.906.608  | € 4.865.924     | € 37.886.614 | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 45.156.608 | € 46.636.614  |
| 10  | € 1.143.910            | € 9.757.784  | € 4.865.924     | € 41.507.319 | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 46.007.784 | € 50.257.319  |
| 11  | € 1.143.910            | € 10.584.169 | € 4.865.924     | € 45.022.566 | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 46.834.169 | € 53.772.566  |
| 12  | € 1.143.910            | € 11.386.485 | € 4.865.924     | € 48.435.427 | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 47.636.485 | € 57.185.427  |
| 13  | € 1.143.910            | € 12.165.432 | € 4.865.924     | € 51.748.884 | € 36.250.000     | € 8.750.000  | € 48.415.432 | € 60.498.884  |
| 14  | € 1.143.910            | € 12.921.691 | € 4.865.924     | € 54.965.833 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 49.171.691 | € 72.465.833  |
| 15  | € 1.143.910            | € 13.655.923 | € 4.865.924     | € 58.089.085 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 49.905.923 | € 75.589.085  |
| 16  | € 1.143.910            | € 14.368.770 | € 4.865.924     | € 61.121.368 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 50.618.770 | € 78.621.368  |
| 17  | € 1.143.910            | € 15.060.855 | € 4.865.924     | € 64.065.332 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 51.310.855 | € 81.565.332  |
| 18  | € 1.143.910            | € 15.732.781 | € 4.865.924     | € 66.923.549 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 51.982.781 | € 84.423.549  |
| 19  | € 1.143.910            | € 16.385.137 | € 4.865.924     | € 69.698.518 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 52.635.137 | € 87.198.518  |
| 20  | € 1.143.910            | € 17.018.492 | € 4.865.924     | € 72.392.662 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 53.268.492 | € 89.892.662  |
| 21  | € 1.143.910            | € 17.633.400 | € 4.865.924     | € 75.008.336 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 53.883.400 | € 92.508.336  |
| 22  | € 1.143.910            | € 18.230.398 | € 4.865.924     | € 77.547.825 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 54.480.398 | € 95.047.825  |
| 23  | € 1.143.910            | € 18.810.008 | € 4.865.924     | € 80.013.349 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 55.060.008 | € 97.513.349  |
| 24  | € 1.143.910            | € 19.372.736 | € 4.865.924     | € 82.407.061 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 55.622.736 | € 99.907.061  |
| 25  | € 1.143.910            | € 19.919.074 | € 4.865.924     | € 84.731.053 | € 36.250.000     | € 17.500.000 | € 56.169.074 | € 102.231.053 |

Kaynak: Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

**Tablo 5.6: 25 Km için Dizel ve Elektrik kullanımına bağlı maliyet analizi grafiği**



Kaynak: Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

Her üç örnek için çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde, elektrik enerjisi kullanan trolleybüslerin; 12,5 kilometre ve 20000 yolculu güzergahta on dördüncü yılda, 20 kilometre 40000 yolculu güzergahta on ikinci yılda, 25 kilometre 60000 yolculu güzergahta ise dokuzuncu yılda ilk yatırım maliyeti düşük olan dizel otobüsler ile yatırım maliyeti açısından eşdeğer bir duruma geldiği ve diğer yıllar için yatırımcısını kara geçirdiği görülmektedir. Her iki sistem içinde yaşam boyu enerji tüketim masraflarının ve alım tutarlarının net bugünkü değerleri(NDD) bize ekonomik olarak hangi sistemin daha uygun olacağını göstermektedir. 25 yıllık yaşam boyu maliyet açısından bu örnekteki verilere göre trolleybüs sisteminin yolculuğun yüksek olduğu güzergâhlarda dizel otobüslere göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Ayrıca eşit uzunluktaki dizel otobüs ve trolleybüsler arasında yapılan karşılaştırmalarda taşıdıkları yolculuk değerlerinin eşit olduğu kabul edilmiştir. Elektrik motoru dizel motora göre daha az yer kapladığından trolleybüsler daha fazla yolculuk taşımakta bu da daha fazla işletme karı sağlayabilmektedir. Ancak bir taşıma sistemine, ilgili güzergâhın yol yapısı, yolculuk değerleri, çevresel etkiler ve yatırımcının finansal durumu beraber değerlendirilerek karar verilmelidir.

Bakım maliyetleri, personel giderleri vb diğer faktörler açısından da yaşam maliyet analizleri yapılabilmektedir. Örneğin aynı anda hem trolleybüs hem de otobüs işletmeciliği yapan bazı işletmecilerden alınan bilgilere göre trolleybüs sistemlerinin bakım-onarım maliyetlerinin dizel sistemlere göre daha düşük olduğu ifade edilmiştir. Bunu tetikleyen en önemli faktörün elektrik motorunun neredeyse bakım gerektirmeyen bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

## 6. HİBRİT VE ELEKTRİKLİ(AKÜLÜ) OTOBÜSLER

Süper kapasitörler, bataryalar, endüksiyon yoluyla şarj etme gibi yenilikçi birçok sistem üzerinde araştırmalar yaklaşık son on yıldır hızlanmıştır. Ancak, bu sistemler yeterli olgunluğa erişmemiştir ve teknolojiadaki ilerleme hızı dikkate alındığında ancak uzun vadede havai hat yerine kullanılabilir olacak gerçekçi bir alternatif olabileceklerdir. Ancak, bu gibi sistemler açığa çıkan rejeneratif frenleme enerjisinin kullanılmayan kısımlarının sonradan kullanılma amaçlı olarak depolanması için kurulabilirler (detaylı fayda-maliyet analizi sonrasında uygun bulunurlarsa), ama havai hattın yerini alamazlar.

UITP trolleybüs çalışma grubu üyelerinin bu konuda vardıkları sonuca göre elektrikle çalışan otobüs geliştirme çalışmaları genel hatları ile umut verici gelişme göstermiş ve çok sayıda hibrit(dizel ve akü) ve elektrikli otobüs şimdiden pazarda mevcut olmasına rağmen, bunların çoğu halen daha güvenilir bir kullanım için gerekli istatistikleri toplamaya yönelik test halindedir. Kendini kanıtlamış trolleybüs teknolojileri işletim ve ilave maliyetler (satın alma, altyapı, şarj istasyonları vb.) açısından günümüzdeki diğer elektrikli alternatiflere kıyasla en maliyet etkin çözümdür.

Yakıt hücreleri veya güneş pilleri gibi sistemlerin havai hat olmadan bir aracın tamamen özerk çalışmasına izin verebilmesi için yüksek kapasiteli ve düşük fiyatlı olmalıdırlar. Bu konuda yapılan araştırmalara göre bu yeni enerji kaynaklarının toplu taşıma sektörü için uygun hale gelmesi 10 veya 20 yıl sürebilir.

Bakıma ihtiyaç gösterecekler de trolleybüs havai hatları, en zor hava şartlarında dahi hizmet vermeye devam ederler. Dik yokuş olan yerlerde Trolleybüslerin performansları daha iyidir. CNG gibi alternatif yakıtlarının kullanımı ufak avantaj sağlarken tesis maliyetleri fazladır. Hibrit otobüsler özellikle New York’ da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak, bu sistemler için yüzde 90 oranında teşvik verilmektedir. İşletme verileri yakıt tasarrufunun dizel otobüslere göre yüzde 10 mertebesinde olduğunu göstermektedir. İlave karmaşık sistemler, ağırlık, verimdeki kayıplar ve maliyet nedeni ile Hibrit otobüsler, uzun vadeli çözümler olmak yerine “daha çevreci otobüs” talebine karşılık politik cevap olarak oluşturulmuş bir ara çözümdür.

Bataryalı ve Hibrit otobüsler trolleybüslere göre daha ağırdırlar ve daha güçsüzdürler. Genelde yolcu başına yüzde 15 daha fazla enerji tüketirler ki bu fark eğimli hatlarda daha da fazla olabilmektedir. Ayrıca akü ömürleri ve biten akülerin geri dönüşümü veya yok edilmesi gibi çözülmesi gereken sorunlara da çok geçerli bir çözüm bulunamamıştır. Dolayısı ile trolleybüs sistemleri yakın gelecekte de güç kaynağı için havai hatları kullanmaya devam edecektir. Yeni geliştirilmekte olan sistemlerin aksine, trolleybüs havai hat sistemleri on yıllar boyunca kanıtlanmış en verimli enerji iletim şeklidir, ama kötü ve çoğunlukla eskimiş çözümleri kullanan tasarımlar görüntü olarak sistemin sorgulanmasına yol açabilmektedir. Hiç bakım gerektirmeyen bir havai hat tasarımı mümkün değildir ve bakımı için insan uzmanlığı her zaman gerekli olacaktır. Ama bakım maliyetini azaltmak için akılda tutulması gereken bazı noktalar vardır. Bunlar:

1. En baştan itibaren sistem tasarımını mümkün olduğunca optimum tutmak
2. Daha az bakım gerektiren malzeme seçmek
3. Personeli zamanında yeterli şekilde eğitmek
4. Ekipman üreticilerinin tam takım bakım yönetmeliklerini vermesini sağlamak

Makas bölgelerinde trolleybüs hat değiştirirken havai hat değişimi özel ekipmanlarla gerçekleştirilir. Günümüzde bu değişim talebi kurulan sinyal devreleri ile otomatik olarak yapılabilmektedir. Makaslardan geçişte 50 km/h hız sınırı uygulanmaktadır. Tramvay havai hatlarında kullanılan otomatik gergili sistemler trolleybüs hatlarında kullanılmamaktadır. Bunun sebebi trolleybüs hatlarında çok sayıda kavşak ve makas bölgesinin bulunması, bu noktalarda özel çözümler gerektirmesi ve akım toplayıcının telden çıkma olasılığını arttırmasıdır.

Modern katener sistemi tasarımları ve malzemesi görüntü kirliliğini minimuma indirmektedir. Ağaçların arasında fark edilmeyen havai hat sistemi ve 50 m'ye kadar uzayan headspanlarda taşınan havai hat sistemleri mevcuttur. Trolleybüslerin akım toplayıcı kolları tellerden 4-4,5 m sağa sola kayabilir, dolayısı ile yolunun engellendiği bölgeleri rahatlıkla geçebilir. Bu esneklik özellikle tercihli yol kullanmayan işletmeciler açısından çok rahatlık sağlamaktadır. Çünkü karma trafikte her halükarda yolda parklanma yapacak veya arızalanıp durmak zorunda kalacak araçlarla karşılaşmak mümkün olacaktır.

