

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KENT İÇİ ULAŞIM UYGULAMALARINDA ENERJİ VERİMLİ  
ULAŞIM, KOCAELİ AKÇARAY ÖRNEĞİ**

**SERHAT TAŞER**

**KOCAELİ 2020**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KENT İÇİ ULAŞIM UYGULAMALARINDA ENERJİ VERİMLİ  
ULAŞIM, KOCAELİ AKÇARAY ÖRNEĞİ**

**SERHAT TAŞER**

**Dr. Öğr. Üyesi Selman ÇAĞMAN**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**

.....

**Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**  
**Jüri Üyesi, Karabük Üniversitesi**

.....

**Doç. Dr. Ali TÜRKCAN**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 25.08.2020**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitimim süresince değerli görüş ve fikirleriyle beni yönlendiren, bu tez çalışmamı yöneten ve yazımı sırasında değerli katkılarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Selman Çağman'a, lisansüstü eğitimi ve tez çalışmalarım süresince önemli katkılarda bulunan Prof. Dr. Kadri Süleyman Yiğit'e ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Park Ulaştırma Hizmetleri A.Ş. çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince bana manevi desteği olan ve her konuda katkıda bulunan eşim Dr. Dilek Taşer'e ve değerli aileme sonsuz şükranlarımı sunar, çalışmamı onlara ithaf ederim.

Ağustos-2020

Serhat TAŞER

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ .....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
GİRİŞ .....	1
1. ULAŞIM VE TEMEL KAVRAMLAR .....	2
2. GENEL BİLGİLER .....	4
2.1. Kent İçi Ulaşım ve Kent İçi Ulaşım Türleri .....	5
2.1.1. Dünyada kent içi toplu taşıma çeşitleri .....	6
2.1.2. Türkiye’de kent içi toplu taşıma çeşitleri .....	6
2.2. Kocaeli’nde Kent İçi Ulaşım .....	7
2.2.1. Kocaeli’nde raylı sistemle ulaşım .....	9
2.2.2. Kocaeli’nde otobüs sistemiyle ulaşım .....	19
3. BULGULAR .....	24
3.1. Akçaray Enerji Giderleri ve Diğer Maliyetleri.....	25
3.1.1. Yolcu başına enerji taşıma maliyeti .....	26
3.1.2. Kaza maliyeti.....	26
3.1.3. Bakım onarım maliyeti .....	27
3.1.4. Çevresel maliyetler .....	28
3.2. Otobüs Enerji Giderleri ve Diğer Maliyetleri.....	28
3.2.1. Yolcu başına enerji taşıma maliyeti .....	29
3.2.2. Kaza maliyeti.....	29
3.2.3. Bakım onarım maliyeti .....	30
3.2.4. Çevresel maliyetler .....	31
3.3. Akçaray ve Otobüs Maliyetlerinin Karşılaştırılması.....	31
4. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	35
KAYNAKLAR .....	37
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	40
ÖZGEÇMİŞ .....	41

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kocaeli Ulaşım Ana Planı Öncelikli Raylı Sistem Hatları .....	5
Şekil 2.2. Akçaray Tramvay Hattı Güzergah ve İstasyonları.....	9
Şekil 2.3. Akçaray Şehir Hastanesi Uzatma Hattı Güzergah ve İstasyonları.....	10
Şekil 2.4. Akçaray Kocaeli Stadyumu Uzatma Hattı Güzergah ve İstasyonları .....	10
Şekil 2.5. Akçaray Panorama Araç Görüntüsü .....	11
Şekil 2.6. Panorama 2018-2019 Aylık Sefer Sayıları (Adet).....	13
Şekil 2.7. Akçaray 2018-2019 Enerji Harcamaları (kwh/km) .....	15
Şekil 2.8. Gebze Halkalı Banliyö Hattı Güzergah ve İstasyonları .....	16
Şekil 2.9. Gebze Darıca Metro Hattı Güzergah ve İstasyonları .....	17
Şekil 2.10. Kuzey HRS Hattı Güzergah ve İstasyonları .....	18
Şekil 2.11. CNG Yakıt Kullanan Karsan Marka Otobüsün Görüntüsü .....	19
Şekil 2.12. 2019 Garaj ve Günlere Göre Sefer Sayıları .....	21
Şekil 2.13. 2019 Garaj ve Günlere Göre Sefer Kilometreleri .....	21
Şekil 2.14. 2019 Garaj ve Günlere Göre Çalışan Araç Sayıları.....	22
Şekil 2.15. 2019 Ay Bazlı Enerji Tüketim Değerleri (TL) .....	22
Şekil 2.16. 2019 Ay Bazlı Bakım Onarım Giderleri (TL) .....	23

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Akçaray Tramvay Teknik Özellikleri .....	11
Tablo 2.2. Akçaray Hat Teknik Özellikleri .....	12
Tablo 2.3. 2019 Toplam Sefer Sayısı, Toplam Yolcu Sayısı ve Doluluk Oranları.....	13
Tablo 2.4. Akçaray 2019 Yılı Bakım Maliyet ve Kilometre Bilgileri .....	14
Tablo 2.5. Ulaşımпарк Otobüs Marka ve Adetleri.....	19
Tablo 2.6. Otobüslerin Teknik Özellikleri .....	20
Tablo 3.1. 2019 Akçaray Toplam Değerler .....	25
Tablo 3.2. Akçaray Yolcu Başına Enerji Taşıma Maliyeti .....	26
Tablo 3.3. Akçaray Kaza Maliyet Değerleri .....	26
Tablo 3.4. 2019 Otobüs İşletme Toplam Değerler.....	28
Tablo 3.5. Otobüs Yolcu Başına Enerji Taşıma Maliyeti .....	29
Tablo 3.6. Otobüs Kaza Maliyet Değerleri .....	29
Tablo 3.7. Akçaray ile Otobüs Arasındaki Taşıma Enerjisi Farkı .....	31
Tablo 3.8. Akçaray Otobüs Yolcu Başına Enerji Maliyetlerinin Karşılaştırılması.....	32
Tablo 3.9. Akçaray ile Yolculuk Sayesinde Elde Edilen Tasarruf Miktarı.....	32
Tablo 3.10. Akçaray-Otobüs Kaza Maliyetlerinin Karşılaştırılması .....	33
Tablo 3.11. Otobüs ile Tramvay Maliyet Kalemleri Karşılaştırması.....	33
Tablo 3.12. Otobüs ile Tramvay Detaylı Taşımacılık Maliyet Karşılaştırması .....	34

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

cm <sup>3</sup>	: Santimetreküp
h	: Saat
HP	: Horse Power (Beygir Gücü)
Km	: Kilometre
km/h	: Kilometre/Saat
kw	: Kilowatt
L	: Litre
m <sup>2</sup>	: Metrekare
m/s <sup>2</sup>	: Metre/Saniye Kare
Nm	: Newton Metre
Sm <sup>3</sup>	:Standart Metreküp
V	: Volt
%	: Yüzde

### Kısaltmalar

CNG	: Compressed Natural Gas (Sıkıştırılmış Doğalgaz)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
HRS	: Hafif Raylı Sistem
KBB	: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi
TC	: Türkiye Cumhuriyeti
TL	: Türk Lirası
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TÜRSİD	: Tüm Raylı Sistem İşletmecileri Derneği

## KENT İÇİ ULAŞIM UYGULAMALARINDA ENERJİ VERİMLİ ULAŞIM KOCAELİ AKÇARAY ÖRNEĞİ

### ÖZET

Hafif raylı sistemler sürdürülebilir, enerji tüketimi açısından tasarruflu ve çevre dostu olup artan trafik yoğunluğuna çözüm sunabilen iyi bir toplu taşımacılık alternatiftir. 2017 yılında Kocaeli Büyükşehir Belediyesi iştirak firmalarından olan Ulaşımпарк Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş. tarafından Kocaeli’nde toplu taşımacılık adına bir ilk olan Akçaray tramvay hattı hayata geçirilmiştir. Bu tez çalışmasında, enerji maliyet performans analizi için Akçaray hattında kullanılan 18 adet tramvay ve Ulaşımпарк Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş.’ye ait olan 336 adet otobüsün karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma yolcu başına birim enerji giderleri, bakım onarım giderleri, çevre emisyon maliyet hesaplamalarına göre irdelenmiştir. Bu kapsamda detaylı tüm maliyetlerle birlikte otobüsün birim enerji yolcu maliyeti 1,87 TL/yolcu iken Akçaray’da bu değer 0,54 TL/yolcu’dur. Akçaray ile ulaşım sayesinde 8.922.564,35 TL/yıl tasarruf yapılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Tasarrufu, Hafif Raylı Sistem, Toplu Taşımacılık, Veri Analizi.



## **EXAMPLE OF ENERGY EFFICIENT TRANSPORTATION IN URBAN TRANSPORTATION APPLICATION KOCAELİ AKÇARAY**

### **ABSTRACT**

Light rail systems are sustainable, energy-efficient and environmentally friendly transport alternatives that can provide solutions to increasing traffic congestion. Akçaray tram line, which is the first light rail system in Kocaeli, was implemented by the Kocaeli Ulaşım Park Transportation Services Inc., one of the subsidiaries of Kocaeli Metropolitan Municipality, in 2017. In this thesis, the comparison of 18 trams used on the Akçaray line and 336 buses belonging to Ulaşım Park Transportation Services Inc. was made for energy cost performance analysis. This comparison is analyzed according to unit energy costs per passenger, maintenance-repair costs and environmental emission cost calculations. In this context, the unit energy passenger cost of the bus with all the detailed costs is 1,87 TL per passenger whereas in Akçaray this value is 0.54 TL per passenger. Thanks to transportation with Akçaray 8.922.564,35TL per year is saved.

**Keywords:** Energy Saving, Light Rail System, Public Transport, Data Envelopment Analysis.

## **GİRİŞ**

Türkiye, Asya ve Avrupa kıtalarını bağlayan kara, deniz ve demir yolu ulaşımında önemli bir coğrafi konumda yer almaktadır. Nüfus yoğunluğu bakımından Türkiye'nin en kalabalık şehirlerinden biri olan Kocaeli, gelişen sanayisi ile birlikte artmaya devam eden nüfusu ve trafikteki araç sayısı ile mevcut ulaşım ağlarının talebi karşılayamaması, coğrafyasının yeni kara yolu ulaşım ağlarının yapımına uygun olmaması nedeniyle alternatif kent içi ulaşım sistemlerine ihtiyaç duymuştur. Kent içi ulaşımında artan talebi karşılamak için düşünülen alternatif taşıma sistemlerinin; yolculuk süresi, kaza riski, araç konforu, maliyet, çevresel etki, kent ile mühendislik ve mimari uyum ve sürdürülebilirlik gibi kısıtlara dikkat edilerek yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda Kocaeli Büyükşehir Belediyesi ve onun iştirak firması olan UlaşımPark Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş. tarafından Akçaray tramvay projesi hayata geçirilmiştir.

Raylı sistemler, kent içi artan trafik yoğunluğunda tek seferde daha fazla yolcu taşınması ve diğer kent içi ulaşım sistemlerine göre daha konforlu ve çevreci olması nedeniyle tercih edilebilir bir alternatif ulaşım şeklidir [1].

Türkiye'de özellikle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu illerden olan İstanbul, Ankara, İzmir, Adana, Antalya, Konya, Bursa, Eskişehir, Gaziantep, Samsun, Kayseri ve Kocaeli kent içi ulaşımında diğer ulaşım türlerine alternatif olarak raylı sistemleri tercih etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında Kocaeli Akçaray tramvay projesinin kent içi toplu taşımada oluşan enerji, bakım, kaza ve çevresel maliyetleri ile yolcu taşımacılığı yapan otobüsün maliyet hesaplaması yapıp karşılaştırılmıştır.

## 1. ULAŞIM VE TEMEL KAVRAMLAR

İnsanın hayatta kalabilmesi ve türünü sürdürebilmesi, kendisinin ya da bir başkasının mekan üzerindeki hareketine bağlıdır. Gerek modern zaman öncesi, gerek modern zamanda beslenme ve barınma gibi temel ihtiyaçların karşılanması yanı sıra ticaret, haberleşme ve bilgi akışının sağlanabilmesi mekansal hareketliliğinin sonucunda gerçekleşebilmiştir. Amaç ne olursa olsun insanların mekanlar arası yer değiştirmeleri ulaşım kavramı ile canlıların ya da nesnelere bir yerden başka bir yere götürülmesi ise taşıma sözcüğüyle tanımlanır.

Ulaşma ve taşıma eylemleri, küçük bir ölçekte kısa mesafelerle sınırlı olabileceği gibi ülkeler ve kıtalar arası da gerçekleştirilebilir. Bu eylemlerin gerçekleştirilmesinde insan gücünün yanı sıra doğal yahut mekanik araçlardan da yardım alınabilir. Tahtadan yapılan iki tekerlekli bir aracın insan ya da hayvan gücüyle çekilmesiyle başlayan bu süreç gelişen teknoloji ile birlikte daha hızlı, konforlu, güvenli, ucuz ve çevreci yöntemlerin keşfedilmesini de beraberinde getirmiştir. İnsanların gerek kendi ulaşımı gerekse beraberinde taşıdıkları nesne ve canlıların taşınması için yararlandıkları araçlar ulaşım araçları olarak adlandırılır.

Ülkelerin ulaşımındaki politikaları ulaşımın hızlı, güvenli, konforlu, ekonomik ve çevreci olması üzerine oluşturulmuştur. Bu amaçla toplu taşıma araçları kullanılmakta ve teknolojinin gelişimiyle birlikte bu araçlardaki çeşitlilik artmaktadır. Toplu taşıma tren, tramvay, metro ve banliyö trenlerinin yer aldığı demir yolu ulaştırmasını; otobüs, trolleybüs ve metrobüs gibi lastik tekerlekli kara yolu ulaştırmasını; vapur, feribot gibi deniz yolu ya da iç su yolu ulaştırmalarını; uçak, teleferik gibi hava yolu ulaştırmasını kapsamaktadır. Tüm bu toplu taşıma çeşitlerinin ortak özellikleri sabit bir güzergahlarının ve zaman ücret tarifelerinin bulunmasıdır [7]. Toplu ulaştırma birçok ülkede geleneksel (ve esasında çoğunlukla zorunlu) olarak devlet organlarınca üstlenilmiştir, dolayısıyla bir kamu hizmetidir. [8]. Sonuç olarak, toplu ulaşım dediğimizde gerek ulaşım araçları bakımından gerek ulaştırma hizmetinin örgütlenmesi bakımından özel eşya/mal olan otomobil ile

başlayıp devletle, devlet tarafından sunulan toplu ulaştırma hizmetleriyle noktalanana bir çizgiyle karşılaşabiliriz.

Artan nüfusla birlikte insanların bireysel araç kullanımından daha çok toplu taşıma araçlarını tercih ettiği görülebilir. Bunun yanı sıra toplu taşıma araçlarının bireysel araç kullanımına göre daha güvenli, konforlu ve çevreci olması toplu taşıma sistemine eğilimin artarak devam etmesini sağlamaktadır.



## 2. GENEL BİLGİLER

Kocaeli, 1,5 milyonu aşan nüfusu ve kilometre kareye düşen 539 kişi ile nüfus yoğunluğu açısından ülkemizin önemli şehirlerinden biridir. Toplamda 12 ilçe ve 243 köyden oluşan Kocaeli'nin yerel yönetimi 1'i büyükşehir, 12'si ilçe belediyesi olmak üzere 13 belediye ile yapılmaktadır [2, 3]. Coğrafi konumu nedeniyle transit yol geçiş güzergahında bulunan ve aynı zamanda bir sanayi şehri olan Kocaeli'nde son yıllarda artan nüfus yoğunluğu ve yüksek oranda yapılan yük taşımacılığı kent içi ulaşımın güçleşmesine yol açmıştır. Trafik yoğunluğunun artması ve mevcut olan ulaşım ağının talebe yeterince cevap verememesi, alternatif ulaşım sistemlerinin geliştirilip hayata geçirilmesine ve halihazırda kullanılan ulaşım sistemlerinde de iyileştirmeler yapılmasına sebep olmuştur.

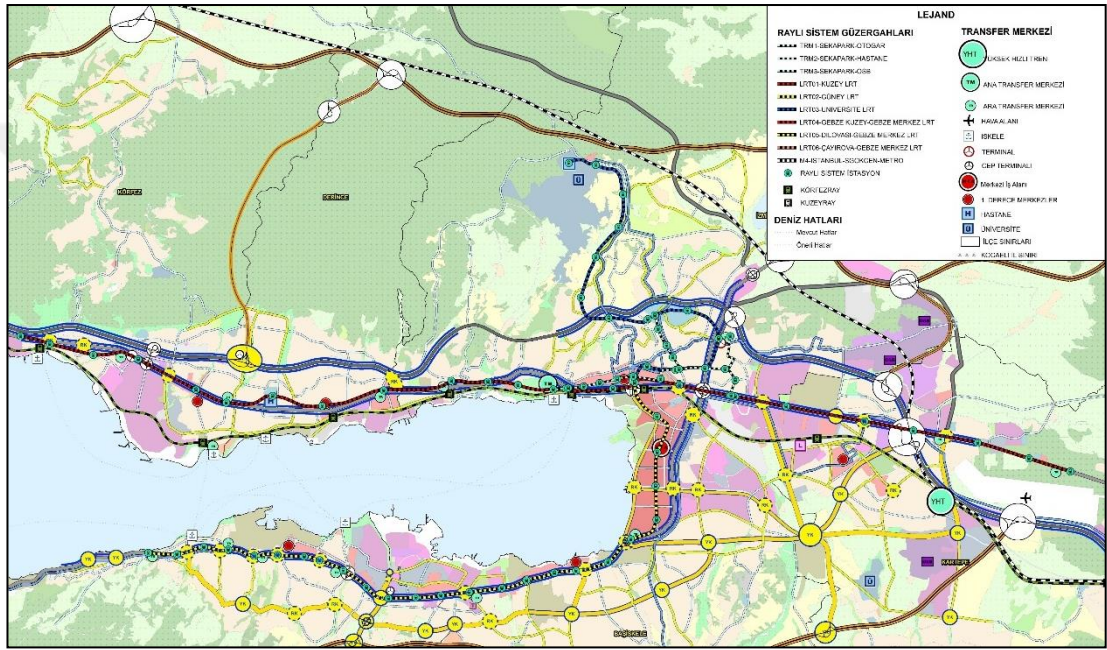
Kocaeli'nde gün içerisinde toplamda 2.218.495 kişi yolculuk yapmaktadır ve bu yolcuların 957.610'u yayalardan oluşmaktadır. İl genelinde %43,2 oranında yaya yolculuğu yapılıyor iken %56,8 oranında araç yolculuğu yapılmaktadır. Toplu taşıma araçları kullanılarak yapılan yolculuklar ise tüm yolculukların %21,47'sini oluşturmaktadır [2].

Artan trafik yoğunluğu göz önüne alındığında toplu taşıma kullanım oranlarının arttırılması ve araç trafiğinin rahatlatılması için daha sürdürülebilir, çevreci ve ekonomik bir toplu taşıma sistemi olan demir yolu yatırımları ön plana çıkmıştır. Demir yolu sadece insan taşımacılığında değil yük taşımacılığında da tercih edilen bir ulaşım çeşididir. Demir yolu ağının genişliği ve büyüklüğü taşımacılık ve ulaşımında önemli bir noktadadır.

Gelişmiş sanayisiyle Türkiye'nin sayılı illerinden olan Kocaeli'nde yük taşımacılığı önemli bir yere sahiptir ve kara yolu, demir yolu ve deniz yolu aracılığı ile yapılmaktadır. Kara yoluna göre tek seferde daha fazla yük taşınabilmesi, daha ekonomik ve hızlı olması, deniz yoluna göre ise ulaşılabilen lokasyon sayısının fazlalığı demir yolunun daha tercih edilebilir bir yöntem olmasını sağlamıştır.

“ Kocaeli il sınırları içerisinde 312 km’lik demiryolu ağı mevcuttur. Yıllık ortalama 1.082.476 yolcu ve 1.962.895 ton yük taşınması gerçekleştirilmektedir. Yük taşınması ağırlıklı olarak Kırıkkale, Ankara ve Kütahya illeriyle yapılmaktadır [26].”

Tüm bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için sürdürülebilir ulaşım sistemlerinden olan demir yolu taşımacılığı Kocaeli’nde mevcut olan demir yolu hatlarının iyileştirilmesi ve yeni demir yolu hatlarının yapılmasının önünü açmış ve bu amaçla yeni projeler geliştirilmeye başlanmıştır. Geliştirilen bu projeler ile kent içi ulaşım problemlerinin çözülmesi daha da kolaylaşmıştır.



Şekil 2.1. Kocaeli Ulaşım Ana Planı Öncelikli Raylı Sistem Hatları [9]

## 2.1. Kent İçi Ulaşım ve Kent İçi Ulaşım Türleri

Toplu taşıma, yolcuların belirli bir zaman çizelgesinde, daha önceden planlanmış ve kararlaştırılmış bir güzergâh boyunca çalışan ulaşım sistemleri ile belirli bir ücret karşılığında taşınmasıdır. Toplu taşıma insanların içtimai hayata tam anlamıyla uyum sağlaması için gereken önemli faktörlerden birisidir. İnsanların kamu hizmetlerinden yararlanmak ya da şahsi tasarrufları gereği seyahat etmek, işe gitmek gibi eylemleri gerçekleştirmek için ulaşılabilir bir toplu taşıma sistemi zaruridir.

Özellikle dünyada gelişmekte olan ülkelerin büyük şehirlerindeki motorlu taşıtlara olan gereksinimin ulaşım kapasitelerini aşmasıyla beraber ortaya çıkan trafik yoğunluğu üretkenliği azaltmaktadır. Bahsedilen gelişmekte olan ülkelerin büyük

şehirleri ülke gayri safi milli hasılanın büyük paylarına sahip oldukları için bu durum ülke ekonomisine zarar vermektedir. Toplu taşıma ile trafik yoğunluğunun azaltılması ülke ekonomisine fayda sağlamlasının yanında taşıtların sebep olduğu emisyonun ve bunun sonucunda hava kirliliğinin de azalmasına yardımcı olacaktır [37].

### **2.1.1 Dünyada kent içi toplu taşıma çeşitleri**

Dünyada kent içi toplu taşıma yaygın olarak kara yolu ve demir yolu ağları ile yapılmaktadır.

#### **- Kara Yolu Ulaşım**

Dünyada kullanılan toplu taşıma türlerinden ilk akla gelen ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak kullanılan sistemler otobüslerdir. Örneğin, İstanbul'da yapılan seyahatlerin %60'ı otobüsler aracılığıyla yapılmaktadır [16]. Otobüs sistemleri tramvay ya da metroya göre düşük yolcu kapasitesine sahip bir ulaşım yöntemidir.

#### **- Demir Yolu Ulaşım**

Şu anda dünyada en uzun demiryolu hattına sahip ülkelerin başında Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'ni, Çin ve Rusya takip etmektedir [9]. Maksimum yolcu taşıma kapasitesine sahip ulaşım türü metro sistemidir. Metro sistemi çoğunlukla münhasır hatlarda, genelde şehir altındaki tünellerde, ayrıca yükseltilmiş raylarda çalışan; yüksek yolcu taşıma kapasitesine ve kısa seyahat sürelerine sahip bir ulaşım türüdür [17].

Diğer bir kent içi toplu taşıma türü ise tramvay sistemidir. Tramvay sistemi sahip olduğu trafik hacmi göz önüne alındığında metro sistemi ile otobüs sistemi arasında olan, düşük karbonlu bir kent içi ulaşım vadeden bir sistemdir. Bu özellikleri sebebiyle gelişmekte olan ülkelerde önemli bir ulaşım türü haline gelecektir [18].

### **2.1.2. Türkiye'de kent içi toplu taşıma çeşitleri**

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de en yaygın kullanılan kent içi yolcu taşınması kara yolu ve demir yolu ile yapılmaktadır.

## - Kara Yolu Ulaşım

Türkiye’de en yaygın kullanılan toplu taşıma türüdür. Diğer yöntemlere göre esnek olması, görece daha zor bölgelere ulaşabilmesi, yol yapım ilk maliyetlerinin diğer yöntemlere nazaran daha ucuz olması gibi avantajlara sahiptir [19].

## - Demir Yolu Ulaşım

Demir yolu taşımacılığı diğer ulaşım türlerine göre taşıdıkları yolcu bakımından en yüksek verime sahiptir ve aynı anda çok sayıda yolcuyla yüksek hızlarda taşıyabilmektedir [34]. Raylı sistemlerin aldıkları mesafeye göre yakıt tüketiminin diğer ulaşım türlerinden az olması sebebiyle çevreye zararları daha azdır. Türkiye’de demir yolu taşımacılığında 1950’li yıllardan sonra yatırımların azalmasıyla kullanım alanı gittikçe azalmış ve 2003 yılından sonra gerçekleşen yatırımlar sonucunda hızlı bir gelişim göstermeye başlamıştır [20]. Kent içi demir yolu ulaşımı için Türkiye’de tercih edilen ulaşım sistemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Metro Sistemi
- Banliyö Sistemi
- Tramvay Sistemi
- Hafif Raylı Sistemleri

Türkiye’de halihazırda bir ya da birden fazla kent içi demir yolu ulaşımı kullanılan illerimiz; İstanbul, İzmir, Ankara, Kocaeli, Eskişehir, Adana, Bursa, Kayseri, Samsun, Konya, Gaziantep ve Antalya’dır. Gelecekte kent içi demir yolu ulaşım sistemleri planlanan şehirlerimiz ise Denizli, Diyarbakır, Trabzon, Kahramanmaraş, Erzincan, Mersin, Afyon, Aydın, Uşak, Hatay, Rize, Elazığ, Şanlıurfa, Isparta ve Erzurum’dur [35].