Bir trolleybüs aracı yolda kaldığı zaman akım kolektörünü hattan indirmesi şartıyla başka bir trolleybüsün gelip onu sollaması mümkün olmaktadır. Bu durum işletmenin esnekliği açısından çok büyük bir avantajdır. Yeni nesil trolleybüsler her ne kadar yedek dizel veya akü ile çalışan motorlara sahip olsalar da işletme esnasında bazen onlarında arızana bileceği olasılığı onlarında sollanması ihtiyacını doğuracaktır. Bu yüzden araçların uzun akım kolektörleri sayesinde sollayabilme yeteneği çok büyük bir avantaj oluşturmaktadır.

**Şekil 6.1: Trolleybüslerde şerit kullanım genişliği**



*Kaynak:* <http://www.sytral.fr>

## 7.TROLEYBÜS İŞLETME ÖRNEKLERİ

Bu bölümde trolleybüs sistemlerinden örnekler verilecektir. Örnekler büyük oranda UITP Trolleybüs Çalışma Grubunda aktif olan işletmelerden seçilmiştir.

### 7.1 ATİNA TROLEYBÜS İŞLETMESİ

ILPAP SA tarafından işletilen bu büyük trolleybüs ağının toplam havai hat uzunluğu 270 km'dir. 315 adet 12 metrelik ve 51 adet 18 metrelik toplam 366 araç 23 ayrı hatta çalışmaktadır. 6 adet depoya sahip bu sistem ile ortalama yıllık 12 milyon km yolculuk yapılmakta ve 82,5 milyon yolcu taşınmaktadır.

#### Şekil 7.1: Atina trolleybüs sisteminde kullanılan 18 metrelik trolleybüs



*Kaynak:* <http://en.wikipedia.org/wiki/ILPAP>

### 7.2 PARMA TROLEYBÜS İŞLETMESİ

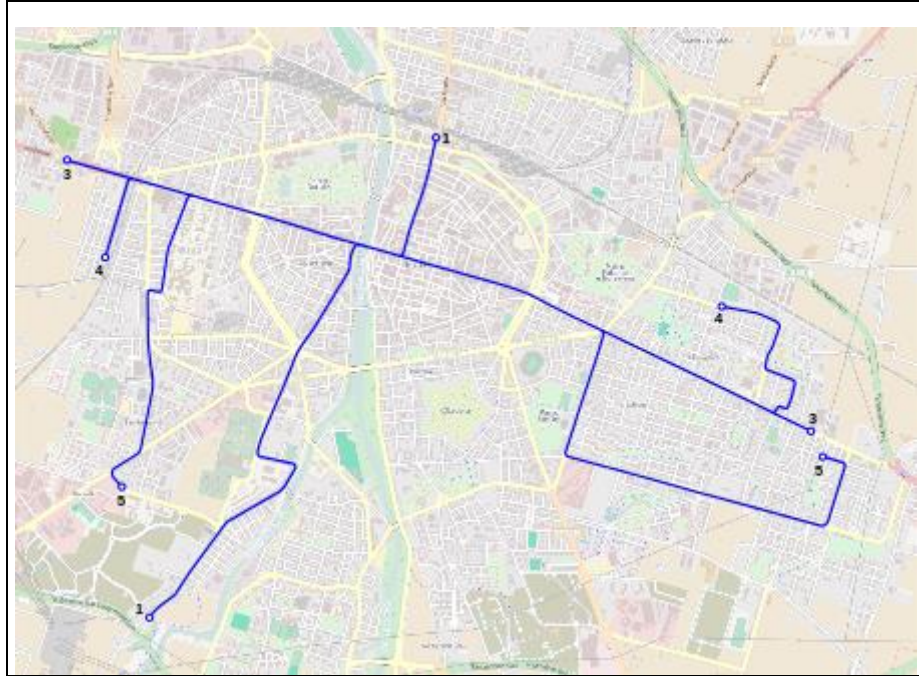
Parma trolleybüs şebekesi 1953 yılında işletmeye başlamıştır. 1998 yılından bu yana bugünkü haliyle işletilmektedir. Toplam 18 km uzunluğunda 4 hatta 34 trolleybüs görev yapmaktadır. Sistemde toplam bir milyon km yolculuk gerçekleştirilmektedir. Parma

trolleybüs firması bazı eski Menarini trolleybüslerini yeni süper kapasiteli enerji depolama sistemleri içeren 18 metre uzunluğundaki tramvay görünümü Van Hool "ExquiCity" trolleybüsleri ile değiştirmektedir.

Mayıs 2012'de yapılan UITP trolleybüs çalışma grubu toplantısında özetlenen bir çalışmanın sonuçlarına göre İtalya'da 12 Şehirde trolleybüs kullanılmaktadır. 437 araç ile yaklaşık 315 km tutan 32 hat üzerinde işletme yapılmaktadır. Trolleybüse özel ayrılmış yol olan kısım yüzde 24 oranındadır. Sitemlerde toplam 1327 durak bulunmakta olup duraklar arası ortalama mesafe 265 m'dir. Roma'daki özel yolda işletme yapılan hat üzerinde duraklar arası ortalama mesafe 750 m'dir.

Kullanılan araçların yüzde 61'i 12 m uzunluğunda olup ortalama filo yaşı 14.7 yıldır. 14 adet depo tesisi bulunmaktadır. Sabit tesislerden sorumlu bakım personeli toplam personel sayısının yüzde 1'inden daha azdır. 2007 yılına ait verilerle 1.16 euro/km bakım maliyeti gerçekleştirilmiştir. 2012 verileri ile enerji maliyeti 0,3 Euro/km'dir.

**Şekil 7.2: Parma trolleybüs sisteminin güzergah haritası**

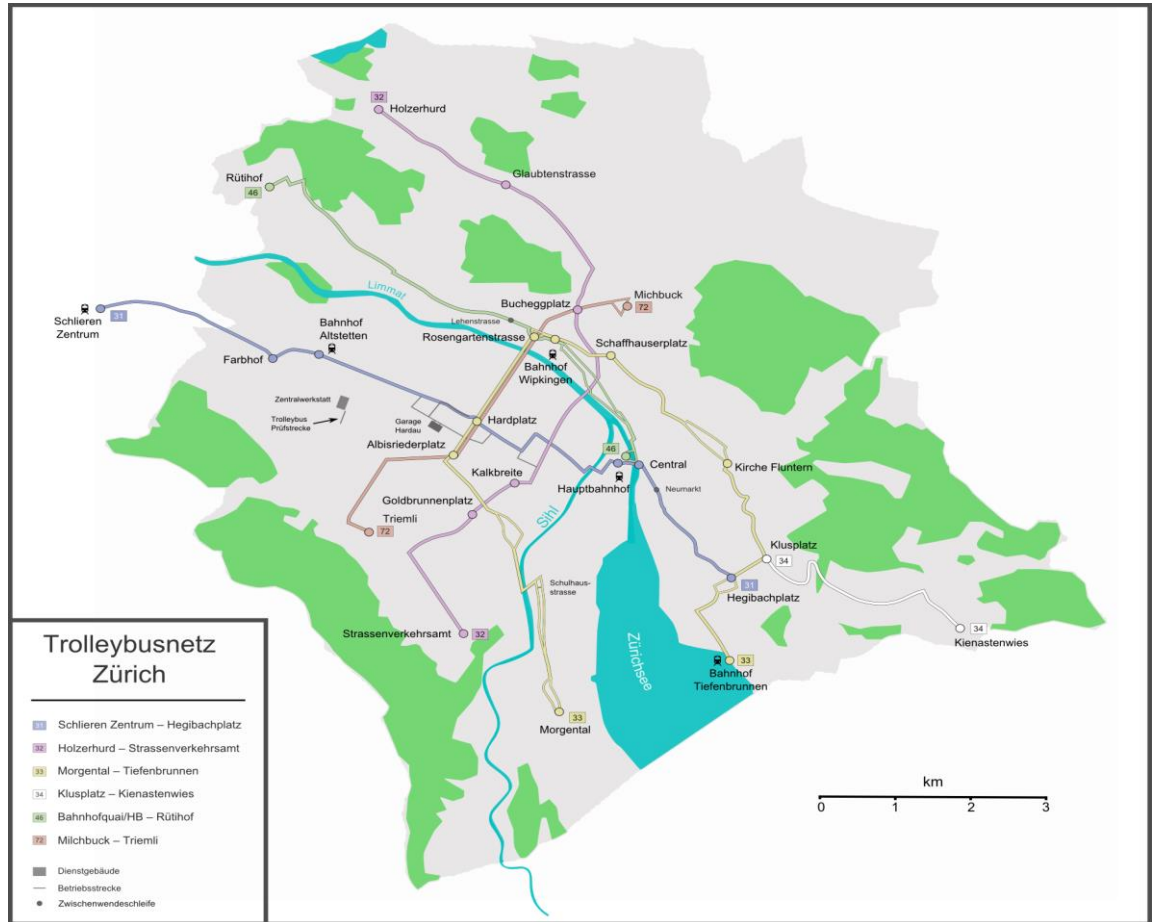


Kaynak: [http://en.wikipedia.org/wiki/Trolleybuses\\_in\\_Parma](http://en.wikipedia.org/wiki/Trolleybuses_in_Parma)

### 7.3 ZÜRİH TROLEYBÜS İŞLETMESİ

Zürich trolleybüs sistemi 27 Mayıs 1939 yılında açılmıştır. Lozan ve Wintherthur'dan sonra İsviçre'de açılan üçüncü modern trolleybüs sistemidir. Zürich tramvay sistemi ile birbirini tamamlayıcı birer sistem olarak kurulmuştur. 2012 yılı itibari ile sistem 6 hat ve 54 km'lik toplam yol uzunluğundan oluşur. Sistem 600 V DC elektrifikasyon sistemi ile çalışmaktadır. 12-18-24 metrelik toplam 86 trolleybüs ile taşımacılık yapmaktadırlar. Havai hat sistemi bazı bölgelerde tramvay ile kesişmektedir. Özellikle bu bölgelerde görsel olarak güzel olmayan görüntüler oluşmuştur ancak işlevselliği ön planda olduğu için bu karmaşa herhangi bir şikâyet konusu olmamaktadır.

Şekil 7.3: Zürich trolleybüs sisteminin güzergah haritası



Kaynak: [http://en.wikipedia.org/wiki/Trolleybuses\\_Zurich](http://en.wikipedia.org/wiki/Trolleybuses_Zurich)



## 7.4 DİĞER ÖRNEKLER

Kırk yıldan uzun süredir işletme yapılan dünyanın en uzun hattında eski trolleybüsler Bogdan T70110/5 trolleybüsleri ile yenilenmektedir. Hat Simpheropol, Alusha ve Yalta arasındadır. 103 Bogdan trolleybüsü toplam otobüs filosunun yaklaşık yüzde 50'sini oluşturmaktadır.

12 adet 18.6 m uzunluğundaki trolleybüs, Riyad'daki Üniversite kampüsünde kullanılmaktadır. Dizel yakıt problemi olmayan bir şehrin sadece çevre duyarlılığını öncelleyerek böyle bir sistemi kullanılıyor olması çok anlamlıdır.

Trolleybüsler 1948 yılından beri Vancouver sokaklarında işlemektedirler ve Vancouver'da gerçekleştirilen yolculukların üçte birini taşırlar. İşletmeci 2005-2009 yıllarında tüm filosunu yenilemiştir. 262 adet düşük tabanlı araç ile hizmet vermektedir. Bu filo yenileme kararı öncesinde detaylı araştırmalar gerçekleştirilmiş ve kararda özellikle çevreye verilen zararlı emisyonlar ve gürültü seviyesi önemli rol oynamıştır.

Dünyanın değişik bölgelerinde kullanılan bu sistemden örnekleri çoğaltmak mümkündür. Özellikle son yıllarda bu sisteme yönelik ciddi bir talep artışı yaşanmaktadır. Kimileri eski sistemlerini yenilemekte kimileri de yeni sistemler kurmaktadır.

## 8. MALATYA ÖRNEĞİ

### 8.1 DURUM TESPİTİ

Malatya; kişi başına düşen araç sayısı ortalamasıyla Türkiye’de, komşu illerden ve köylerden gelen insan göçü ile Doğu Anadolu Bölgesinde ilk sıralardadır. Malatya kent merkezinde kentin gelişimine bağlı olarak her geçen gün artan motorlu taşıt sayısı ve ulaşım taleplerinin yoğunluğuna paralel olarak yaşanan trafik sıkışıklığı ve kapasite yetersizliğine kısa vadeli geçici çözümler yerine sürdürülebilir çözümler bulunmalıdır.

2010 yılında yaptırılmış olan Malatya Kent İçi Ulaşım Planı raporunda bu sorunlar detaylarıyla belirtilmiştir. Rapora göre, çözüm yollarının en başında gelen şehir içi ulaşımında çok sıkıntılı olan ve yoğun olarak kullanılan, İnönü Caddesi - Kışla Caddesi - Mehmet Buyruk Caddesi – Çöşnük Caddesi - Çevreyolu güzergâhı üzerinde çalışan toplu taşıma trafiğinin düzenlenmesi ve diğer araç yoğunluğunun alternatif yollara dağıtılması, ayrıca Maşti (Malatya Şehirlerarası Otobüs Terminali) – İnönü Üniversitesi hattı arasına toplayıcı olacak şekilde ve yeterli kapasitede bir toplu taşıma hattının oluşturulması önerilmektedir.

Anadolu’nun birçok şehrinde olduğu gibi Malatya’da da ticaret alanları, kamusal alanlar, sosyal alanlar, eğitim kurumları, sağlık kurumları vb. yaşam alanları kent merkezinde bulunmaktadır. Bu merkezlerdeki yolların, binaların, imar planları geçmiş dönemde dar yapıda planlanarak yapıldığından fiziki olarak değişiklik yapılamamaktadır. Bugüne kadar geçici uygulamalar yapıldıysa da artık çözüm yolları tıkanma aşamasına gelmiştir.

Kırsal bölgelerden gelen göçün de etkisiyle gerçekleşen nüfus yoğunlaşmaları, ayrıca 1970’li yıllardan sonra hızlanan motorlu taşıt artışına karşı altyapı ve işletmecilik olarak hazırlıklı olunmayışından kaynaklı Malatya kent merkezinde yaşanan ulaşım zorluğu ve trafik sıkışıklıkları yerel yönetimlerin çözmeye çalıştıkları başlıca sorun haline gelmiştir. Plansız kentleşme, ulaşım altyapısının oluşturulmasında mali kaynak yetersizliği, mevcut kısıtlı kaynakların kullanılmasındaki yanlışlıklar, toplu taşımacılık yerine küçük kapasiteli bireysel taşımacılığın öne çıkması, çözüm arayışlarında ucuz ve

yüzeysel uygulamaların tercih edilmesi, maliyet büyüklüğü gerekçe gösterilerek köklü çözümlerin ertelenmesi, kentli ve ülkemiz için maliyeti yüksek, güvensiz, çevreyi kirletici taşımacılık türleri, trafik sıkışıklıklarının başlıca sebeplerini oluşturmaktadır (Mustafa Ilıcalı, Kentiçi Ulaşım Yönetimi Mevzuatı, Transist 2010).

Kent içi ulaşımda planlama, uygulama, işletme ve denetimdeki yetki dağınıklığı bir başka deyişle çok başlılık çözüme yönelik doğru uygulamalara geçilmesini geciktirmiş ve zorlaştırmıştır. Kentlerde yaşanan bu gelişme karşısında yapılacak olan, işleticiye ve ülkeye maliyeti olabildiğince düşük, ekonomik, sosyal gelişmeye katkısı yüksek, kentsel gelişimi olumlu yönde etkileyecek çağdaş bir ulaşım sisteminin kurulup işletilmesidir.

Malatya Büyükşehir Belediyesi adına toplu taşıma hizmetini yürütmekte olan MOTAŞ (Malatya Ulaşım A.Ş) Müdürlüğüne bağlı otobüsler kent merkezindeki cadde ve güzergâhlarda yoğun araç trafiğinden dolayı ciddi sıkıntılar yaşamaktadır. Ayrıca otobüslerin belirtilen güzergâhtaki yoğunluğu, diğer araç trafiğini de olumsuz etkilemektedir. Toplu taşıma sistemi içerisinde yer alan minibüslerin şehir merkezindeki dağınık durak yerleşimi ve araç yoğunluğu olan caddelerde oluşturduğu trafik sıkışıklığı da ayrıca ciddi manada sorun teşkil etmektedir. Bu doğrultuda yapılan geçici çözümler yerine geleceğe dönük, kalıcı ve şehrin vizyonunu artıracak planlamalar yapılmalıdır.

Kentin gelecekteki ulaşım sisteminin, araçların değil insanların ekonomik, hızlı, konforlu ve güvenli bir şekilde taşınmasına öncelik verilerek planlanması ve bu amaçla kent içi ulaşımın temel ögesi olan toplu taşımın hız (yolculuk süresi), konfor, emniyet ve güven duygusundan oluşan hizmet kalitesinin yükseltilmesi ve sürdürülebilirliğinin artırılması için kent içi ulaşım planı doğrultusunda, şehir içi yol ağının, toplu taşım öncelikli kullanımına yönelik projeler oluşturulması gerekmektedir.

Bu nedenle sorunun çözüme kavuşturulması amacıyla Malatya Belediye Başkanının talebi ile ülkemizde ve dünyadaki toplu taşıma sistemlerinin incelenerek Malatya'nın fiziki ve mali şartlarına uygun bir sistemin belirlenmesi ve bu yöndeki ARGE çalışmalarının daha hızlı ve koordinasyonlu olarak yürütülmesi için teknik personel ve yöneticilerden oluşan

komisyonlar kurulmuş ve bu komisyonlar hem yurtiçi hem de yurtdışında kapsamlı çalışmalar yapmıştır.

## **8.2 MOD SEÇİMİ İÇİN SİSTEM KARŞILAŞTIRMALARI**

### **8.2.1 Minibüs**

Gelişmiş ülkelerde tamamen terkedilen, gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde hala toplu taşıma aracı olarak kullanılan minibüslerin işletme mantığının tamamen kar amaçlı olmasından kaynaklı seferlerindeki düzensizlik, araçların uygunsuzluğu, duraklama ve durak disiplinin olmayışı, vb. sebeplerden yolculuk için cazip bir toplu taşıma aracı olmaktan çıkmışlardır. Ancak uzak mesafe kırsal alanlardaki kullanım şekli ve esnekliği buralardaki yolcular için tercih nedenidir. Malatya kent merkezinde 257 minibüs ile özel sektör eliyle taşımacılık yapılmaktadır. Bu araçlar hem konfor, hem güvenlik hem de yeterlilik açısından ihtiyaca cevap vermemektedir. Bu sistemler yoğun hatlar için tercih nedeni olamazlar ancak bu hatların beslenmesinde yenilenmeleri ve diğer toplu taşıma sistemlerine entegre edilmeleri şartıyla faydalı olabilirler.

### **8.2.2 Otobüs**

Dünyada en yaygın olarak kullanılan toplu taşıma modudur. Belirli bir yolculuk sayısının altındaki bölgelerde kesinlikle tercih edilmelidir. Otobüs ulaşımı bugün dünyanın birçok yerinde müşteri talebine cevap verememektedir. Bunun sebepleri ise; özellikle pik saatlerde otobüs yolcularının aşırı yoğunluğu ve yolcu şikayetleri, durak yerlerinin uygunsuzluğu, genel trafik içinde olma nedeniyle yolcuları rahatsız eden manevralar, duruş-kalkışlar, genel trafik ve duraklar nedeniyle ticari hızın düşük olması, genel trafiği kullanmasından dolayı sefer düzensizliği, sefer aralıklarının açıklığı nedeniyle aşırı doluluk, artan işletme maliyetleri nedeniyle yolculuk ücretlerinin yüksekliği olarak sayılabilir.

Malatya kent merkezinde Malatya Büyükşehir Belediyesi adına toplu taşıma hizmeti sürdüren Ulaşım A.Ş, 69 hatta yaklaşık 150 otobüs ile toplu taşıma hizmetini sürdürmektedir. Malatya kent merkezi için yolculuk değerleri düşünüldüğünde otobüs sayılarının artırılması ve yeni düzenlemelerle bu ihtiyaç karşılanabilecek durumdadır. Ancak dizel yakıt maliyetlerinden kaynaklı büyük giderlerin karşılanamaz hale gelmesi ve

bu otobüslerin şehir içinde meydana getirdiği çevreye olumsuz etkisine çözüm üretilmesi gerekmektedir. Bunun içinde düşük maliyetli ve temiz bir yakıt türü ile çalışan bir toplu taşıma moduna ihtiyaç duyulmaktadır.

### **8.2.3 Metrobüs**

Tercihli yol kullanımı ile hızlı gelişme potansiyeli sergileyen, ilk yatırım ve işletme maliyeti diğer raylı sistemlere oranla oldukça düşük olan ve kurulumu çok daha kısa sürede tamamlanan bir toplu taşıma sistemidir. En başta seyahat süresini kısaltarak yolculara zamandan tasarruf sağlamakta, araçların kendine ait yolda ilerlemesi, kaza oranını ve kaza riskini azaltmakta ve sistemde çalışan yüksek teknolojili araçlar ile yolcular ve kullanıcılar için güvenliği ve konforu artırmaktadır. Ancak yüksek yakıt maliyeti ve yüksek emisyon salınımı yönünden mevcut toplu taşıma hizmeti veren otobüslerle aynı kategoridedir.