## **2.2. Kocaeli’nde Kent İçi Ulaşım**

Kocaeli içerisinde kent içi toplu taşımacılık, lastik tekerlekli kara yolu (otobüs minibüs), demir yolu (tramvay) ve deniz yolu (yolcu vapuru) ile yapılmaktadır. Lastik tekerlekli kara yolu araçlarıyla toplu ulaşım kooperatiflere ait özel halk otobüsleriyle, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi’ne (KBB) ait belediye otobüsleriyle ve dolmuş taksilerle yapılmaktadır. KBB Ulaşım Dairesi Başkanlığı tarafından yayınlanmış toplu taşıma araçları yönetmeliği ile belediye bünyesinde çalışan



minibüs, özel halk otobüsü, dolmuş taksileri ve belediye otobüslerini kapsayan toplu taşıma hizmetlerinin bir organizasyon altında toplanarak daha düzenli ve verimli yapılması amaçlanmıştır [32].

Kocaeli’nde KBB’ye ait olan otobüs, tramvay ve tramvay hattının bakım onarım, işletmesi iştirak firması olan Ulaşımпарк Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş. tarafından yapılmaktadır. 2015 yılının Eylül ayında kurulmuş olan Ulaşımпарк, otobüs işletmesi, Akçaray tramvay işletmesi ve şehirlerarası otogar işlemlerini üstlenmiştir [33].

Ulaşımпарк otobüs işletmesini Otobüs İşletme Müdürlüğü altında İşletme Şefliği ve Bakım Onarım Şefliği olmak üzere iki şeflikle yapmaktadır. Otobüs İşletme Müdürlüğü geniş bir kara yolu ağının olması nedeniyle Plajyolu, Körfez ve Gebze olmak üzere toplamda üç adet garaj ile işletmesini yapmaktadır. Bünyesindeki en büyük garaj olma özelliği taşıyan Plajyolu Garajı, 20.000 m<sup>2</sup> alan üzerine kurulmuştur ve 2 adet CNG kompresörlü ve 4 adet yakıt dolum dispenserli CNG istasyonu, 2 adet otomatik otobüs dış yıkama ünitesi ve otobüs bakım onarım atölyesine sahiptir. Bakım onarım atölyesinde fiber tamir, lastik, boyahane ve mekanik atölyeleri yer almaktadır. Körfez Garajı 15.000 m<sup>2</sup> alan üzerine yerleşmiş iken, Gebze Garajı ise 12.000 m<sup>2</sup> alan üzerinde kurulmuştur ve bahsedilen her iki garajda da 2 adet CNG kompresörlü ve 4 adet yakıt dolum dispenserli CNG istasyonu, 2 adet otomatik otobüs dış yıkama ünitesi yer almaktadır. Otobüs İşletme Müdürlüğü toplamda 90 hatta, 336 otobüs ile hizmet vermekte ve bünyesinde 574’ü şoför olmak üzere 693 personel bulundurmaktadır [10].

Ulaşımпарк raylı sistemler işletmesini Raylı Sistemler Müdürlüğü altında İşletme, Atölye ve Araç Bakım, Sabit Tesisler Bakım Şeflikleri olmak üzere toplamda üç şeflik ile yapmaktadır. Raylı Sistemler Müdürlüğü’ne ait tramvay atölyesi otogar bölgesinde yer almaktadır. Atölye 30.000 dönümlük alan üzerinde 5.000 m<sup>2</sup>’si kapalı alan olacak şekilde inşa edilmiştir. Bu atölyede tramvayların periyodik bakımları, arızaları ve temizlik işlemleri yapılmakta ve aynı zamanda depo sahasında parklanmaları sağlanmaktadır. Raylı Sistemler Müdürlüğü 4’ü mühendis ve 33’ü vatman olmak üzere toplamda 115 personel ile hizmet vermektedir [18, 19].

### 2.2.1. Kocaeli’nde raylı sistemle ulaşım

Kent içi ulaşımında trafik yoğunluğunun azaltılması, toplu ulaşımın daha verimli, güvenli, hızlı ve ekonomik yapılması adına Kocaeli Büyükşehir Belediyesi iştirak firması UlaşımPark Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş. tarafından işletmesi ve bakım onarım işlemlerinin yapıldığı Akçaray tramvay hattı merkez ilçe olan İzmit’te 17 Haziran 2017 yılında faaliyete başlamıştır. Akçaray, ilin şuan için ilk ve tek tramvay hattıdır. Akçaray hattında, mevcut hattının uzatma çalışmaları yapılarak diğer demir yolu ağlarıyla aktarmalı yolculuğun artırılması ve diğer ulaşım sistemleriyle koordineli bir şekilde sefer düzenlemelerinin yapılarak daha fazla yolcuya hizmet sağlanması hedeflenmiştir. Akçaray tramvay hattının tamamlanması ile birlikte mevcut ulaşım problemlerine daha fazla çözüm üretilebilmesinin yanı sıra kent içi iş olanaklarının artmasının da önü açılmıştır. Akçaray’ın artmış trafik sorununa ve yakıt tüketimine getirdiği çözümlerin yanında çevre ve gürültü kirliliğine yol açmaması ve düşük kaza riskine sahip olması kent içi ulaşımında diğer ulaşım yöntemlerine göre daha fazla tercih edilmesini sağlamıştır. Güzergahı üzerinde bulunan diğer toplu taşıma sistemleriyle aktarmalı bir şekilde sefer düzenlemelerinin yapılması ve yolcu sayısının daha fazla olduğu (sabah işe gidiş, akşam iş çıkış saatleri) zaman aralıklarında sefer sıklığının artırılması, söz konusu kent içi raylı toplu taşıma sisteminin daha verimli çalışmasına olanak sağlamıştır.



Şekil 2.2. Akçaray Tramvay Hattı Güzergah ve İstasyonları [30]

Akçaray tramvay hattında mevcut olan güzergaha ek olarak uzatma çalışmalarının yapılması planlanmıştır. Yapılan planlamalara göre ilk aşamada Kocaeli Şehir

Hastanesi uzatma hattının yapılması ön plandadır. Projeye göre mevcut hat uzunluğu 3,1 kilometre artacak ve 5 istasyon daha eklenecektir. Raylı sistemlerin Kocaeli Şehir Hastanesi'ne olan entegrasyonu sayesinde günlük toplam yolcu sayısının 50.000 olması öngörülmüştür [4].



Şekil 2.3. Akçaray Şehir Hastanesi Uzatma Hattı Güzergah ve İstasyonları [4]

İkinci aşamada ise mevcut hattın Kocaeli Stadyumu'na doğru ilerleyerek toplamda 5,7 km daha uzatılması ve 11 istasyonun daha eklenmesi düşünülmektedir. Tramvayın Kocaeli Stadyumu ve Alikahya Bölgesi'ne olan entegrasyonu ile konforlu ve güvenli ulaşım ağının genişlemesi sağlanmış olacaktır.



Şekil 2.4. Akçaray Kocaeli Stadyumu Uzatma Hattı Güzergah ve İstasyonları [4]

Kocaeli'nin kent içi toplu taşımacılıkta raylı sistem ile ulaşımı, ilk tramvay projesi olan Akçaray ile 17 Haziran 2017 yılında Durmazlar A.Ş. tarafından üretilen çift

yönlü hareket eden Panorama model araçlarıyla başlamıştır.



Şekil 2.5. Akçaray Panorama Araç Görüntüsü

Tramvay, Otogar ve Plajyolu istikametinde çift yönlü olarak çalışmaktadır. İlk aşamada Otogar, Yahyakaptan, Yenişehir, Mehmet Ali Paşa, Doğu Kışla, Milli İrade Meydanı, Fuar, Yeni Cuma, Fevziye, Gar, Seka Park istasyonlarında hizmet veren Akçaray hattı, 9 Şubat 2019 tarihinde hizmete açılan Seka Devlet Hastanesi, Kongre Merkezi, Eğitim Kampüsü, Plaj Yolu duraklarının eklenmesi ile toplamda 15 durak ile hizmet vermeye devam etmektedir. Tramvayın teknik özellikleri Tablo 2.1. 'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Akçaray Tramvay Teknik Özellikleri [9]

Tramvay Genel Teknik Özellikleri	
<b>Araç boyu</b>	33 m
<b>Araç genişliği</b>	2.650 mm
<b>Araç yüksekliği</b>	3.500 mm
<b>Koltuklar</b>	50
<b>Ayakta yolcu kapasitesi (6 Kişi/m<sup>2</sup>)</b>	240
<b>Toplam yolcu kapasitesi</b>	290
<b>Azami hız</b>	70 km/h
<b>Araç taban yüksekliği</b>	350 mm

Tablo 2.1. (Devam) Akçaray Tramvay Teknik Özellikleri [9]

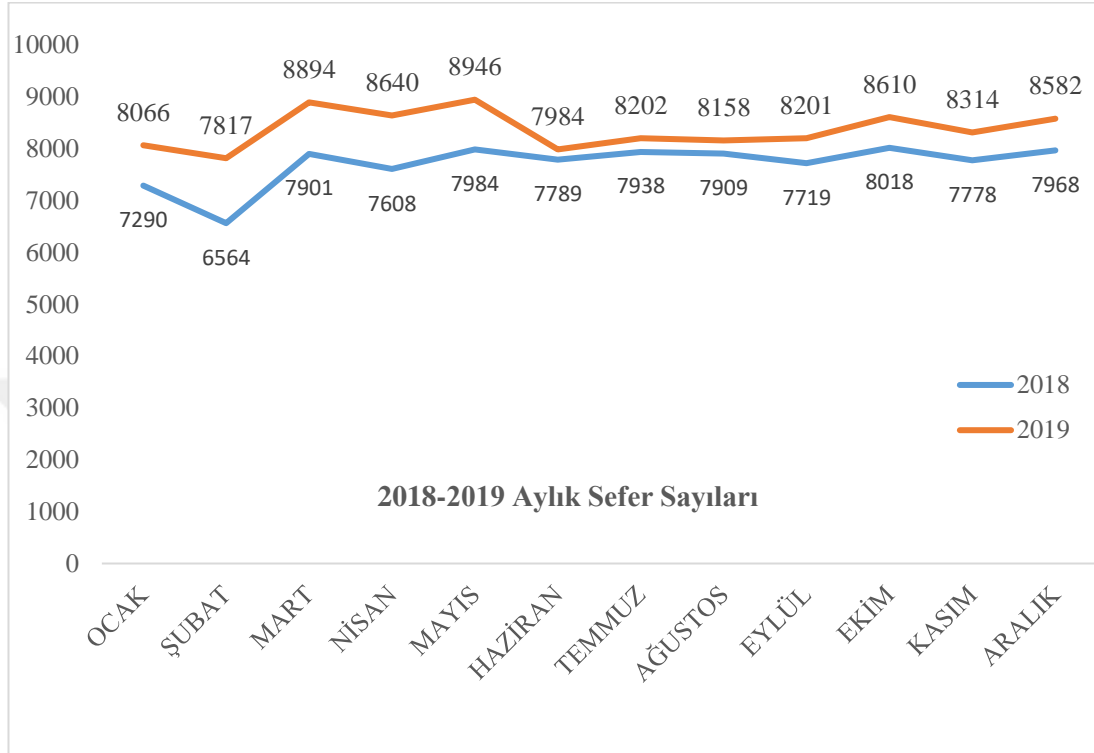
<b>En küçük dönüş yarıçapı</b>	20 m
<b>Araç ağırlığı</b>	44.6 ton
<b>Hızlanma ivmesi</b>	1,2 m/s <sup>2</sup>
<b>Frenleme ivmesi</b>	2,8 m/s <sup>2</sup>
<b>Tramvay Motor Bogie Teknik Özellikleri</b>	
<b>Ray genişliği</b>	1.435 mm
<b>Teker çapı (yeni/eski)</b>	650 mm / 570 mm
<b>Akslar arası mesafe</b>	1.850 mm
<b>Nominal güç</b>	4x68 kW
<b>Fren sistemi</b>	Hidrolik-manyetik fren Sistemi

İlk aşamada 12 adet olan tramvay sayısı, daha sonra hattın 2,15 kilometre uzatılması ve 4 durağın daha (Seka Devlet Hastanesi, Kongre Merkezi, Eğitim Kampüsü, Plaj Yolu) eklenmesi sonucunda satın alınan 6 adet tramvay ile toplamda 18 adet tramvay ile hizmet vermeye devam etmektedir. Tramvaylar hat boyunca ortalama 18 km/h hız ile seyretmekte ve 15 istasyonu minimum 5 dakikalık sefer aralıklarıyla toplamda 70 dakikada tamamlamaktadır. Çift yönlü olan hat yaklaşık 18,8 km uzunluğundadır. 2 yönden enerji beslemeli olan hattın enerjisi 6 adet trafo ile sağlanmaktadır. Hattın genel teknik özellikleri Tablo 2.2. 'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Akçaray Hat Teknik Özellikleri [4]

<b>Akçaray Hat Genel Teknik Özellikleri</b>	
<b>Ekartman genişliği</b>	1.435 mm
<b>Hat uzunluğu</b>	18,74 km
<b>Proje tasarım hızı</b>	80 km/h
<b>Ortalama işletme hızı</b>	18 km/h
<b>Minimum yatay karp çapı</b>	27 m
<b>Minimum düşey karp</b>	1.000 m
<b>Hat genişliği</b>	7 m
<b>Maksimum boy eğimi</b>	% 4
<b>Dever</b>	Yok
<b>Trafo sayısı</b>	6 adet

Akçaray tramvay hattı 2018 yılı içerisinde toplam 93.659 sefer yaparken, bu sayı 2019 yılı içerisinde % 7,21 artırılarak 100.412 sefere çıkarılmıştır. Akçaray'ın 2018-2019 yıllarında aylık yapmış olduğu sefer sayıları Şekil 2.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Panorama 2018-2019 Aylık Sefer Sayıları (Adet) [10]

Ulaşımпарк Ulaştırma Hizmetleri Tic. AŞ'den alınan veriler doğrultusunda Akçaray 2019 yılı içerisinde ortalama %43,61 doluluk oranıyla toplamda 12.700.265 yolcuya hizmet etmiştir. Tablo 2.3.'de 2019 yılı içerisinde ay bazında gerçekleşen sefer sayısı, yolcu sayısı ve doluluk oranları yer almaktadır.