Avantajlı bir çok özelliği olmasına rağmen Anadolu şehirlerinin en büyük sorunu olan dizel yakıt maliyetine çözüm olmadığından tercih nedeni de olamamaktadır.

### **8.2.4 Hafif Raylı Sistemler (HRY)**

Karayolu trafiğiyle birlikte işletme yapan konvansiyonel tramvaylar ile tamamen ayrılmış yol kullanarak (çoğunlukla tünel veya viyadük) işletme yapan metrolar veya ağır raylı sistemler arasında bir noktada bulunan kılavuzlu raylı ulaşım sistemidir. Hafif raylı sistemler, yüksek yolcu kapasitesi, yüksek yolcu kapasitesi sonucu yolcu başına düşük işletme maliyeti, hizmetin sürekliliği, en iyi yolculuk kalitesi, yüksek hız kapasitesi, yüksek güvenilirlik ve konfor, uzun hizmet ömrü, şehre kazandıracığı yüksek vizyon gibi avantajlara sahiptir.

Pik saatlerde 8000-15000 bandının altında yolculuk değerleri olan hatlar veya şehirler için Hafif Raylı Sistemler, ekonomik ve uygulanabilir bir yatırım olmaktan uzaktır. Malatya kent merkezinin pik saatlerde maksimum yolcu kapasitesi 3500-4500 bandında olduğundan Malatya içinde Hafif Raylı Sistemlerin uygun bir yatırım olmayacağı değerlendirilmiştir. Ayrıca sistemin yüksek kurulum maliyeti ve Malatya kent merkezindeki yolların yetersizliği de bu kararın verilmesinde etkili olmuştur.

### 8.3 KARAR SÜRECİ

Tüm toplu taşıma sistemleri incelendikten sonra Malatya için en uygun çözümün Trolleybüs Sistemi olması gerektiğine karar verilmiştir. Özellikle bu karar verilirken toplu taşıma düşünülen güzergâhtaki yol yapısı, şimdi ve gelecekte oluşabilecek yolcu sayısı, yatırımın ekonomik maliyeti, tercih edilecek aracın yakıt tüketimi, nüfus ve nüfus artış hızı, güvenlik, konfor vb. parametreler dikkate alınmıştır. Malatya kent merkezinin nüfusu 565171 kişidir. TÜİK verilerine göre nüfus artış hızı ortalaması ve 2023 projeksiyonu aşağıdaki tabloda belirtilmiştir (Tablo 8.3).

**Tablo 8.1: Mayıs 2010 yılı Malatya ili 2023 projeksiyonu**

| YIL        | NÜFUS             |
|------------|-------------------|
| 2010       | 739.902           |
| 2013       | 748.731           |
| 2018       | 761.343           |
| 2023       | 769.736           |
| Artış Hızı | yüzde $\approx$ 4 |

*Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu*

Malatya Büyükşehir Belediyesi projeye özgün bir kimlik kazandırmak için yapacağı Trolleybüs Sistemine Trambüs Sistemi, Trolleybüslere Trambüs ismini vermiş ve projenin her yerinde trolleybüs yerine Trambüs ismini kullanmıştır. Başka şehirlerde de t-bus, o-bus gibi farkındalık yaratmak için farklı isimler kullanılmıştır.

### 8.4 İHALEYE HAZIRLIK

Yapılacak işin bir kısmı (trafo binaları, direk temelleri, kablo kanal kazıları, duraklar vs.) yapım, bir kısmı da (trolleybüsler, trafolar, katener direkleri, seyir teli, haberleşme ekipmanları vs.) mal alımı olduğundan işin sağlıklı yürütülmesi için ihalenin ne şekilde olması gerektiği tartışılmıştır. Aynı ayrı ihale edilmesi durumunda trolleybüslerin ve sistemin enerjisini sağlayacak katener sistemi arasında işletmede yaşanabilecek sistemsel

veya imalat kaynaklı sıkıntılarda uyumsuzluk durumunda tarafların birbirini suçlaması ve çözümün zorlaşacağı düşünülerek işin birbirinden ayrılmadan yapılması kararlaştırılmıştır.

Tüm iş yapım işi olarak ihale edilmesi durumunda özellikle uzmanlık isteyen kısımlarda (araç üretimi, katener sistemi, haberleşme sistemleri vs.) yapım işinde iş bitirmesi olan firmaların zorlanacağı ve özellikle araç üretimini başaramayacakları düşünülmüştür. Ayrıca yapım kısmı tüm işin yaklaşık yüzde15 lik bir kısmını oluşturduğundan mal alımını yapım işinin içine katmaktansa, yapım işini mal alımının içine katmanın daha faydalı olacağına karar verilmiş ve bu çerçevede ihale şartnameleri ve eklerinin hazırlık çalışmaları başlatılmıştır.

#### **8.4.1 Sistemin Kurulduğu Güzergahta Maliyet Analizi**

Sistemin kurulduğu yaklaşık 19 km'lik Maşti – İnönü Üniversitesi güzergahını, Malatya Ulaşım A.Ş tarafından işletilen otobüs işletmeciliğinde birebir karşılayan bir güzergah bulunmamaktadır. Malatya'da sistemin asıl kuruluş amaçlarından birinin bu güzergahta, üniversite öğrencilerinin toplu taşımada yaşadığı sorunlara çözüm bulma çabaları olduğu belirtilmektedir. Bu yüzden maliyet hesaplamalarında yolculuk değerleri ve mevcutta çalışan araçların yaptığı kilometre belirlenirken sadece Malatya Ulaşım A.Ş tarafından işletilen Şehir Merkezi – İnönü Üniversitesi güzergahının verileri dikkate alınmıştır. (Bu güzergahta ayrıca 7.5 metrelik 9 tane özel midibüs çalışmaktadır. ) tespit edilen güzergahın uzunluğu tek yönde 37,5 km'dir. Trolleybüslerin taşıyacağı yolcular belirlenirken en kötü senaryoyla mevcut yolculuk değerlerinin değişmeyeceği varsayılmıştır. Ancak sistemin ve uzayan güzergahın oluşturacağı cazibe ve işleticinin belirleyeceği yeni aktarma merkezleri ile bu sayının en az yüzde 50 civarında artacağı öngörülmüştür.

**Tablo 8.2: Malatya trolleybüs güzergahı çift yön saatlik yolcu sayıları**

| <b>SAATLİK YOLCU SAYILARI ÇİFT YÖN</b> |              |     |       |      |       |       |       |       |       |       |              |
|--|--------------|-----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
|  | <b>00:00</b> | 0   | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | <b>0</b>     |
|  | <b>23:00</b> | 0   | 0     | 0    | 9     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | <b>9</b>     |
|  | <b>22:00</b> | 0   | 2     | 0    | 67    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | <b>70</b>    |
|  | <b>21:00</b> | 59  | 505   | 12   | 99    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | <b>675</b>   |
|  | <b>20:00</b> | 221 | 591   | 8    | 102   | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | <b>925</b>   |
|  | <b>19:00</b> | 275 | 475   | 16   | 59    | 47    | 47    | 47    | 47    | 47    | <b>871</b>   |
|  | <b>18:00</b> | 289 | 453   | 27   | 112   | 68    | 68    | 68    | 68    | 68    | <b>950</b>   |
|  | <b>17:00</b> | 485 | 712   | 153  | 57    | 95    | 95    | 95    | 95    | 95    | <b>1.502</b> |
|  | <b>16:00</b> | 619 | 1.372 | 237  | 4     | 133   | 133   | 133   | 133   | 133   | <b>2.364</b> |
|  | <b>15:00</b> | 559 | 1.473 | 296  | 26    | 94    | 94    | 94    | 94    | 94    | <b>2.447</b> |
|  | <b>14:00</b> | 475 | 763   | 256  | 59    | 87    | 87    | 87    | 87    | 87    | <b>1.640</b> |
|  | <b>13:00</b> | 382 | 630   | 308  | 12    | 87    | 87    | 87    | 87    | 87    | <b>1.419</b> |
|  | <b>12:00</b> | 479 | 935   | 250  | 18    | 92    | 92    | 92    | 92    | 92    | <b>1.774</b> |
|  | <b>11:00</b> | 391 | 497   | 167  | 40    | 73    | 73    | 73    | 73    | 73    | <b>1.168</b> |
|  | <b>10:00</b> | 369 | 354   | 208  | 49    | 73    | 73    | 73    | 73    | 73    | <b>1.054</b> |
|  | <b>09:00</b> | 353 | 657   | 309  | 34    | 76    | 76    | 76    | 76    | 76    | <b>1.428</b> |
|  | <b>08:00</b> | 414 | 1.382 | 456  | 109   | 96    | 96    | 96    | 96    | 96    | <b>2.457</b> |
|  | <b>07:00</b> | 546 | 563   | 382  | 181   | 123   | 123   | 123   | 123   | 123   | <b>1.795</b> |
|  | <b>06:00</b> | 215 | 17    | 1    | 106   | 51    | 51    | 51    | 51    | 51    | <b>390</b>   |
| <b>ÇEVREYOLU-ÜNİVERSİTE(2B)</b>        |              |     |       |      |       |       |       |       |       |       |              |
| <b>ŞİRE PAZARI-ÜNİVERSİTE(17A)</b>     |              |     |       |      |       |       |       |       |       |       |              |
| <b>ŞİRE PAZARI ARAŞTIRMA(16A)</b>      |              |     |       |      |       |       |       |       |       |       |              |
| <b>ARAŞTIRMA ÜNİVERSİTE(16B)</b>       |              |     |       |      |       |       |       |       |       |       |              |
| <b>CANKOÇ(16C)</b>                     |              |     |       |      |       |       |       |       |       |       |              |
| <b>TOPLAM</b>                          |              |     |       |      |       |       |       |       |       |       |              |
|  | <b>00:00</b> | 0   | 0     | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | <b>0</b>     |
|  | <b>23:00</b> | 4   | 800   | 892  | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | <b>9</b>     |
|  | <b>22:00</b> | 6   | 1200  | 1338 | 70    | 70    | 70    | 70    | 70    | 70    | <b>70</b>    |
|  | <b>21:00</b> | 8   | 1600  | 1784 | 675   | 675   | 675   | 675   | 675   | 675   | <b>675</b>   |
|  | <b>20:00</b> | 8   | 1600  | 1784 | 925   | 925   | 925   | 925   | 925   | 925   | <b>925</b>   |
|  | <b>19:00</b> | 10  | 2000  | 2230 | 871   | 871   | 871   | 871   | 871   | 871   | <b>871</b>   |
|  | <b>18:00</b> | 10  | 2000  | 2230 | 950   | 950   | 950   | 950   | 950   | 950   | <b>950</b>   |
|  | <b>17:00</b> | 12  | 2400  | 2676 | 1.502 | 1.502 | 1.502 | 1.502 | 1.502 | 1.502 | <b>1.502</b> |
|  | <b>16:00</b> | 12  | 2400  | 2676 | 2.364 | 2.364 | 2.364 | 2.364 | 2.364 | 2.364 | <b>2.364</b> |
|  | <b>15:00</b> | 12  | 2400  | 2676 | 2.447 | 2.447 | 2.447 | 2.447 | 2.447 | 2.447 | <b>2.447</b> |
|  | <b>14:00</b> | 10  | 2000  | 2230 | 1.640 | 1.640 | 1.640 | 1.640 | 1.640 | 1.640 | <b>1.640</b> |
|  | <b>13:00</b> | 10  | 2000  | 2230 | 1.419 | 1.419 | 1.419 | 1.419 | 1.419 | 1.419 | <b>1.419</b> |
|  | <b>12:00</b> | 10  | 2000  | 2230 | 1.774 | 1.774 | 1.774 | 1.774 | 1.774 | 1.774 | <b>1.774</b> |
|  | <b>11:00</b> | 10  | 2000  | 2230 | 1.168 | 1.168 | 1.168 | 1.168 | 1.168 | 1.168 | <b>1.168</b> |
|  | <b>10:00</b> | 12  | 2400  | 2676 | 1.054 | 1.054 | 1.054 | 1.054 | 1.054 | 1.054 | <b>1.054</b> |
|  | <b>09:00</b> | 12  | 2400  | 2676 | 1.428 | 1.428 | 1.428 | 1.428 | 1.428 | 1.428 | <b>1.428</b> |
|  | <b>08:00</b> | 12  | 2400  | 2676 | 2.457 | 2.457 | 2.457 | 2.457 | 2.457 | 2.457 | <b>2.457</b> |
|  | <b>07:00</b> | 8   | 1600  | 1784 | 1.795 | 1.795 | 1.795 | 1.795 | 1.795 | 1.795 | <b>1.795</b> |
|  | <b>06:00</b> | 6   | 1200  | 1338 | 390   | 390   | 390   | 390   | 390   | 390   | <b>390</b>   |
| <b>SEFER SAYISI</b>                    |              |     |       |      |       |       |       |       |       |       |              |
| <b>YOLCU KAPASİTESİ %90 DOLULUK</b>    |              |     |       |      |       |       |       |       |       |       |              |
| <b>YOLCU KAPASİTESİ %100 DOLULUK</b>   |              |     |       |      |       |       |       |       |       |       |              |
| <b>YOLCU SAYISI</b>                    |              |     |       |      |       |       |       |       |       |       |              |

Kaynak: Malatya Ulaşım A.Ş

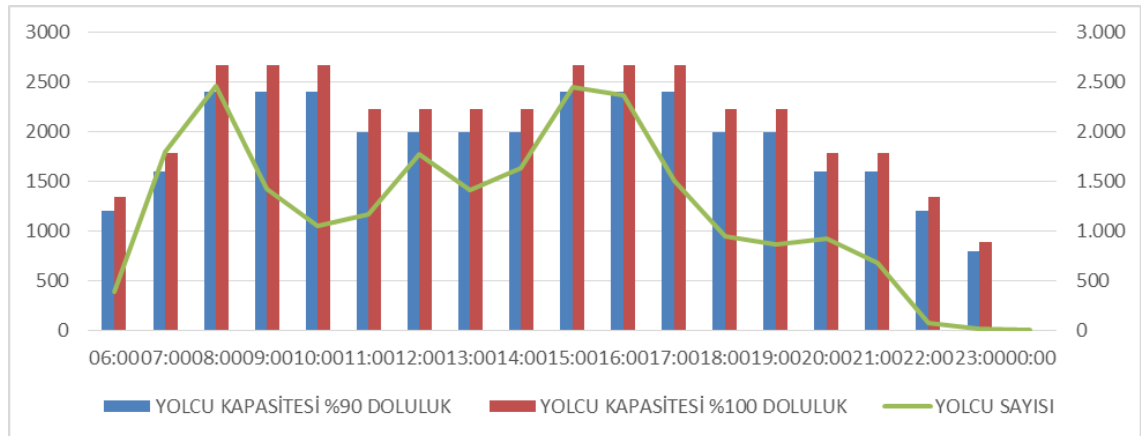


**Tablo 8.3: Malatya trolleybüs güzergahı tek yön saatlik sefer sayıları**

| SAATLİK SEFER SAYILARI TEK YÖN      |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |
|-------------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| HAT ADI                             | 06:00    | 07:00     | 08:00     | 09:00     | 10:00     | 11:00     | 12:00     | 13:00     | 14:00     | 15:00     | 16:00     | 17:00     | 18:00     | 19:00     | 20:00     | 21:00    | 22:00    | 23:00    | 00:00    |
| ÇEVREYOLU-<br>ÜNİVERSİTE(2B)        | 3        | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 2        |          |          |          |
| ŞİRE PAZARI-<br>ÜNİVERSİTE(17)      | 2        | 4         | 6         | 6         | 6         | 4         | 4         | 4         | 4         | 6         | 6         | 6         | 6         | 4         | 4         | 4        | 4        |          |          |
| ŞİRE PAZARI<br>ARAŞTIRMA(16)        | 1        | 2         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 2         | 2         | 2         | 3         | 3         | 3         | 3         | 2         | 1        | 1        |          |          |
| ARAŞTIRMA<br>ÜNİVERSİTE(16)         | 1        | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |           |           | 1         | 1         |           |           |           | 1         | 1         | 1        | 1        |          |          |
| CANKOÇ(16C)                         | 1        | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |           |          |          |          |          |
| <b>TOPLAM</b>                       | <b>8</b> | <b>11</b> | <b>14</b> | <b>14</b> | <b>14</b> | <b>12</b> | <b>11</b> | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>13</b> | <b>13</b> | <b>13</b> | <b>13</b> | <b>12</b> | <b>10</b> | <b>8</b> | <b>6</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |
| KAPASİTE                            |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |          |          |          |
| <b>12 METRELİK<br/>SOLO ARAÇ</b>    | 640      | 880       | 1120      | 1120      | 1120      | 960       | 880       | 800       | 880       | 1040      | 1040      | 1040      | 1040      | 960       | 800       | 640      | 480      | 0        | 0        |
| <b>18 METRELİK<br/>KÖRÜKLÜ ARAÇ</b> | 0        | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0        | 780      | 0        | 0        |

Kaynak: Malatya Trambüs Projesi

**Tablo 8.4: Malatya trolleybüs yolcu kapasite oranları**



Kaynak: Malatya Ulaşım A.Ş

**Tablo 8.5 : Malatya trolleybüs güzergahı yakıt maliyet analizi**

| HAT ADI                      | HAT UZUNLUĞU | SEFFER SAYISI | ARAÇ SAYISI | TOPLAM KM.  | HAFTA İÇİ YOLCU ORT | ARAÇ BAŞINA DÜŞEN YOLCU | ENERJİ TÜKETİMİ (TL) |                |                |
|------------------------------|--------------|---------------|-------------|-------------|---------------------|-------------------------|----------------------|----------------|----------------|
|                              |              |               |             |             |                     |                         | DİZEL                | CNG            | ELEKT RİK      |
| ÇEVREYOLU- ÜNİVERSİTE(2B)    | 44,50        | 47            | 6           | 2092        | 6120                | 1020                    | 4130,71              | 2875,81        | 543,79         |
| ŞİRE PAZARI- ÜNİVERSİTE(17A) | 24,46        | 80            | 11          | 1957        | 11380               | 1035                    | 3864,68              | 2690,60        | 1271,92        |
| ŞİRE PAZARI ARAŞTIRMA(16A)   | 23,40        | 40            | 3           | 936         | 3087                | 1029                    | 1848,60              | 1287,00        | 608,40         |
| ARAŞTIRMA ÜNİVERSİTE(16B)    | 26,60        | 12            | 1           | 319         | 1175                | 1175                    | 630,42               | 438,90         | 207,48         |
| CANKOÇ(16C)                  | 26,00        | 14            | 1           | 364         | 1200                | 1200                    | 718,90               | 500,50         | 236,60         |
| <b>TOPLAM</b>                |              | <b>193</b>    | <b>22</b>   | <b>5668</b> | <b>22962</b>        | <b>1044</b>             | <b>11193,31</b>      | <b>7792,81</b> | <b>3683,88</b> |

Kaynak: Bu tablo Mehmet Zeki Hedekoğlu tarafından hazırlanmıştır.

Tablo 8.5'teki çalışma aşağıdaki hususlar doğrultusunda yapılmıştır.

1. Dizel yakıt tüketimi, mevcut Şehir Merkezi – İnönü Üniversitesi hattında çalışan solo ve körüklü dizel araçların tükettiği yakıtların ortalamasına göre belirlenmiştir (km başına yakıt tüketimi ortalama 0.5 lt). Dizel fiyatı 3,95 TL/Lt alınmıştır. Malatya Ulaşım A.Ş Akıllı Kart Sistemi ve Araç Takip Sistemi kullandığından veriler yüzde 100'e yakın doğrulukta verilerdir.

2. Elektrik tüketim değeri, Fransa-Lyon, İsviçre-Zürih, Almanya-Solingen vb trolleybüs sistemlerinin aktif kullanıldığı Avrupa ülkelerindeki işletmecilerden alınan verilere göre belirlenmiştir ( km başına elektrik tüketimi ortalama 3 kw).
3. Avrupa'daki trolleybüs ve otobüs işletmeciliğini beraber yapan işletmecilerden alınan bilgilere göre trolleybüslerde bakım onarım maliyetleri daha düşüktür. Malatya projesinde çok daha az araçla aynı yolcu taşınması hedeflendiğinden sürücü personelinde de ciddi azalma meydana gelecektir. Ancak katener ve trafo bakımı gibi otobüs işletmeciliğinde olmayan ek işler içinde personel istihdamı olacağından bakım-onarım ve personel giderlerinin birbirine denk olacağı varsayılmıştır.
4. Malatya Büyükşehir Belediyesi toptan elektrik aboneliği olup 2014 yılı sonu itibariyle elektriğin 1 kw'nı yaklaşık 26 kuruşa satın almaktadır. Hesaplamalarda elektrik birim fiyatı olarak bu değer kullanılmıştır.
5. CNG araçlar için kilometre başına yakıt tüketimi 0,5 lt, birim fiyat ise 2,75 TL/Lt olarak alınmıştır.
6. Artan veya azalan elektrik ve dizel yakıt değerlerine göre bu tablodaki sonuçlar değişebilecektir. Ancak Tablo 3.1'de de görüleceği üzere elektrik fiyatlarının artışı dizel fiyat artışlarına göre daha düşük düzeydedir ve tahmin edilebilirliği de daha yüksektir. Bu yüzden değişimin genellikle elektrik lehine işlediği görülmektedir. Ayrıca Malatya Büyükşehir Belediyesi kendi elektrik enerjisini yenilenebilir kaynaklardan elde etmeyi hedeflediğinden, elektrik tüketim bedelleri daha da azalacaktır.