Tablo 2.3. 2019 Toplam Sefer Sayısı, Toplam Yolcu Sayısı ve Doluluk Oranları (Ulaşımпарк A.Ş. Alınan Veriler)

Tramvay 2019 Yılı Toplam Sefer, Toplam Yolculuk Sayıları ve Doluluk Oranları			
Aylar	Sefer Sayısı (adet)	Yolculuk Sayısı (adet)	Doluluk Oranı (%)
Ocak	8.066	876.872	%37,49
Şubat	7.817	895.168	%39,49
Mart	8.894	1.096.334	%42,51
Nisan	8.640	1.120.809	%44,73
Mayıs	8.946	1.097.853	%42,32

Tablo 2.3. (Devam) 2019 Toplam Sefer Sayısı, Toplam Yolcu Sayısı ve Doluluk Oranları (Ulaşım A.Ş. Alınan Veriler)

Haziran	7.984	950.811	%41,07
Temmuz	8.202	985.298	%41,42
Ağustos	8.158	844.911	%35,71
Eylül	8.201	1.161.112	%48,82
Ekim	8.610	1.222.158	%48,95
Kasım	8.314	1.204.594	%49,96
Aralık	8.582	1.244.345	%50,00
<b>Toplam</b>	<b>100.414</b>	<b>12.700.265</b>	<b>%43,61</b>

Ulaşım A.Ş. Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş.'den alınan veriler doğrultusunda Akçaray 2019 yılı içerisinde toplamda 231.446,12 TL bakım masrafı yaparak 888.038,40 km yol katetmiştir. Aralık ayı içerisinde tramvay ağır bakımları yapıldığı için o ay içerisinde bakım maliyeti diğer aylara göre daha fazla hesaplanmıştır. 2019 yılı içerisinde araç bazlı toplamda 42 adet 10.000 km bakımı, 3 adet 30.000 km bakımı, 12 adet 100.000 km bakımı ve 12 adet periyodik teker tornalama işlemi yapılmıştır [4]. Tablo 2.4.'de 2019 yılı içerisinde ay bazlı yapılan kilometre ve bakım maliyetleri yer almaktadır.

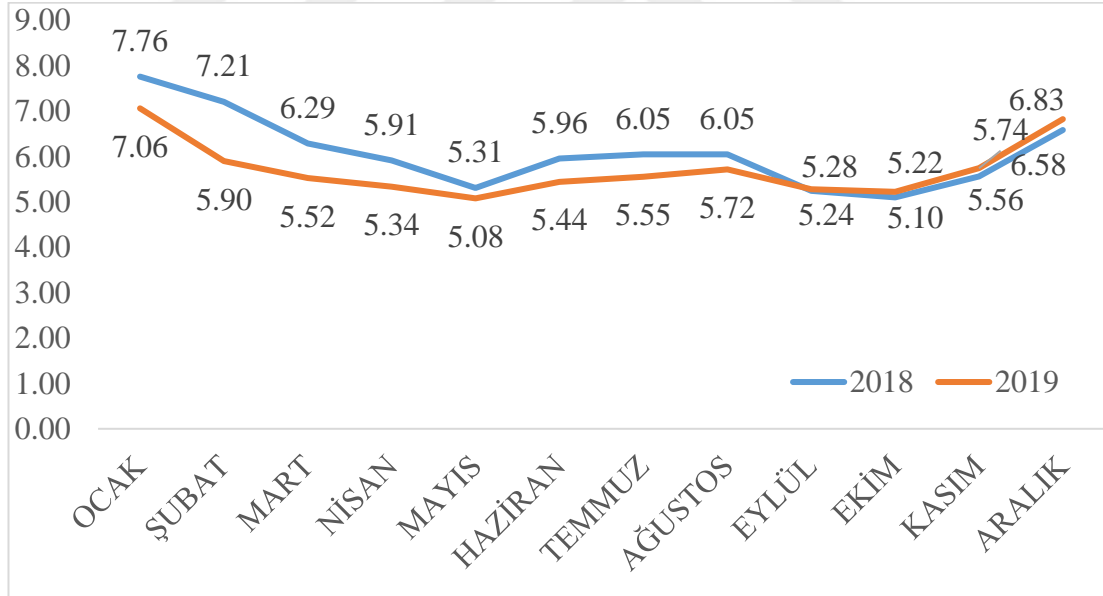
Tablo 2.4. Akçaray 2019 Yılı Bakım Maliyet ve Kilometre Bilgileri (Ulaşım A.Ş. Alınan Veriler)

<b>2019 Aylara Göre Bakım Maliyeti ve Sefer Kilometre Bilgileri</b>		
<b>Aylar</b>	<b>Bakım Maliyeti (TL)</b>	<b>Yapılan Kilometre (km)</b>
Ocak	14.695,88	58.539,76
Şubat	92.427,26	67.550,64
Mart	12.581,95	78.619,20
Nisan	7.728,04	76.260,80
Mayıs	5.169,00	78.988,80
Haziran	4.205,14	73.638,40
Temmuz	11.458,07	78.293,60
Ağustos	8.273,42	72.899,20
Eylül	3.932,18	75.917,60
Ekim	16.431,06	77.176,00

Tablo 2.4. (Devam) Akçaray 2019 Yılı Bakım Maliyet ve Kilometre Bilgileri (Ulaşım A.Ş. Alınan Veriler)

Kasım	11.535,08	74.685,60
Aralık	43.008,24	75.468,80
<b>Toplam</b>	<b>231.446,12</b>	<b>888.038,40</b>

Ulaşım A.Ş. Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş.'den alınan veriler doğrultusunda Akçaray 2018 yılında ortalama 6,08 kwh/km enerji harcarken, 2019 yılında ise 5,62 kwh/km enerji harcamıştır [10]. 2019 yılı içerisinde kilometre başına harcanan enerji miktarının düşmesi, vatmanların daha profesyonel sürüş yapması (ani ivmelenmeyle kalkmama, sert frenlemeler ile durmama), tramvay klima revizyonlarının yapılması, tramvayların depo sahasında boşa çalışma sürelerinin azaltılması ve sefer optimizasyon çalışmalarının yapılması sayılabilir. Şekil 2.7.'de 2018 ve 2019 yılları içerisinde tramvayın birim kilometrede harcamış oldukları enerji miktarları ay bazlı karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Akçaray 2018-2019 Enerji Harcamaları (kwh/km) (Ulaşım A.Ş. Alınan Veriler)

Kocaeli'nde kent içi ve şehirlerarası ulaşımda var olan trafik sorununun çözümü için komşusu olan büyük şehirlerle hem yük taşımacılığında hem de yolcu taşımacılığında birim enerji maliyeti, kaza riski oranı, yolculuk süresi en az olan, sürdürülebilir ve birbiriyle entegrasyonu sağlanabilen demir yolu taşımacılığı adına yatırımlar yapılmaktadır.



Bu kapsamda yapılmış olan Gebze-Halkalı banliyö hattının iyileştirme projesi sonucunda hattın yüzeysel metro hattına dönüştürülmesi, var olan hat sayısının ikiden üçe çıkarılması ve tüm hattın altyapısının tamamen yenilenip elektrifikasyon ve sinyalizasyon sistemlerinin devreye alınması sağlanmış ve hat aktif hale getirilmiştir. Bu iyileştirme T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından gerçekleştirilmiş ve 13 Mart 2019 tarihinde Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryollarına (T.C.D.D.) devir işlemleri yapıldıktan sonra sistem çalışmaya başlamıştır. Üç hattan oluşan bu sistemin iki hattı banliyö trenleri tarafından kullanılmakta ve diğer bir hattı ise yolcu ve yük taşımacılığı için şehirlerarası çalışmaktadır. Gebze-Halkalı hat uzunluğu 76 kilometre olup, toplam 43 istasyona sahiptir ve yolculuk süresi 115 dakika sürmektedir [26]. Hat boyunca trenler 10 vagonlu setlerle 15 dakikalık aralıklarla seferlerini yapmaktadırlar [29]. Bunun yanı sıra T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından Marmaray hattının 13 istasyon ve 12 hatta entegrasyon çalışması projelendirilmiştir [26]. Bu sayede Kocaeli ve komşusu olan İstanbul ile raylı sistemler entegrasyonunda iyileşmeler sağlanmıştır.



Şekil 2.8. Gebze Halkalı Banliyö Hattı Güzergah ve İstasyonları [28]

Kocaeli Gebze-Darıca metro hattı projesi ise Gebze Organize Sanayi Bölgesi ve Darıca sahil yolu güzergahında planlanmış ve 2018 yılı içerisinde Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından başlatılmıştır. Ancak daha sonra 2019 yılında proje yürütme devri yapılarak projenin T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından yürütülmesine karar verilmiştir. 15,6 kilometre uzunluğa sahip olan bu hat hemzemin, aç-kapa ve tünel olmak üzere 3 çeşit istasyon içermekte ve toplamda 12 istasyondan oluşmaktadır. 2022 yılı içerisinde bitirilmesi planlanan projenin

işletmesi Kocaeli Büyükşehir Belediyesi iştirak firmalarından olan Ulaşım Park Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş. tarafından yapılacaktır [26]. Son teknolojinin kullanılacağı projede 4. otomasyon düzeyinde bulunan (GoA4) tam otomatik sürücüsüz metro ile hizmet verilecektir. 1.080 yolcu kapasiteli, 4 vagon dan oluşan GoA4 sürücüsüz metronun kullanılacağı bu hat sinyalizasyon ekipmanları sayesinde 90 saniye aralıklarla sefer yapmaya elverişli olacaktır [3]. Hattın Marmaray ile entegrasyonu yapılarak trafikten 16.000 aracın çekilmesi planlanarak günde 335.000 yolcunun taşınması hedeflenmiştir [4]. Gebze-Darica metro hattı sayesinde hem şehir içi trafiğinin azaltılması hem de Kocaeli-İstanbul arasında hızlı, ekonomik ve konforlu ulaşım imkanı sağlanması planlanmıştır.

#### GEBZE - DARICA METRO HATTI VE İSTASYONLARI



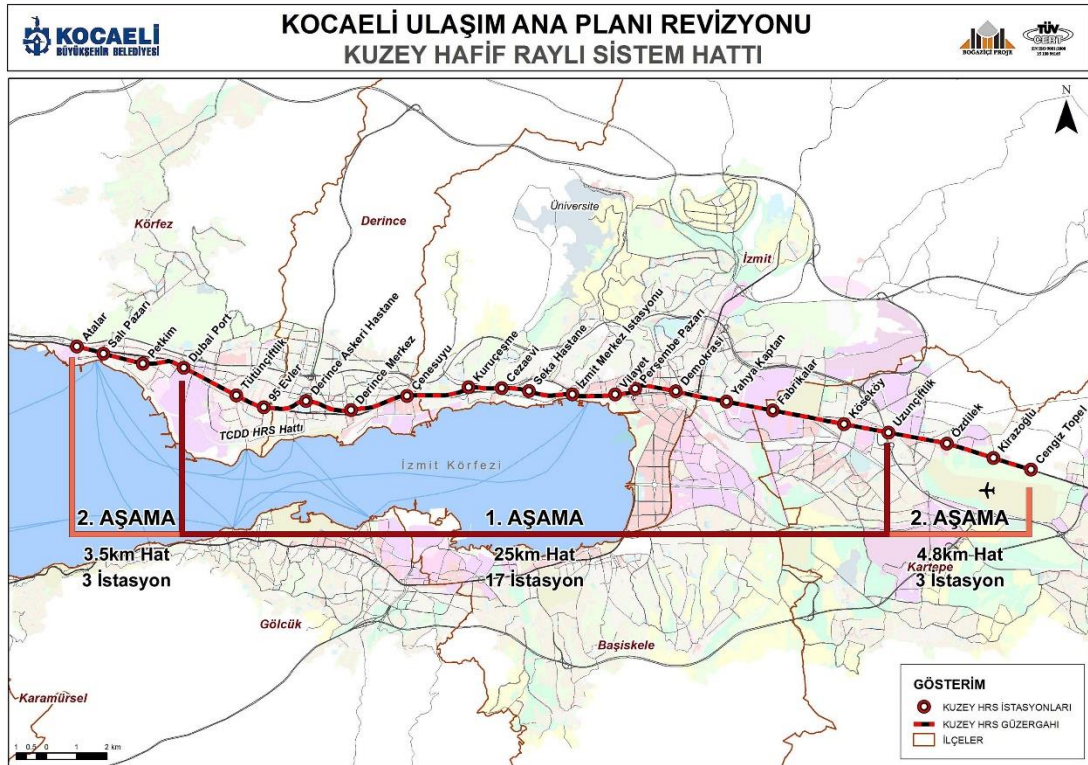
Şekil 2.9. Gebze Darica Metro Hattı Güzergah ve İstasyonları [3]

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından Gebze, Sabiha Gökçen Hava Limanı, Yavuz Sultan Selim Köprüsü, İstanbul Hava Limanı, Halkalı arasında çalışacak demir yolu yapımı için proje çalışması başlatılmıştır. Projenin tahmini bitişinin 2025 yılı içerisinde olacağı ön görülmüştür. İki aşamadan oluşan bu projenin ilk aşaması İstanbul Hava Limanı-Halkalı arasında olan 25 km'lik hattır. İkinci aşamasında ise Gebze, Sabiha Gökçen Hava Limanı, Yavuz Sultan Selim Köprüsü, İstanbul Hava Limanı, Halkalı arasında çalışacak olan ve 118 km'den oluşan hattır [26].