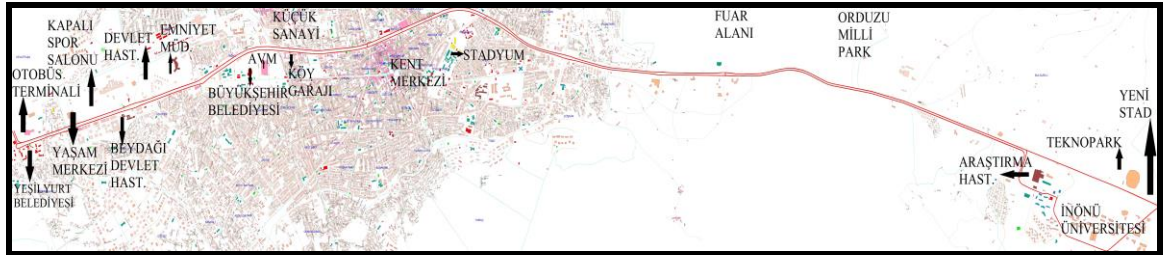
Trolleybüs sisteminin kendine ait bir yolunun olması, araçlarının yüzde 100 alçak tabanlı, modern ve konforlu olması, katener sisteminin yolcuda oluşturacağı güven duygusu vb. sebeplerden yolculuk değerlerinin mutlak anlamda artacağı ve daha fazla işletme karının ortaya çıkacağı hesaplandığında bu sistemin ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen kısa sürede kendini amorti edeceği ve işletmecisini kara geçireceği görülmektedir.

#### **8.4.2 Güzergah Seçimi, Duraklar Ve Trafolar**

Güzergâh belirlenirken özellikle acil ihtiyaç duyulan ve acilen çözüme kavuşturulması gereken hatlar ön plana çıkarılmıştır. Malatya çevre yolu, kent merkezini güney ve kuzey olarak iki bölgeye ayırmış durumdadır. Ve şehir bu yolun paralelinde doğu ve özellikle

batı yönünde gelişim göstermektedir. Bir çok işyeri, okul ve resmi kurum bu yol kenarında bulunmaktadır. Malatya Şehirlerarası Terminali (MAŞTİ), Tapu Binası, 640 yatak kapasiteli Devlet Hastanesi, Malatya Büyükşehir Belediyesi, Emniyet Müdürlüğü, Turgut Özal Araştırma Hastanesi, Üniversite gibi kamu kuruluşları, şehrin en çok kullanılan alışveriş merkezi Malatya Park ve irili ufaklı işyerleri bu güzergah üzerinde bulunmaktadır. Bu yüzden bu güzergâhta kurulacak bir toplu taşıma sisteminin çok kapsamlı bir ihtiyacı karşılayacağı bir gerçektir. Şehrin ana omurgasını oluşturun çevreyolundan geçen bu hat, dikey hatlarla beslendiğinde kent merkezine toplu taşımayı ciddi anlamda kolaylaştıracaktır. Bu güzergâhı kullanan yolcuların sayısı mevcut durumda yaklaşık 50000 civarındır. Bu güzergâhta Belediye otobüsleri ve minibüsler çalışmaktadır. Cazip hale getirilmiş, kendine has bir güzergâhı olan bir toplu taşıma sistemi, teknolojiden uzak kalmış diğer toplu taşıma sistemlerinin kullanımı da ciddi anlamda azaltacaktır. Bütün bu nedenlerle MAŞTİ ve İnönü Üniversitesini birbirine bağlayan bu hattın en uygun hat olacağına karar verilmiştir (Şekil 8.1).

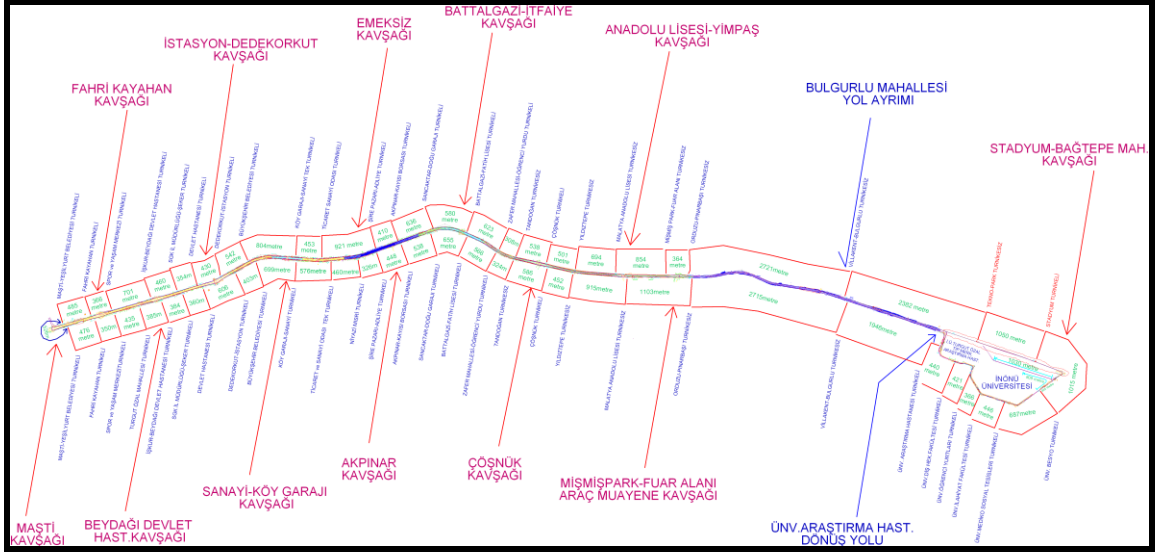
### Şekil 8.1:Malatya trolleybüs güzergahı



Kaynak: Malatya Trambüs Projesi

Hem yolcuların mağdur olmaması hem de işletmenin en iyi şekilde yürütülebilmesi için durak noktaları belirlenirken azami hassasiyet gösterilmiş ve bu doğrultuda istasyon noktaları belirlenmiştir. Yerleşim bölgesinde durak mesafelerinin 300-600 metre aralığında olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 8.2).

## Şekil 8.2: Malatya trolleybüs güzergahı durak yerleşimi



Kaynak: Malatya Trambüs Projesi

Sistemin trafo ihtiyacı hesaplanırken gelecekte 1,5-2 dakika aralıklarla trolleybüs araçlarının sefer yapabileceği ve bu hattın tramvaya dönüştürülebileceği düşünülmüş ve bu yüzden hat üstünde ortalama 2,5 km aralıklarla trafolar yerleştirilmiştir. (Şekil 8.3)

## Şekil 8.3: Malatya trolleybüs güzergahı trafo yerleşimi ve depo binası



Kaynak: Malatya Trambüs Projesi

### 8.4.3 Trolleybüs Araç Detayları

Araç sayısı belirlenirken öncelikle toplu taşıma konusunda ciddi sıkıntı çeken İnönü Üniversitesi öğrencilerinin mevcut yolculuk değerleri dikkate alınmıştır. Özellikle yoğun saatlerdeki yolculuk değerlerine dikkate alınarak trolleybüs sayısı belirlenmiştir. Trolleybüs sisteminin kurulduğu güzergâhta 10 adet 24,7 metre, 10 adet 18,6 metrelik aracın

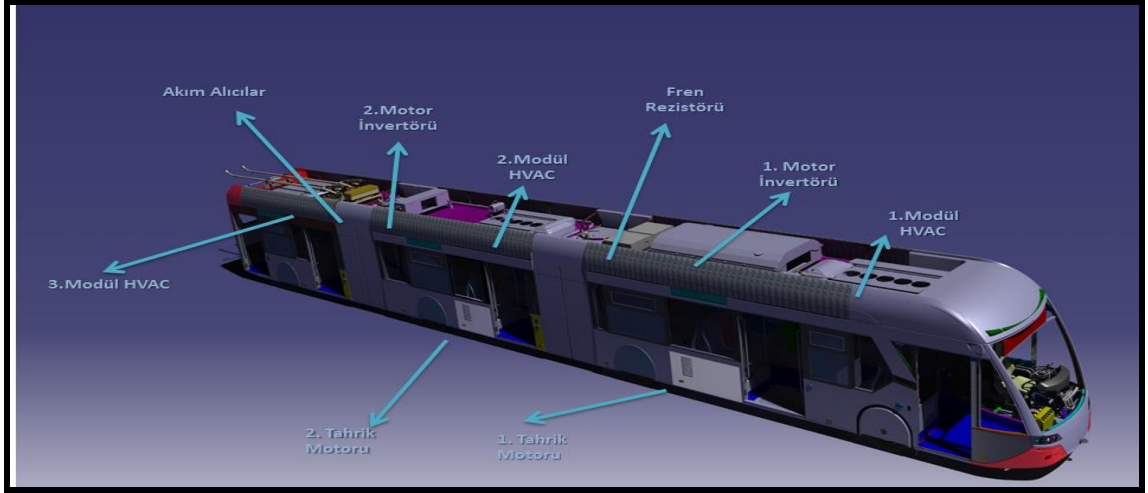
yolculuk ihtiyacına cevap verebileceği hesaplanmıştır. Ancak kurumun finans durumu, kredi bulma imkanları vb sınırlayıcı parametrelerden dolayı ilk aşamada 10 tane 24.7 metrelik (250-270 kişilik) aracın alımına karar verilmiştir. Ayrıca bu aracın Türkiye’de yeniden ilk defa kullanılacak olması temkinli davranmayı gerektirmiştir.

**Tablo 8.6: Üretilcek trolleybüse teknik özellikler**

| <b>Malatya Trolleybüs Teknik Özellikleri</b> |   |
|--|---|
| <b>Araç Dizaynı</b>                          | <b>4 Aksh, Çift Artikülasyonlu, %100 Düşük Tabanlı</b>  |
| <b>Araç Boyu</b>                             | <b>24700 mm</b>   |
| <b>Araç Genişliği</b>                        | <b>2550 mm</b>  |
| <b>Araç Yüksekliği</b>                       | <b>3467 mm</b>  |
| <b>Araç Ağırlığı(AW0)</b>                    | <b>23700 kg</b>   |
| <b>Toplam Yolcu Kapasitesi</b>               | <b>Oturan Yolcu Sayısı: 48, Ayakta Yolcu Sayısı: 210, yada Oturan Yolcu Sayısı: 48, Ayakta Yolcu Sayısı: 209, Özürlü Yolcu Sayısı:1</b> |
| <b>Artikülasyon Sayısı</b>                   | <b>2</b>  |
| <b>Azami Hız</b>                             | <b>70 km/Saat</b>   |
| <b>Maksimum İvmelenme</b>                    | <b>1,1 - 1,4 m/s<sup>2</sup></b>  |
| <b>Fren Sistemi</b>                          | <b>Elektrikli ve Pnömatik</b>   |
| <b>Frenleme İvmesi</b>                       | <b>1,1 - 1,4 m/s<sup>2</sup></b>  |
| <b>Çıkabileceği maksimum eğim</b>            | <b>16%</b>  |
| <b>Aks Sayısı</b>                            | <b>4</b>  |
| <b>Ön Aks</b>                                | <b>RL 75 EC</b>   |
| <b>Sürüş Aksı(2. ve 3. Aks)</b>              | <b>ZF AV 132</b>  |
| <b>Arka Aks</b>                              | <b>ZF AVN 132</b>   |
| <b>Dişli Oranı</b>                           | <b>9,8</b>  |
| <b>En Küçük Dönüş Çapı</b>                   | <b>23,2 metre</b>   |
| <b>Tahrik Sistemi</b>                        | <b>Çift Akstan Tahrik</b>   |
| <b>Elektrik Motor Tipi</b>                   | <b>Asenkron Motor</b>   |
| <b>Motor Gücü</b>                            | <b>160 kW</b>   |
| <b>Araç Nominal Gücü</b>                     | <b>2x160 kW</b>   |
| <b>Hat Voltajı</b>                           | <b>750 V DC</b>   |
| <b>Araç OG seviyesi</b>                      | <b>380 V AC (3 faz)</b>   |
| <b>Araç AG Seviyesi</b>                      | <b>24 V DC</b>  |
| <b>Yardımcı Tahrik Sistemi</b>               | <b>50 kW- Jeneratör</b>   |
| <b>Kapı Sayısı</b>                           | <b>5</b>  |
| <b>Kapı Tipi</b>                             | <b>Elektrikli Kayar Kapı</b>  |
| <b>Klima Sistemi</b>                         | <b>Elektrikli ısıtma ve soğutma</b>   |

*Kaynak:* Malatya Trambüs Projesi

**Şekil 8.4: Üretilcek trolleybüse ait tip ve teknik yerleşim detayları**



Kaynak: Malatya Trambüs Projesi

### Şekil 8.5: Üretilecek trolleybüse ait dış görüntü



Kaynak: Malatya Trambüs Projesi

## 8.5 İHALE

İhale teknik ve idari şartnameleri ve sözleşme tasarısı oluşturulduktan sonra Malatya Belediyesi tarafından ihale ilanına çıkmış ve ihalede yerlilik avantajı ile ilgili madde koyularak yüzde 15 oranında yerli katılımcıların avantajlı olması sağlanmıştır. Beş ayrı firma tarafından ihale dosyası alınmış ancak iki firma ihaleye katılmış ve 18.04.2013 tarihinde yapılan ihalede en avantajlı teklifi veren firmanın iş bitirme, teknik yeterlilik, mali yeterlilik vb. ihale kapsamında istenilen şartları yerine getirip getirmediği ihale komisyonu tarafından incelendikten sonra en avantajlı teklifi veren firmada kalmasında bir mahsur olmadığına karar verilmiştir. Bunun sonucunda idare tarafından ihalenin

onaylanmasının uygun olacağı kararı verilmiştir.

## **8.6 İMALAT SÜRECİ VE İŞİN TAMAMLANMASI**

İdare tarafından yer teslimi yapıldıktan sonra öncelikli olarak işin yapım kısmını oluşturan trafo bina inşaatları, katener direk temelleri ve yüksek gerilim kablo kanal imalatlarına ve paralelinde de araç teknik şartnamesi doğrultusunda araçların tasarımlarına başlanmıştır. İşletmede geçmiş dönemde İstanbul, İzmir ve Ankara örneklerinde olduğu gibi elektrik kesintisi olma ihtimali göz önünde bulundurularak hat üzerinde şehrin tüm elektriğinin sağlandığı üç ayrı indirici merkezden enerji alınması için gerekli bağlantı ve kablo geçişleri tamamlanarak sistemin enerji kesintilerinden en az etkilenmesi sağlanmıştır. Havai hat (Katener) direk tipi seçilirken güzergâhın bazı yerlerinde aydınlatma olmadığından şehrin estetiğini bozmayacak bir aydınlatma konsolu seçilmiş, katener direği ayrıca aydınlatma direği olarak tasarlanmış ve güzergâhtaki diğer aydınlatma direkleri sökülmüştür. Bu şekilde güzergâh boyunca sağlıklı ve estetik bir aydınlatma sisteminin kurulmasına katkı sağlanmıştır. İhale şartnamesinde katener direk temelleri fore kazık olarak öngörülmüş ancak direk temellerinin yapılacağı güzergâhta doğalgaz, temiz ve pis su hatları, elektrik, fiber optik kablo, Telekom vb. değişik türde altyapıların olması ve bu altyapıların deplasmanının çok maliyetli ve uzun vadede gerçekleşeceğinden bu tür bölgelerde fore kazık temel imalatı yerine yüzeysel temel imalatı yapmak zorunda kalınmıştır. Fore kazık temele göre süreç olarak zorlu bir iş olan yüzeysel temel işi işin bitimi için planlanan sürenin uzamasına sebebiyet vermiştir.

Güzergâhta Katener sisteminin yapıldığı yolun Karayolları ağında olması, alternatif yol olmadığından imalatın akan trafikle birlikte yürütülmesi, kavşak yapısının trolleybüslerin geçişine uygun olmaması ve bu güzergâhta karayollarının devam eden asfalt ve yeni kavşak imatları gibi altyapı işleri işin yürütülmesinde gecikmelere sebep olmuş değişen yol yapısı nedeniyle katener projelerinde de değişiklik yapılmak zorunda kaldığından ayrıca işin imalat sürecinin uzamasına sebep olmuştur. Altyapı imatlarında yaşanan olumsuzluklara ve engellere rağmen altyapı imatları için belirlenen süre konusunda gecikmeler yaşanmış olsa da bu sistemin en zor ve önemli imalatı olan katener sistemi imatları hedeflenen kalitede tamamlanmıştır.



### Şekil 8.6: Havai hat(Katener Sistemi) montaj çalışmaları



*Kaynak: Malatya Trambüs Projesi*

Altyapı imalatları devam ederken bir yandan da araç üretimi devam ettirilmiştir. İhale kapsamında güzergahın uzunluğu, yolcu potansiyeli ve mali durumlar göz önünde bulundurularak ilk etapta 10 adet 24.7 metrelik araç kullanılmasına karar verilmişti. Bununla özellikle pik saatlerde daha az araçla daha fazla yolcu taşınması hedeflenmişti. İhaleyi yerli bir firmanın alması ve bu aracın Türkiye’de ilk defa üretilecek olması, aracın imalat aşamalarında yüksek hassasiyet göstermeyi gerektirmiştir. Bu yüzden kontrol teşkilatınca hataya yer vermemek için araç üretiminin bütün aşamaları titizlikle takip edilmiş ve araçların en az hata ile üretilmesine imkân sağlanmıştır.

Aynı zamanda araç üretimleri de tamamlanarak gerekli testlere tabii tutulduktan sonra tespit edilen eksiklikler tamamlanarak yolcuların kullanımına uygun ve işletmeye hazır hale getirilmiş ve bu şekilde imalatlar tamamlanmıştır.

**Şekil 8.7: Üretilen trolleybüse ait iç görüntü**



*Kaynak: Malatya Trambüs Projesi*

**Şekil 8.8: Tamamlanan trolleybüse ait bir görüntü**



*Kaynak: Malatya Trambüs Projesi*

## 9. SONUÇ

Trolleybüs sistemi, tramvay ve dizel otobüs sistemlerinin iyi özelliklerini birleştiren bir sistem olarak nüfusu bir milyonun altındaki Anadolu şehirleri veya pik saatlerde yolcu değerleri 2000-10000 kişi aralığında olan bütün hatlar için güçlü bir alternatif oluşturmaktadır. Elektrikli tahrik sisteminin bütün avantajlarını kullanan trolleybüs sistemlerinde 120-180-250 kişilik kapasiteye sahip yüksek kaliteli ve konforlu araçlar kullanılmaktadır. Elektrik enerjisini kullanan bu araçlar, klasik yol üzerinde ve lastik tekerlek kullanarak hareket ederler. Enerjilerini tramvay sistemleri gibi havai hattan alan bu araçların ayrılmış yola ihtiyaçları yoktur ancak işletmecinin tercihi ile tercihli yollarda da kullanılabilirler. Bu şekilde kullanıldıkları takdirde metrobüs kalitesinde ama çok daha düşük enerji tüketen bir toplu taşıma seçeneğini oluşturmaktadırlar. Trafik ışıklarında öncelikli ve ayrılmış hat uygulamaları ile hızları ve verimlilikleri artırılabilir. Yolcuların bilet ücretlerini durak girişlerinde veya araç üstünde ödemelerine imkan sağlayacak şekilde sistem tasarlanabilir. Yolculuk talebi fazla olan duraklarda turnike sistemi kullanılarak tüm kapılardan yolcu alınması durumunda sefer süreleri ve işletme hızları artmaktadır.

Araştırmalar saatte 2000-10000 yolculuk bandında trolleybüs sistemlerinin maliyet açısından uygun çözüm olduklarını göstermektedir. Ancak her güzergah için; uzunluk, yolcu sayısı, yol yapısı, bakım onarım giderleri vb faktörler birlikte değerlendirilerek kapsamlı maliyet analizleri yapılmalıdır. Bu çerçevede hangi toplu taşıma sisteminin daha uygun olacağına karar verilmelidir. Ayrıca yatırımcıların yapacakları toplu taşıma yatırımları öncesi finans durumlarını iyi değerlendirerek karar vermeleri gerekmektedir.