Ankara-İstanbul arasında çalışan yüksek hızlı tren hattı ise 2014 Temmuz ayında devreye alınarak toplam hızlı tren hat uzunluğu 1.213 km' ye çıkarılmıştır [26]. Ankara-İstanbul arasında çalışan yüksek hızlı trenin hat güzergahında Kocaeli

istasyonu da yer almaktadır. Böylelikle Kocaeli'nin raylı sistemler ağına büyük şehirlere olan entegrasyonu yapılarak demir yolu ağına süreklilik sağlanmıştır.

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından henüz yapımına başlanmamış olan ve hazırlık çalışmaları süren Kocaeli Kuzey Hafif Raylı Sistem (HRS) hattının ise Körfez Atalar bölgesi ile Cengiz Topel Hava Limanı arasında ulaşımı sağlaması planlanmaktadır. Çift hatlı 33,3 kilometre uzunluğunda tasarlanan bu hattın işletme hızı saate 48 kilometre ve gidiş dönüş süresi 87 dakika olacak şekilde planlanmıştır. Hat, 17'si yer altı, 5'i hemzemin ve 1'i viyadük olmak üzere 23 istasyona sahip olacaktır. Kuzey HRS hattı İzmit, Derince ve Körfez ilçelerinin önemli alt merkezleri arasında hızlı, konforlu ve yüksek kapasiteli erişim imkanı sağlayacaktır. Kuzey HRS hattı ile günde 425.124 yolcu, zirve saatte ise 48.340 yolcu taşınacağı ön görülmüştür. Hattın ilk etabı işletmeye açıldığında yolcu başına ortalama 4 dakika, tamamı işletmeye açıldığında ise yolcu başına ortalama 6 dakika zaman tasarrufunun olacağı düşünülmektedir. Kuzey HRS hattının inşaatı ile birlikte lastik tekerlekli toplu taşıma sistemlerine göre atmosfere %20 daha az CO<sub>2</sub> emisyonunun salınacağı ve lastik tekerlekli toplu taşıma sistemlerinin kara yolunu yıpratma oranı ile kara yolu ile olan kaza risklerinin azalacağı ön görülmüştür [11, 12].



Şekil 2.10. Kuzey HRS Hattı Güzergah ve İstasyonları [31]

### 2.2.2. Kocaeli’nde otobüs sistemiyle ulaşım

Kocaeli’nde kent içi otobüs sistemiyle ulaşım özel halk otobüsleri ve KBB’ye ait belediye otobüsleri ile yapılmaktadır. KBB’ye ait otobüslerin işletmesini ve bakım onarım faaliyetlerini yürüten Ulaşımпарк Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş. bu kapsamda 336 adet otobüs ile Kocaeli’nde toplu ulaşım hizmeti vermektedir.



Şekil 2.11. CNG Yakıt Kullanan Karsan Marka Otobüsün Görüntüsü

Plaj Yolu Garajında toplamda 161, Gebze Garajında 103, Körfez Garajında 54 araç olmak üzere toplamda 318 aktif araçla hizmet verilmektedir (18 araç arızalı ve pasife ayrılmış) [10]. Tablo 2.5.’de mevcut araçların marka ve toplam adetleri verilmiştir.

Tablo 2.5. Ulaşımпарк Otobüs Marka ve Adetleri

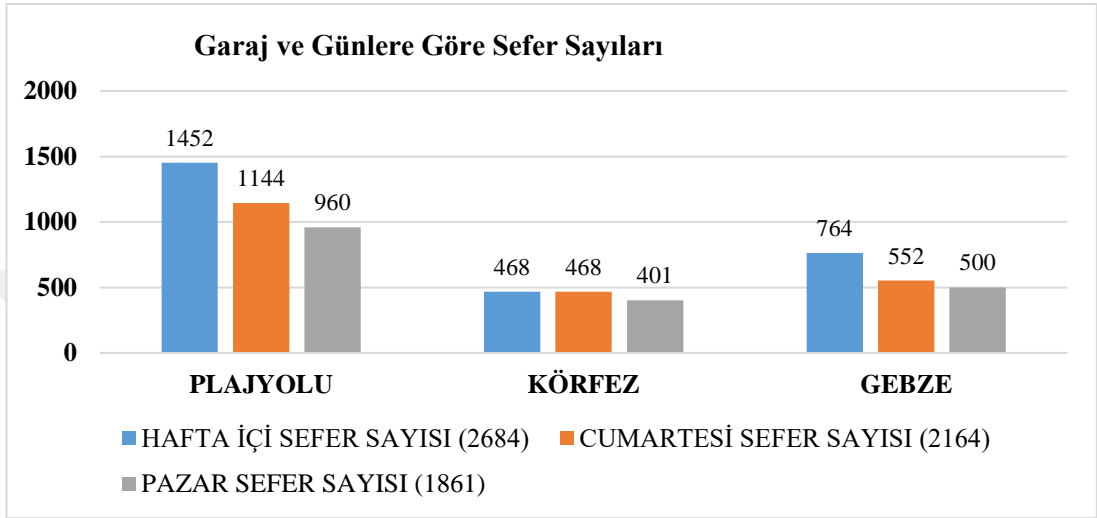
Otobüsün Markası	Adedi
TOURİSMO	1
STAR	3
BREDA KÖRÜKLÜ	1
BREDA KÖRÜKLÜ (PASİF)	9
MAN KÖRÜKLÜ	18
BREDA	35
KARSAN	238
JEST	31
<b>TOPLAM</b>	<b>336</b>

Toplam 336 araçtan Breda, Man ve Karsan marka ve toplamda 301 adet araç CNG yakıt 35 araç ise dizel yakıt kullanmaktadır. Toplam araç sayısının %89,58’ni CNG yakıtlı araçlar oluşturmaktadır. Bu sayının artması daha çevreci ve ekonomik yolculukların olmasına olanak sağlamaktadır. UlaşımPark’tan alınan veriler doğrultusunda Tablo 2.6.’da mevcut araçların teknik bilgileri verilmiştir.

Tablo 2.6. Otobüslerin Teknik Özellikleri

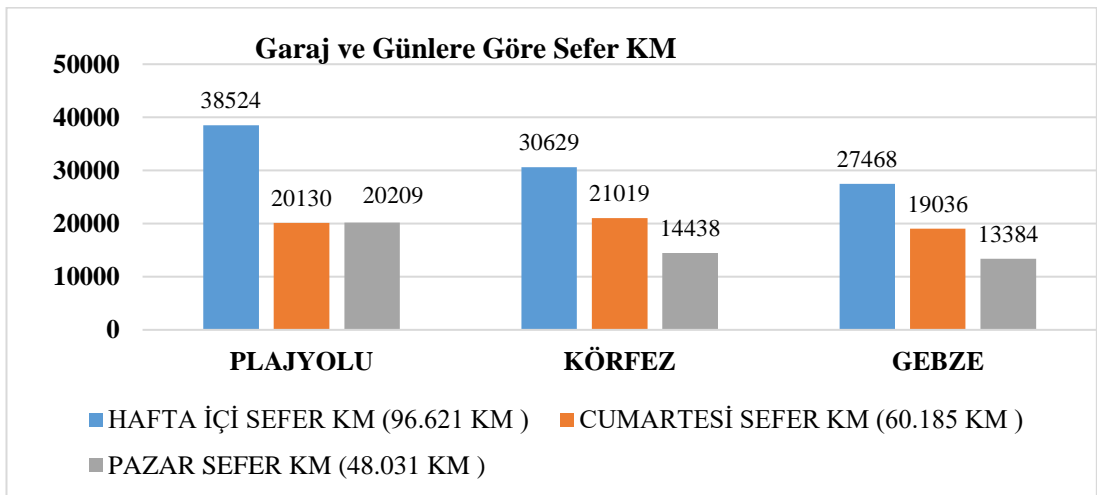
Araç Teknik Bilgileri							
Üretici Firma	İhale Sonlanma Tarihi	Araç Sayısı	Model	Model Yılı	Motor	Maksimum Tork	Şanzıman
Man	Garanti yok	18	Lion’s City G CNG	2013	Man E 2876 LUH 03	228 kw (342 hp)	ZF Ecolife
Karsan	Aralık 2020	238	Avantiy+ L CNG	2015	Mercedes M906 LAG	205 kw (307 hp)	ZF Ecolife
Breda	Garanti yok	35	Avantiy+ L CNG	2010	Mercedes M906 LAG	205 kw (307 hp)	ZF Ecolife
Karsan	Aralık 2020	3	Star	2018	FPT NEF4 Turbo Dizel Intercooler	137 kw	Manuel vites-ZF 6 ileri
Karsan	Aralık 2021	31	Jest	2015-2017	Fiat Powertrain F1A Turbo Dizel Intercooler	96 & 129 kw	Manuel vites 6 ileri
Mercedes	Garanti yok	1	Toursimo	2018	OM 470 Bluetec 6	290 kw	Mercedes Benz GO 210
Breda 18m	Garanti yok	10	Menarinibus	2010	Man E 2876 LUH02		

Şekil 2.12.' de garajlara göre hafta içi, Cumartesi ve Pazar günleri günlük yapılan sefer sayıları verilmiştir. Şekil 2.12.'ye göre hafta içi günlük toplam 2684, Cumartesi günü 2164, Pazar günü ise 1861 sefer yapılmıştır. Sefer yoğunluğunun en fazla olduğu garajlar sırasıyla Plaj Yolu, Gebze ve Körfez garajlarıdır. 2019 yılı içerisinde tüm garajlarda toplam 909.824 sefer yapılmıştır.



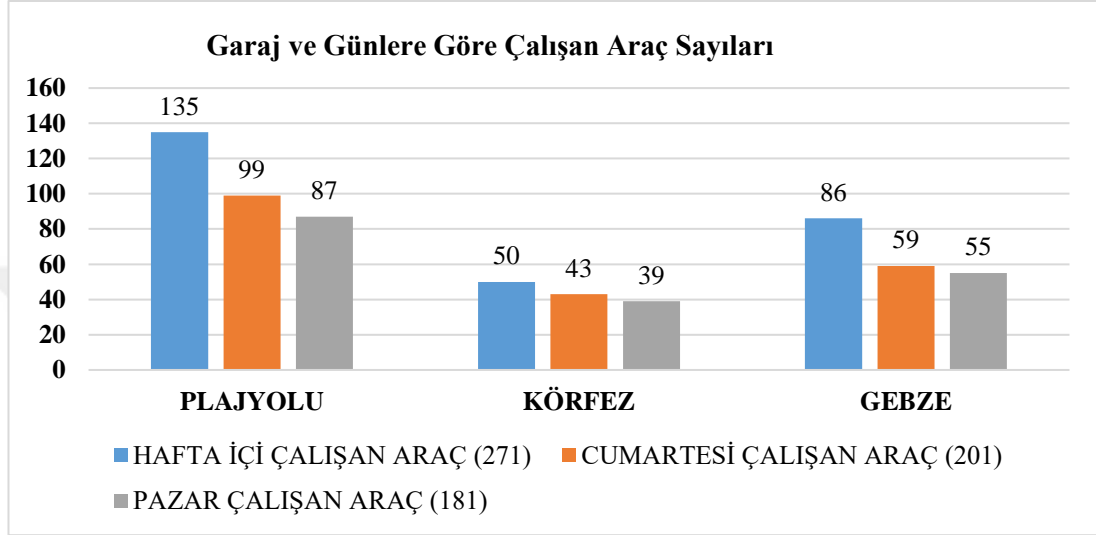
Şekil 2.12. 2019 Garaj ve Günlere Göre Sefer Sayıları [10]

Şekil 2.13.'de 2019 yılı içerisinde garajların günlere göre günlük yaptıkları toplam kilometre bilgileri yer almaktadır. Şekil 2.13.'e göre hafta içi günlük toplam 96.621 km, Cumartesi günü 60.185 km, Pazar günü ise 48.031 km sefer yapılmaktadır. Bu veriler doğrultusunda 2019 yılı içerisinde hafta içi toplam 67.685.329.400 km, Cumartesi 6.772.497.680 km, Pazar günü ise 4.648.055.932 km sefer yapılarak toplamda 79.105.883.010 km sefer yapılmış olur.