Türkiye’de daha önce İstanbul, Ankara ve İzmir’de kullanılmış ancak yoğun elektrik kesintilerinden dolayı yolda kalmaları ve karayolu trafiğini olumsuz etkilemeleri, karayolunu kullanan dizel araçların yatırımlarının daha hızlı ve kolay olması gibi nedenlerle sonraki yıllarda vazgeçilmiş bir sistem olmasından kaynaklı Malatya’da sistemin kurulum kararı ve uygulamaya başlanması, kamuoyunda ciddi eleştirilerin oluşmasına sebep olmuştur. Dünyanın birçok kentinde hala kullanılmasına rağmen Türkiye’nin üç büyük kentinde yaşanan bu talihsiz süreç yüzünden yapım süreci boyunca

eleştiriler devam etmiştir. Ulaşım konusunda uzman olarak bilinen bazı planlamacıların sürecin paydaşları ile konuşmadan ve yeteri kadar bir araştırma yapmadan yaptıkları olumsuz açıklamalar kamuoyunun konuya bakışını oldukça olumsuz hale getirmiştir. Bu süreçte hiçbir şekilde kararsızlık ve yılgınlık yaşanmadan kararlılık, sabır ve ihtimamla süreç tamamlanmış ve sistem kullanılmaya hazır hale getirilmiştir. Gelineen noktada artık Malatya şehri özel bir toplu taşıma sistemine sahiptir ve eşdeğer büyüklükte ve benzer finans ve yolcu potansiyeline sahip diğer şehirlerde de bu sistemin kurulumu için araştırmalar ve hazırlık çalışmaları yapılmaktadır. Bu Malatya'nın, Malatya gibi toplu taşımada sıkıntı çeken birçok şehre ve ülke kalkınmasına kazandırdığı büyük bir katkı olmuştur. Ayrıca bu proje, Avrupa standartlarında ve kalitesinde 24,7 metre uzunluğunda yerli bir trolleybüs aracının üretimine katkı sağlamış olması açısından da çok değerli olmuştur.

## TANIMLAR

**Metrobüs:** Yurtdışında BRT (Bus Rapid Transit) olarak bilinen sistemin Türkiye'deki adıdır. Yüksek kapasiteli otobüslerin genelde kendine ayrılmış güzergahta, ücreti durak girişinde alınmış yolcuları taşıdığı sistemdir.

**Havai hat:** Katener sistemi olarak da adlandırılır. Elektrikli tahrik kullanan sistemlerde enerjinin araçlara iletiildiği ortamdır. En basit hali ile tek iletkenden oluşabilir. Ancak, Trolleybüs sistemlerinde en az iki iletken bulunmaktadır. İletkenlerin boyutu hattın akım talebine göre boyutlandırılır.

**Headspan:** Enine askı sistemi. Havai hat sisteminin konsol olmadan iki askı noktası arasına gerilen bir taşıyıcı halat ile taşındığı sistemdir. Bir veya daha fazla hattın iletkenleri aynı headspan üzerinde taşınabilir.

**Parafil halat:** Tamamen yalıtkan maddelerden imal edilmiş yüksek dayanımlı halat.

**Makas bölgesi:** Katener sistemlerinde iki yol arasında geçiş sağlayan özel bölgeler.

**Cer trafo merkezi:** Elektrikli tahrik kullanan sistemlerde enerjinin katener sistemine temin edildiği trafo merkezlerinin adıdır. Bu merkezlerde elektrik enerjisi AC'den DC'ye dönüştürülür ve özel koruma cihazları üzerinden katener sistemine verilir. Hat boyunca belli noktalarda inşaa edilirler. Sayıları ve güçleri sistemin işletme sıklığına göre detaylı analizler ile belirlenir.

**AC:** Alternatif akım. Elektrik şebesinde üretilen enerjinin ana iletim şeklini oluşturur.

**DC:** Doğru akım. Elektrikli tahrik kullanan sistemlerde elektrik enerjisi cer trafo merkezlerinde AC'den DC'ye çevrilir ve katener hattına verilir. Modern şehiriçi elektrikli ulaşım sistemlerinde enerji beslemesi DC olarak gerçekleştirilmektedir.

**Regeneratif frenleme:** Elektrikli tahrikde kullanan motorların frenleme esnasında generatör modunda çalıştırılarak aracın yavaşlatılmasıdır. Bu esnada motor ürettiği elektrik enerjisini hat üzerinde alıcı varsa hat'a veya kendi üzerinde bir enerji depolama sistemi mevcutsa bu sisteme aktarır. Artık regenerere edilmiş enerji bir direnç üzerinde yakılarak tüketilir.

**Süperkapasitörler:** Regeneratif frenleme esnasında ortaya çıkan veya başka bir ortamdan aldığı elektrik enerjisini depolayan ve istendiğinde sisteme geri veren yüksek kapasiteli kapasitör sistemleri. Bunlar kısa süreler için büyük güç verebilirler.

**CNG otobüs:** Sıkıştırılmış doğal gaz ile çalışan otobüs. Sadece bu yakıt ile işleyen modeller olduğu gibi mevcut sisteme ilave ekipman ile dönüştürülebilir modelleri de mevcuttur.

**Hibrit otobüs:** Bir dizel generatör seti, AC elektrik motoru ve enerji depolama (batarya veya farklı bir yeni teknoloji) kullanan otobüs. Frenleme esnasında regeneratif enerjiyi depolama ünitesine aktarır daha sonra kullanarak verimliliği arttırmaktadır.

**Yakıt hücreli otobüs:** Elektrik enerjisinin araç üstünde elde edildiği, genelde yakıt

olarak Hidrojen'in ve oksitleyici olarak Oksijen'in kullanıldığı otobüslerdir.

**Elektrikli otobüs:** Üzerinde enerji üretici olmayan, sadece enerji depolama ortamında önceden depolanmış olan elektrik enerjisi ile çalışan otobüs.

**Endüksiyon yolu ile şarj:** Elektrikli otobüslerin şarj edilmesinde kullanılan ve geliştirilmesi devam eden bir yöntem. Otobüs üstündeki enerji depolama sistemi elektromanyetik endüksiyon yöntemi ile temassız bir şekilde şarj edilmektedir.

## **KAYNAKÇA**

### **Kitaplar**

Josip Zavada, et. al., “Conditions for Implementing Trolleybuses in Public Urban Transport”, *Promet-Traffic&Transportation*, Vol. 22, pp 467-474, 28 Oct 2010

G. M. Veca, L. Villanti, “Comparison between trolley-bus and tram vehicles:performances and consequent environmental impact”, *Urban Transport VI*, WIT Press, 2000.

Robert Davidson, “Tram vs Trolleybuses: They can’t be seen as enemies”, (*Tramways & Urban Transit*), p. 338, September 2009.

Slaven Tica et. al., “Development of Trolleybus Passenger Transport Subsystems in Terms of Sustainable Development and Quality of Life in Cities”, *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, pp 196-205, September 2011.

## **Diğer Yayınlar**

Andrés Emiro Diez et. al., “Modern Trolleybuses on Bus Rapid Transit: key for electrification of public transport”, ANDESCON, IEEE, 15-17 Sept. 2010.

Arnulf Schuchmann, “Energy and power supply. What do electric systems cost?”, S2R Consulting, Zürich, 2008.

Daniela Carbone, “Results of the survey: Trolleybus Systems in Italy”, 16th UITP Trolleybus Working Group Meeting”, Parma, İtalya, 04/05/ 2012

Daryl Huynh et. al., “Comparison of Zero Emission Transport Methods for Hong Kong SAR: Electric Trolley Buses, Modern Trams, Light Rail”, WPI, 26 Feb 2003.

Development policy for public transport trolleybus subsystem, UITP Trolleybus Working Group, 2007

Dimitrios Lykos, “Athens-Piraeus area electric buses S.A.”, Dec 2010 Ezio Castagna, “New trolley buses in the city of Cagliari”, 16th UITP Trolleybus Working Group Meeting”, Parma, İtalya, 04/05/ 2012

Feasibility Study of Introducing a Trolleybus System in Hong Kong, Atkins China Ltd., May 2001.

Feyzullah Gündoğdu “Yaşam Boyu Maliyetlerinin Kontrolünde LCC Yaklaşımı”, “Transist 2013 Sempozyumu”, 2013

<http://www.dft.gov.uk/news/press-releases/dft-press-20120705b>

<http://www.trolley-project.eu/>

<http://www.tbus.org.uk/>

Ilıcalı Mustafa. Kent İçi Ulaşım Yönetimi Mevzuatı. Transist 2010,

Kevin Brown, “Why the Electric Trolley Coach?”, [www.tbus.org.uk](http://www.tbus.org.uk), 24/02/01

Kevin Brown, “The Benefits of Clean, Quiet, Emission-Free Transit Service: Promoting the Trolleybus in Vancouver”, The Tbus Group, May 2001.

King County Trolley Bus Evaluation, Parametrix & LTK Engineering Services, May 2011.



Linus Kliucininkas, Jonas Matulevicius, Comparative Analysis of Bus and Trolleybus Related GHGs Emissions and Costs in Lithuania, KORSD, October 2009.

New Generation Transport Major Scheme Business Case, October 2009

Niculae Dobos et.al., “Expenditures of on road buses. Compare trolleybus, diesel, hybrid and electric buses expenditures”, 16th UITP Trolleybus Working Group Meeting”, Parma, İtalya, 04/05/ 2012

Reinhart Kühne, “Electric buses - An energy efficient urban transportation means”, Energy Journal 35, Elsevier Ltd., 11 Nov. 2010.

Sergey Korolkov, “Trolleybus Working Group Core brief on technical evolution of trolleybus and panorama of the most promising trends”, 91st UITP Bus Committee Meeting, Berlin, Nov 2011.

Slaven Tica, Dragan Busarcevic, “Elements for defining trolley bus system development policy”, 3rd UITP Trolleybus Working Group Meeting, Cagliari, 15-16 Sept 2005

Stefan Björklund et. al., “New Concepts for Trolley Buses in Sweden”, ScanTech Development AB, 2000.

Süleyman Açıkbş, “Trolleybüs Sistemleri Genel Özellikleri, Diğer Sistemler ile Karşılaştırılması”, “Malatya Trambüs Projesi Fizibilite Çalışması”, 2012

Thierry Meunier, “EDF support to trolleybus projects in France”, Zurich, 19/11/2008  
“Reference list trolleybuses”, Vossloh Kiepe, 2008

Ville Lehmuskoski, “Plans for introducing trolleybuses in the city of Helsinki”, TrolleyMotion conference "New Horizons for Urban Traffic", November 30th December 1st, 2010

Vukan R. Vuchic, “Urban Transit: Systems and Technology”, John Wiley & Sons Inc., 2007.

Zoltán Ádám Németh, “Trolleybuses - the forgotten experience in electromobility”, TrolleyMotion conference "New Horizons for Urban Traffic", November 30th & December 1st, 2010