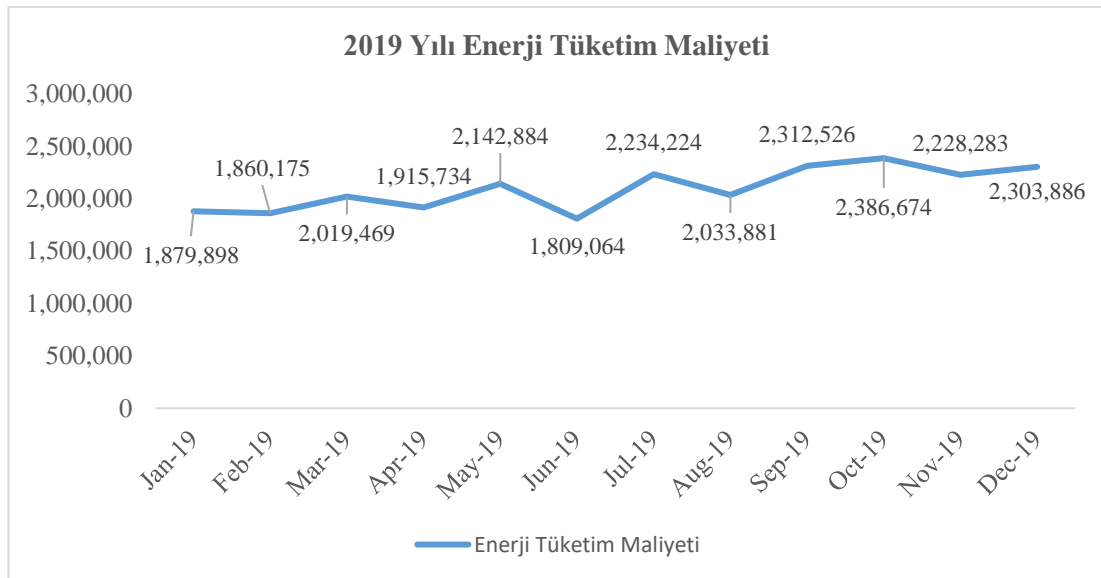
Şekil 2.13. 2019 Garaj ve Günlere Göre Sefer Kilometreleri [10]

Şekil 2.14.'de 2019 yılı içerisinde garajlara göre günlük çalışan araç sayıları verilmiştir. Şekil 2.14.'deki verilere göre en fazla otobüsün çalıştığı garajlar sırasıyla Plaj Yolu, Gebze ve Körfez garajlarıdır. 2019 yılı içerisinde hafta içi toplam 70.731 araç, Cumartesi günü 10.452 araç, Pazar günü 9.412 araç çalışarak toplamda 90.595 araç çalışmıştır.



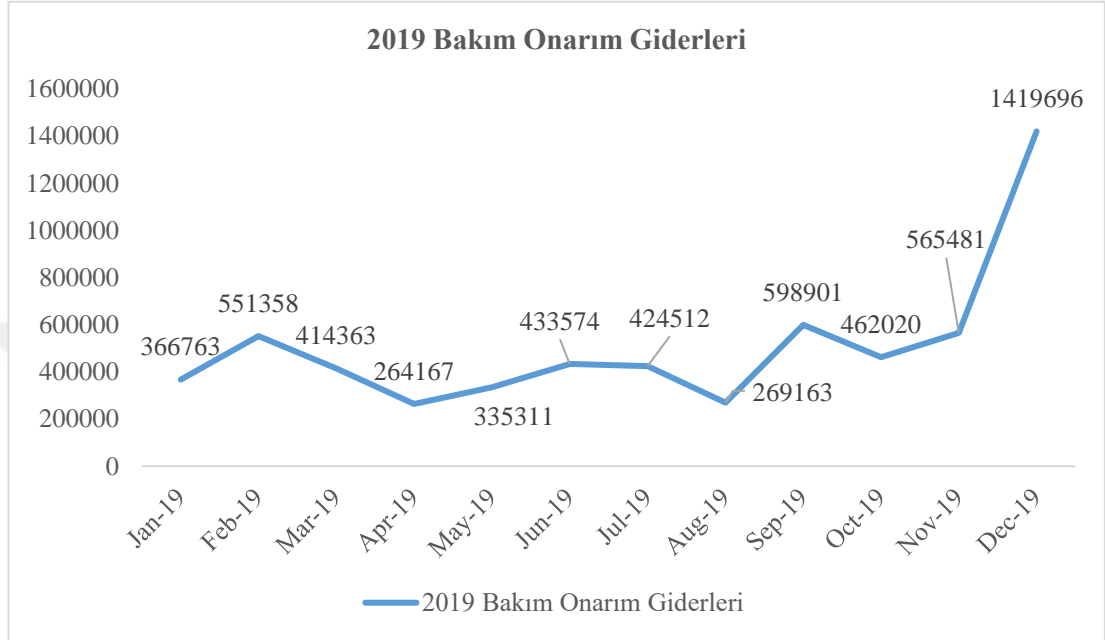
Şekil 2.14. 2019 Garaj ve Günlere Göre Çalışan Araç Sayıları [10]

Şekil 2.15.'te Ulaşımпарк Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş.'den alınan veriler doğrultusunda 2019 yılı içerisinde ay bazlı olarak otobüslerin harcamış oldukları enerji maliyetleri verilmiştir. Bu veriler doğrultusunda 2019 yılı içerisinde toplamda 25.126.698 TL enerji maliyeti olduğu görülmüştür.



Şekil 2.15 2019 Ay Bazlı Enerji Tüketim Değerleri (TL)

Şekil 2.16.'da Ulaşımпарк Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş.'den alınan veriler doğrultusunda 2019 yılı içerisinde ay bazlı olarak otobüslerin bakım onarım giderleri verilmiştir. Bu veriler doğrultusunda 2019 yılı içerisinde toplamda 6.105.308 TL bakım onarım maliyeti olduğu görülmüştür.



Şekil 2.16. 2019 Ay Bazlı Bakım Onarım Giderleri (TL)

Ulaşımпарк mevcut otobüslerinde de yenilikler yapıp daha çevreci ve ekonomik toplu ulaşım sistemine geçilmesini hedeflemektedir. Lastik tekerlekli kara taşımacılığında daha ekonomik ve çevreci olduğu için dizel yakıtlı otobüs yerine sıkıştırılmış doğalgaz ile çalışan (CNG) otobüslerle yolcu taşımacılığı oranını arttırarak kent içi toplu taşımacılıkta daha çevreci ve ekonomik bir sistemin oluşturulmasını hedeflemiştir. Mevcutta 336 CNG yakıt sistemine sahip otobüsüyle dizel yakıtlı araçlara göre yılda 135,9 milyon TL kar etmekte ve 12,65 ton daha az karbonmonoksit ve partikül salınımı ile çevreci ve ekonomik bir taşıma yapılmaktadır. Türkiye’de de örneği olan ve İzmir’de kullanılan 20 adet elektrikli otobüs baz alınarak yapılan çalışmada toplam yakıt maliyetinin %84, bakım maliyetinin de %60 oranında azaldığının bildirilmesi üzerine Ulaşımпарк gelecekte daha da çevreci ve sürdürülebilir lastik tekerlekli kara taşımacılığının örneği olan elektrikli otobüslerin kullanımına geçilmesini planlamıştır. [6].



### 3. BULGULAR

Enerji tüketim etkinlik ölçümü yapabilmek için 18 adet tramvay ve 336 adet otobüs için ilgili verilerin toplanması, hesaplamaların yapılarak sonuçların irdelenmesi, ilk aşamayı oluşturmaktadır. İkinci aşamada ise eldeki veriler ışığında her iki taşıma seçeneği için karşılaştırma yapılmıştır. Oluşturulan senaryo gereği karşılaştırma otobüslerin kat ettiği yolun Akçaray tramvay hattıyla aynı olduğu düşünülerek yapılmıştır.

İlk aşamada her iki sistem için yolcu başına taşıma maliyeti, bakım maliyeti, yol-hat bakım maliyeti, kaza maliyeti ve çevresel maliyetleri ampirik olarak hesaplanıp iki sistemin karşılaştırılması yapılmıştır.

Kentler, sundukları ekonomik ve sosyal aktiviteler açısından enerji tüketiminin merkezinde yer almaktadırlar. Kentsel enerji tüketiminin merkezinde ise binlerce bağımsız karar vericiye bağlı olan yapılar ve ulaşım yer almaktadır. Örneğin, Londra kentinde toplam enerji tüketiminin %61'i yapılar (ticari yapılar %36, konutlar % 25) için harcanmakta iken, bunu %28 ile ulaşım izlemektedir ve ulaşım sektöründe de tüketilen enerjinin % 50'si arabalar tarafından harcanmaktadır. Endüstri ise kalan %11'lik kısmı harcamaktadır [11]. Değişik özelliklere sahip binlerce bağımsız karar vericinin olduğu bir ortamda arabalar tarafından harcanan enerjinin azaltılması ya da daha verimli kullanılması mikro ölçekli politikaların yanında belki de daha önemlisi makro ölçekli politikaların uygulanması ile olanaklıdır.

Kentsel enerji harcamaları tablosunda önemli bir yer oluşturan ulaşım sektörünün diğer sektörlerle göre farklılıkları vardır [11]. Ulaşım sektörü, uygulanabilecek politikaların etkileri açısından diğer sektörlerle göre daha hızlı tepki verebilen bir sektördür. Ayrıca meydana gelen kazalar ile trafik sıkışıklığı nedeniyle kaybedilen zamanla ortaya çıkan ekonomik kayıplar, eşitlik, hakkaniyet ve psikolojik etkiler göz önüne alındığında ulaşım sektörü kent ve ülke gündemini yoğun olarak meşgul etmektedir.

Kentsel ulaşım sektörünün bütününe ilişkin yapılan bir enerji kullanım analizi, her ne kadar içinde kontrol edilemeyen değişkenleri barındırsa da bir takım sonuçları ortaya çıkarmaktadır. Örneğin, bir kentteki araba ve toplu taşıma kullanım oranları ile kent formu, söz konusu kentteki ulaşım sektörünün enerji kullanımını hakkında fikir edinmemizi sağlayabilir. Enerji verimliliği bir birim enerji girdisine karşılık gelen kullanılabilir çıktı ya da bir birim kullanılabilir çıktı için gerekli olan enerji şeklinde ölçülebilir [12, 14].

Kentsel ulaşımında enerji verimliliği doğrudan ya da dolaylı yollarla artırılır. Doğrudan olan yolların en başında araçların enerji kullanımlarını iyileştirmek gelmektedir. Bir aracın enerji verimliliğinde etkin olan unsurlar; aracın tipi, ağırlığı, yaşı ve motor hacmidir. Dolayısı ile doğrudan enerji verimliliği elde edilebilmesi için bu unsurların herhangi birinde ya da (birbirleri ile olan ilişkiler de dikkate alınarak) bir kaçında iyileştirme yapılması gerekmektedir. Dolaylı yollarla iyileştirme ise aracı çevreleyen koşulların değiştirilmesi ile olanaklıdır. Yönetim ve organizasyon yapısındaki düzenlemeler ile kamu taşımacılığında deregülasyon yapılması ekonomik verimlilik açısından olumlu bulunmaktadır [24]. Ancak bu tür düzenlemelerin enerji verimliliği sağladığına dair herhangi bir bulgu henüz elde edilmemiştir. Genel olarak mevcut yolların bakımının düzenli yapılması, trafik koşullarının ve yol geometrilerinin iyileştirilmesi, toplu taşıma için izli yolların yapılması, durak aralıklarının uygun mesafelerde olması vb. uygulamalar, enerji verimliliğini artıran dolaylı yolların başında gelmektedir.

### 3.1. Akçaray Enerji Giderleri ve Diğer Maliyetleri

Bu bölümde Akçaray'a ait yolcu başına enerji taşıma, kaza, bakım onarım ve çevresel maliyetler hesaplanacaktır.

Tablo 3.1. 2019 Akçaray Toplam Değerler (Ulaşım A.Ş.'den Alınan Veriler)

2019 Raylı Sistemler Toplam Değerler	
Toplam kilometre	888.038,40 km
Toplam bakım maliyeti	231.446,12 TL
Toplam enerji maliyeti	2.970.120,48 TL
Toplam sefer sayısı	100.414 adet
Toplam taşınan yolcu	12.700.265 Yolcu

### 3.1.1. Yolcu başına enerji taşıma maliyeti

Ulaşımпарк Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş.'den alınan veriler doğrultusunda 18 adet Akçaray tramvayı ile taşımacılık yapılması durumunda 8.137,316 TL/gün yakıt masrafına karşılık 34.795 yolcu taşınabilmektedir. Bu durumda yolcu başına gerçekleşen taşıma maliyeti 0,234 TL/yolcu olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yolcu Başına Enerji Taşıma Maliyeti} = \frac{\text{Toplam Enerji Maliyeti}}{\text{Taşınan Toplam Yolcu}} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Yolcu Başına Enerji Taşıma Maliyeti} &= \frac{2.970.120,48}{12.700.265} \\ &= 0,234 \text{ TL/yolcu} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Tablo 3.2. Akçaray Yolcu Başına Enerji Taşıma Maliyeti (Ulaşımпарк A.Ş.'den Alınan Veriler)

Özellik	Birim	Akçaray
Yolcu başına enerji taşıma maliyeti	TL/yolcu	0,234
Yolcu sayısı ortalama	yolcu/gün	34.795
Yolcu sayısı	yolcu/yıl	12.700.265

### 3.1.2. Kaza maliyeti

Trafik kazaları, yoldaki anlık trafik hacmine, kullanılan araç tipine, yolun durumuna, hava durumuna ve sürücüye bağlı olarak gerçekleşebilir. Kaza nedeniyle gelen maliyete bakıldığında tramvay için kaza maliyeti 2,67 TL/taşıt.km alınmıştır [21].

Tablo 3.3. Akçaray Kaza Maliyet Değerleri (Ulaşımпарк A.Ş.'den Alınan Veriler)

Özellik	Birim	Akçaray
Kaza maliyeti	TL/taşıt.km	2,67
Mesafe	km	9,4
Güzergâhtaki kaza maliyeti	TL/taşıt	25,098
Sefer başı ortalama yolcu sayısı	yolcu/sefer	127
Kaza maliyeti	TL/yolcu	0,20

$$\text{"Yolcu Başına Kaza Maliyeti"} = \frac{\text{Birim km Kaza Maliyeti} \times \text{Mesafe}}{\text{Sefer Başı Ortalama Yolcu Sayısı}} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Yolcu Başına Kaza Maliyeti} &= 2,67 \frac{\text{TL}}{\text{km}} \times 9,4 \text{ km} \div 127 \text{ Yolcu} \\ &= 0,20 \frac{\text{TL}}{\text{Yolcu}} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Yolcu başına kaza maliyeti 0,20 TL/yolcu olarak hesaplanmıştır. 2019 yılı içerisinde Akçaray'ın 12.700.265 kişi taşıdığını bilgisine dayanarak toplam 2.540.053 TL kaza maliyetinin oluşacağını öngörebiliriz.

### 3.1.3. Bakım onarım maliyeti

Akçaray 2019 yılı içerisinde toplamda bakım onarıma 231.446,12 TL harcamıştır. Araçların halen üretici firma garanti kapsamında yer alması bakım masraflarının daha az olmasını sağlamıştır. Akçaray'ın 2019 verileri doğrultusunda yolcu başına bakım giderleri 0,02 TL/yolcu (toplam bakım maliyeti/toplam yolcu sayısı) olarak hesaplanmıştır.

Ancak, raylı sistemlerde hat bakım onarımı da göz önüne alındığında birim kilometre başına onarım maliyeti 1,07 TL/km alınabilir [22].

- Sefer başına hat bakım maliyeti;

$$\text{Hat Bakım Maliyeti} = \text{Kilometre Başı Bakım Maliyeti} \times \text{Günlük Yol Miktarı} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \text{"Hat Bakım Maliyeti} &= 1,07 \text{ TL/km} \times 9,4 \text{ km/sefer} \\ &= 10,06 \text{ TL/sefer "} \end{aligned} \quad (3.6)$$

- Yolcu başına hat bakım maliyeti;

$$\text{Yolcu Başına Hat Bakım Maliyeti} = \frac{\text{Sefer Başı Hat Bakım Maliyeti}}{\text{Sefer Başına Ort. Taşınan Yolsu Sayısı}} \quad (3.7)$$

$$10,06 \text{ TL/sefer} / 127 \text{ yolcu/sefer} = 0,079 \text{ TL/yolcu} \quad (3.8)$$

### 3.1.4. Çevresel maliyetler

2007 yılında İngiltere’de yayınlanan Sera Gazları Çevirim Rehberi’ne göre bir hafif raylı sistemin CO<sub>2</sub> emisyonu kilometrede ortalama 0,065 kg’dır. CO<sub>2</sub> emisyonlarını temizlemenin maliyeti ise 247 €/ton (1.531 TL/ton) olarak kabul edilmiştir [34, 35].

- Sefer başına çevresel emisyon maliyeti;

Sefer başı çevresel emisyon maliyeti =

$$\text{Birim km başına bakım maliyeti} \times \text{günlük yol miktarı} \times \text{birim bertaraf maliyeti} \times \frac{1}{1.000} \quad (3.9)$$

$$0,065 \frac{\text{kg}}{\text{km}} \times 9,4 \frac{\text{km}}{\text{sefer}} \times 1.531 \frac{\text{TL}}{\text{ton}} \times 0,001 \frac{\text{ton}}{\text{kg}} = 0,93 \frac{\text{TL}}{\text{sefer}} \quad (3.10)$$

- Yolcu başı çevresel emisyon maliyeti;

$$\text{Yolcu Başına Emisyon Maliyeti} = \frac{\text{Sefer Başı Emisyon Maliyeti}}{\text{Sefer Başına Ort. Taşınan Yolsu Sayısı}} \quad (3.11)$$

$$0,93 \frac{\text{TL}}{\text{sefer}} \div 127 \frac{\text{yolcu}}{\text{sefer}} = 0,007 \frac{\text{TL}}{\text{yolcu}} \quad (3.12)$$

## 3.2. Otobüs Enerji Giderleri ve Diğer Maliyetleri

Bu bölümde Ulaşımпарк Otobüs İşletmesi’ne ait yolcu başına düşen enerji taşıma, kaza, bakım onarım ve çevresel maliyetler hesaplanacaktır.

Tablo 3.4. 2019 Otobüs İşletme Toplam Değerler (Ulaşımпарк A.Ş.’den Alınan Veriler)

2019 Otobüs İşletme Toplam Değerler	
Toplam kilometre	79.105.883.010 km
Toplam bakım maliyeti	6.105.308 TL
Toplam enerji maliyeti	25.126.698 TL
Toplam sefer sayısı	909.824 adet
Toplam taşınan yolcu	21.425.705 yolcu

### 3.2.1. Yolcu başına enerji taşıma maliyeti

Ulaşımпарк Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş.'den alınan veriler uyarınca 336 adet otobüs ile taşımacılık yapılması durumunda 68.840,27 TL/gün yakıt masrafına karşılık 58.700 yolcu taşınabilmektedir. Bu durumda yolcu başına gerçekleşen taşıma maliyeti 1,17 TL/yolcu olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.5. Otobüs Yolcu Başına Enerji Taşıma Maliyeti (Ulaşımпарк A.Ş.'den Alınan Veriler)

Özellik	Birim	Otobüs
Yolcu başına enerji taşıma maliyeti	TL/yolcu	1,17
Yolcu sayısı ortalama	yolcu/gün	58.700
Yolcu sayısı	yolcu/yıl	21.425.705

$$\text{Yolcu Başına Enerji Taşıma Maliyeti} = \frac{\text{Toplam Enerji Maliyeti}}{\text{Taşınan Toplam Yolcu}} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} \text{Yolcu Başına Enerji Taşıma Maliyeti} &= \frac{25.126.698}{21.425.705} \\ &= 1,17 \text{ TL/Yolcu} \end{aligned} \quad (3.14)$$

### 3.2.2. Kaza maliyeti

Trafik kazaları, yoldaki anlık trafik hacmine, kullanılan araç tipine, yolun durumuna, hava durumuna ve sürücüye bağlı olarak gerçekleşebilir. Kaza nedeniyle gelen maliyete bakıldığında otobüs için kaza maliyeti 0,67 TL/km alınmıştır [21].

Tablo 3.6. Otobüs Kaza Maliyet Değerleri ( Ulaşımпарк A.Ş.'den Alınan Veriler)

Özellik	Birim	Otobüs
Kaza maliyeti	TL/taşıt.km	0,67
Mesafe	km	9,4
Güzergâhtaki kaza maliyeti	TL/taşıt	6,298
Sefer başı ortalama yolcu sayısı	yolcu/sefer	23,55
Kaza maliyeti	TL/yolcu	0,27

$$\text{"Yolcu Başına Kaza Maliyeti"} = \frac{\text{Birim km Kaza Maliyeti} \times \text{Mesafe}}{\text{Sefer Başı Ortalama Yolcu Sayısı}} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \text{Yolcu Başına Kaza Maliyeti} &= 0,67 \frac{\text{TL}}{\text{km}} \times 9,4 \text{ km} \div 23,55 \text{ Yolcu} \\ &= 0,27 \frac{\text{TL}}{\text{Yolcu}} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Yolcu başına kaza maliyeti 0,27 TL/yolcu hesaplanmıştır. 2019 yılı içerisinde otobüslerin 21.425.705 kişi taşıdığını göz önüne alırsak toplam 5.784.940,35 TL kaza maliyetinin oluşacağını öngörebiliriz.

### 3.2.3. Bakım onarım maliyeti

Ulaşımпарк Otobüs İşletme Müdürlüğü, 2019 yılı içerisinde toplamda bakım onarıma 6.105.308 TL harcamıştır. Araçların bir kısmının halen üretici firma garanti kapsamında yer alması bakım masraflarının daha az olmasını sağlamıştır. Otobüs İşletme Müdürlüğü'nün 2019 verileri doğrultusunda yolcu başına bakım giderleri 0,28 TL/yolcu (toplam bakım maliyeti/toplam yolcu sayısı) hesaplanmaktadır.

Ancak yol bakım onarımı da göz önüne alındığında birim kilometre başına onarım maliyeti 0,26 TL/km alınabilir [22].

- Sefer başına yol bakım maliyeti;

$$\text{Yol Bakım Maliyeti} = \text{Kilometre Başı Bakım Maliyeti} \times \text{Günlük Yol Miktarı} \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} \text{"Yol Bakım Maliyeti"} &= 0,26 \text{ TL/km} \times 9,4 \text{ km/sefer} \\ &= 2,44 \text{ TL/sefer} \end{aligned} \quad (3.18)$$

- Yolcu başına yol bakım maliyeti;

$$\text{Yolcu Başına Yol Bakım Maliyeti} = \frac{\text{Sefer Başı Yol Bakım Maliyeti}}{\text{Sefer Başına Ort. Taşınan Yolsu Sayısı}} \quad (3.19)$$

$$2,44 \text{ TL/sefer} \div 23,55 \text{ yolcu/sefer} = 0,1 \text{ TL/yolcu} \quad (3.20)$$

### 3.2.4. Çevresel maliyetler

2007 yılında İngiltere’de yayınlanan Sera Gazları Çevirim Rehberi’ne göre bir otobüsün CO<sub>2</sub> emisyonu km’de ortalama 0,089 kg’dır. CO<sub>2</sub> emisyonlarını temizlemenin maliyeti ise 247 €/ton (1.531 TL/ton) olarak kabul edilmiştir [23, 24].

- Sefer başına çevresel emisyon maliyeti;

Sefer başı çevresel emisyon maliyeti =

$$\text{Birim km başına bakım maliyeti} \times \text{günlük yol miktarı} \times \text{birim bertaraf maliyeti} \times \frac{1}{1.000} \quad (3.21)$$

$$0,089 \frac{\text{kg}}{\text{km}} \times 9,4 \frac{\text{km}}{\text{sefer}} \times 1.531 \frac{\text{TL}}{\text{ton}} \times 0,001 \frac{\text{ton}}{\text{kg}} = 1,27 \frac{\text{TL}}{\text{sefer}} \quad (3.22)$$

- Yolcu başı çevresel emisyon maliyeti;

$$\text{Yolcu Başına Emisyon Maliyeti} = \frac{\text{Sefer Başı Emisyon Maliyeti}}{\text{Sefer Başına Ort. Taşınan Yolsu Sayısı}} \quad (3.23)$$

$$1,27 \frac{\text{TL}}{\text{sefer}} \div 23,55 \frac{\text{yolcu}}{\text{sefer}} = 0,05 \frac{\text{TL}}{\text{yolcu}} \quad (3.24)$$

### 3.3. Akçaray ve Otobüs Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Yolcu başına enerji taşıma maliyetlerinin karşılaştırılması Tablo 3.7.’de verilmiştir.

Tablo 3.7. Akçaray ile Otobüs Arasındaki Taşıma Enerjisi Farkı

Özellik	Birim	Otobüs	Akçaray	Fark
Yolcu başına enerji taşıma maliyeti	TL/yolcu	1,17	0,234	0,936
Yolcu sayısı ortalama	yolcu/gün	58.700	34.795	18.380
Yolcu sayısı	yolcu/yıl	21.425.705	12.700.265	6.708.695

Ulaşım AŞ’den alınan veriler doğrultusunda 18 adet Akçaray tramvayı ile taşımacılık yapılması durumunda 8.137,32 TL/gün yakıt masrafına karşılık ortalama günde 34.795 yolcu taşınabilmektedir. Bu durumda yolcu başına gerçekleşen taşıma maliyeti 0,234 TL/yolcu olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan taşıma işleminin otobüs ile yapılması durumunda 68.840,27 TL/gün yakıt masrafına karşılık ortalama günde 58.700 yolcu taşınabilmektedir. Otobüs için yolcu başına enerji taşıma



maliyeti ise 1,17 TL/yolcu'dur. Günlük yolcu taşıma maliyetleri baz alındığında otobüs ile aynı sayıda yolcu taşıma için yolcu başına enerji taşıma maliyeti üzerinden yaklaşık olarak 32.526 TL/gün daha fazla masraf yapılmış olmaktadır.

$$(1,17 - 0,234) \times 34.795 = 32.568 \text{ TL} \quad (3.25)$$

Tablo 3.8. Akçaray Otobüs Yolcu Başına Enerji Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Taşıma Yolcu Miktarı (adet/gün)	Akçaraya ile Maliyet (TL/gün)	Otobüs ile Maliyet (TL/gün)	Fark (TL/gün)
34.795	8.142,03	40.710,2	32.568,2

Akçaray'ın tek seferde daha fazla yolcu taşınması ve yolcu başına birim enerji giderinin otobüse göre daha düşük olması, onun daha ekonomik bir taşıma biçimi olduğunu göstermektedir. Otobüs ile Akçaray'ın bir seferde aktarmış olduğu yolcu taşıma istediğimizde, otobüsün daha fazla sefer yapmasına ihtiyaç duyulacaktır. Bu, hem çalıştırılan personel sayısının artması nedeniyle maliyetin yükselmesine, hem de sefer sayısının fazlaşmasını takiben enerji giderinin artmasına sebep olacaktır.

Tablo 3.9. Akçaray ile Yolculuk Sayesinde Elde Edilen Tasarruf Miktarı

Yolcu Başına Maliyet Farkı (TL/kişi)	2019 Akçaray Taşınan Yolcu Sayısı (kişi)	Toplam Tasarruf Miktarı (TL/Yıl)
0,936	12.700.265	11.887.448,04

Yolcu başına harcanan birim enerji maliyeti üzerinden gittiğimizde Akçaray'ın taşımış olduğu yolcuları otobüs ile taşısaydık;

$$\text{Taşıma Maliyeti} = \text{Birim Yolcu Maliyeti} \times \text{Taşınan Yolcu} \quad (3.26)$$

$$\begin{aligned} \text{Otobüs Taşıma Maliyeti} &= 1,177 \frac{\text{TL}}{\text{Yolcu}} \times 12.700.265 \text{ Yolcu} \\ &= 14.859.310,05 \text{ TL} \end{aligned} \quad (3.27)$$

$$\text{Tramvay Taşıma Maliyeti} = 0,234 \frac{\text{TL}}{\text{Yolcu}} \times 12.700.265 \text{ Yolcu}$$

$$= 2.971.862,01 \text{ TL} \quad (3.28)$$

Bu şekilde sadece yolcu başına harcanan birim enerji maliyetleriyle yılda toplam 11.887.448,04 TL kar edilmektedir.

Akçaray ile otobüsün kaza maliyetlerinin karşılaştırılması Tablo 3.10.'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Akçaray-Otobüs Kaza Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Özellik	Birim	Otobüs	Akçaray
Kaza maliyeti	TL/taşıt.km	0,27	2,67
Mesafe	km	9,4	9,4
Güzergâhtaki kaza maliyeti	TL/taşıt	6,298	25,098
Sefer başı ortalama yolcu sayısı	yolcu/sefer	23,55	127
<b>Kaza maliyeti</b>	<b>TL/yolcu</b>	<b>0,27</b>	<b>0,20</b>

Yakıt, bakım, kullanılan karayolu/hafif raylı sistemin bakım/onarım maliyeti, trafik kazalarından kaynaklanan ek maliyet ve çevresel emisyon açısından maliyetlerin birlikte değerlendirildiği bir karşılaştırma Tablo 3.11.'de sunulmuştur.

Tablo 3.11. Otobüs ile Tramvay Maliyet Kalemleri Karşılaştırması

Maliyet Çeşitleri	Otobüs (TL/yolcu)	Akçaray (TL/yolcu)
Yolcu başına enerji taşıma maliyeti	1,17	0,234
Otobüs/tramvay bakım	0,28	0,02
Karayolu/tramvay bakım	0,1	0,079
Karayolu/tramvay kaza	0,27	0,20
Çevresel	0,05	0,007
<b>Toplam</b>	<b>1,87</b>	<b>0,54</b>

Taşımacılıkla ilgili diğer maliyet parametrelerinin de dâhil edildiği karşılaştırma sonucu Akçaray ve otobüsle taşımacılık yapılması arasındaki fark Tablo 3.12.'de sunulmuştur.

Tablo 3.12. Otobüs ile Tramvay Detaylı Taşımacılık Maliyet Karşılaştırması

Özellik	Birim	Otobüs	Akçaray
Yolcu başına taşıma maliyeti	TL/yolcu	1,87	0,54
Taşıma maliyeti farkı	TL/yolcu	1,33	
Yolcu sayısı ortalama	yolcu/gün	58700	34.795
Yolcu sayısı farkı	yolcu/yıl	6.708.695	
<b>Toplam tasarruf edilebilecek miktar</b>	<b>TL/yıl</b>	<b>8.922.564,35</b>	

Sadece yolcu başına enerji taşıma maliyeti dikkate alındığında, Akçaray ile elde edilen tasarruf miktarı 6.279.338,52 TL/yıl iken, araç bakım maliyeti, karayolu tramvay hat bakım maliyeti, kaza maliyeti ve çevresel maliyet gibi diğer taşımacılık unsurları da birlikte değerlendirildiğinde bu tasarruf miktarı 8.922.564,35 TL/yıl olarak hesaplanmıştır.. Dolayısıyla Akçaray Kocaeli’ne ve ülke ekonomisine pozitif bir katkı sunmaktadır. CNG birim fiyatı 1,53 TL/sm<sup>3</sup> alınırsa, elde edilen tasarruf miktarı ile 5.831.741,405 sm<sup>3</sup>/yıl CNG toplu taşımacılık amacıyla daha az tüketilmiş olacaktır [36]. Böylelikle, doğal gaz ithalatı yapılan Türkiye’de Akçaray sayesinde ithalatı azaltılmış olacaktır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

2019 yılı Ulaşımпарк Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş.'den alınan veriler doğrultusunda

sadece taşıma maliyeti dikkate alındığında Akçaray'ın toplu taşımacılık açısından doğru bir yatırım olduğu ifade edilebilir. Ancak daha gerçekçi bir analiz için toplu taşımacılık sektöründe yolcu başına harcanan enerji miktarı (taşıma maliyeti), bakım maliyeti, konfor ve güvenlik, çevresel etki miktarı (gürültü/emisyon vb.) gibi bazı diğer maliyet parametreleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada iki farklı taşıma aracı olan tramvay ve otobüs ile taşıma yapılması durumunda birim enerji maliyetleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışma detaylandırılıp bakım maliyetleri, kaza maliyetleri ve çevre emisyon maliyetleri de eklenmiştir. Akçaray ve otobüsle taşıma yapılması halinde yapılan hesaplamalara göre karşılaştırılma yapılmıştır. Elde edilen verilere göre;

- Akçaray'ın bir vagonla tek seferde taşıyabildiği yolcu 290 kişi iken, otobüs ile ancak 70 yolcu taşımak mümkündür. Aradaki fark yaklaşık 4 kat civarındadır.
- Otobüs ile Akçaray'ın taşımış olduğu yolcu sayısına ulaşabilmek adına her turda 1 tramvaya karşılık 4 adet otobüs aynı anda, aynı istikamete doğru sefere çıkması gerekmektedir. Bu pratik olarak mümkün olmayacağı için sefer sıklığı artırılması söz konusudur. Dolayısıyla otobüs adetlerinde artış söz konusu olacaktır.
- Yolculuk için sarfedilen enerji miktarı Akçaray için 0,234 TL/yolcu iken otobüs içinse 1,17 TL/yolcudur. Diğer maliyetlerin de eklenmesiyle, Akçaray için 0,54 TL/yolcu olan enerji miktarı, otobüs için 1,87 TL/yolcudur.
- 2019 yılı verileri değerlendirildiğinde iki ulaşım aracı arasındaki birim enerji maliyetlerinden kaynaklanan fark sonucu açığa çıkan tasarruf miktarı tramvay hattı kartlı yolcu taşımaya başladığı gün bazında değerlendirilirse 32.568,2 TL enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır.

- Akçaray'ın ortalama kapasitesinin artış göstermesi, mevcut tramvay hatlarına yeni hatların ilave edilecek olması sebebiyle bu tasarruf miktarının artış göstereceği ifade edilebilir.
- Ayrıca teknolojik, ekonomik ve çevresel özellikler bakımından ulaşımda harcanan zaman ve enerji kaybının düşürülmesi, CNG'li olmasına rağmen otobüse nazaran 3,5 kat daha fazla yolcu taşınması, toplu taşımacılık alanında özellikle enerji verimliliği perspektifi ile bakıldığında Akçaray ön plana çıkmaktadır.
- Akçaray tramvay hattının genişletilmesi, hattın uzatılması daha çevreci ve ekonomik ulaşımın önünü açacaktır.
- Kent içi toplu taşıma sistemlerinden olan raylı sistemlerin, diğer demir yolu ağlarıyla, şehrin ana ulaşım merkezlerine, terminaline, havalimanına ve diğer toplu taşıma sistemlerine olan entegrasyonunun iyileştirilmesi; hem ulaşımda enerjinin ve enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacak hem de ulaşım kapasitesinin artmasına imkan sağlayacaktır.
- Sonuç olarak, bu tez çalışmasından da gördüğümüz gibi toplu ulaşımda elde ettiğimiz verileri kullanarak ve enerji maliyetini düşürücü çalışmalar yaparak daha sürdürülebilir ve çevreci taşıma sistemi yatırımları için yol gösterici olunabilir.
- Yeni yapılacak çalışmalarla toplu taşıma sistemlerinde enerji maliyetini düşürmek için yapılması gerekenlerin analizi ile tramvay ile aynı güzergahta çalışan otobüs hatlarının karşılaştırılması yapılarak, mevcut sistemler için yeni çözümler bulunabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Asa S., Özcan Ş., Raylı Sistem Araçlarında Kaynak Uygulamaları, *IX Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 17-28, 2015.
- [2] Akman G., Alkan A., Evaluation of Alternative Public Transportation Systems in Izmit Urban Transportation via Axiomatic Design Method, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2016, **22**(1), 54-63.
- [3] Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Park Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş. Raylı Sistemler Müdürlüğü Atölye ve Araç Bakım Şefliği TÜRSİD Sunumu, Kasım 2018.
- [4] Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Park Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş. Raylı Sistemler Müdürlüğü Atölye ve Araç Bakım Şefliği TÜRSİD Sunumu Ekim 2019.
- [5] Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Raylı Sistemler Şube Müdürlüğü Kocaeli Ulaşım Ana Planı Sunumu
- [6] Kumbar S., *Otobüs Sistemlerinin Geleceği*, Busworld Academy, 2019.
- [7] Vuchic V. R., *Urban Transit Systems and Technology*, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, 2007.
- [8] Diana M., *A Dictionary of Transport Analysis*, Edward Elgar Publishing, London, 2012.
- [9] Kazanbaş M., Kocaeli Kent İçi Raylı Ulaşım Sisteminde Gelirin Arttırılmasına Yönelik Sefer Sıklık Analizi, Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı Projesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018.
- [10] Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Park Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş. Faaliyet Sunumu, 2019.
- [11] Steemers K., Energy and The City: Density, Buildings and Transport, *Energy and Buildings*, 2003, **35**(1), 3-14.
- [12] Patterson M. G., What Is Energy Efficiency? Concepts, Indicators and Methodological Issues, *Energy Policy*, 1996, **24**(5), 377-390.
- [13] Boyd G. A., Pang J. X., Estimating The Linkage Between Energy Efficiency and Productivity, *Energy Policy*, 2000, **28**(5), 289-296.

- [14] Freeman S. L., Niefer M. J., Roop J. M., Measuring Industrial Energy Efficiency: Practical Issues and Problems, *Energy Policy*, 1997, **25**(7-9), 703-714.
- [15] De Borger B., Kerstens K., Costa A., Public Transit Performance: What Does One Learn From Frontier Studies?, *Transport Reviews*, 2002, **22**(1), 1-38.
- [16] Caris J. L., Master Thesis: Bus Reforms in Large Urban Systems: A Comparative Case Study of Seoul and Rio de Janeiro, Yüksek Lisans Tezi, EPFL, Lozan, 2016.
- [17] Zhou Y., Qian C., Xiao H., Xin H., Wei Z., Feng Q., Coupling Research on Land Use and Travel Behaviors Along the Tram Based on Accessibility Measurement-Taking Nanjing Chilin Tram Line 1 As An Example, *Sustainability*, DOI:10.3390/su11072034.
- [18] Doğan Z., Beller Dikmen B., Ulaştırma Sektöründe Yer Alan İşletmelerde Hizmet Sunumu Sırasında Ortaya Çıkan Maliyetlerin İzlenmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2018, **11**(2), 24-39.
- [19] Versteeg L. O., Demand for Rail: Transport Options for the Waimakariri District, Yüksek Lisans Tezi, University of Canterbury, Master of Arts in Geography, Canterbury, 2006.
- [20] İnan M., Demir M., Demiryolu Ulaşımı Ve Türkiye’de Hızlı Tren Yatırımlarının Etkileri: Eskişehir-Konya Örneği, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2017, **27**(1), 99-120.
- [21] Topal O., Nakir İ., Total Cost of Ownership Based Economic Analysis of Diesel, CNG and Electric Bus Concepts for The Public Transport in Istanbul City, *Energies*, 2018, **11**(9), 2369, DOI:10.3390/en11092369.
- [22] Gürsoy M., Çağış Yerleşkesi ile Balıkesir İl Merkezi Arasında Hafif Raylı Sistemlerin Araştırılması Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2019, 561506.
- [23] Ayhan S., Kentsel Raylı Sistemlerde İşletme Maliyetleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 222519.
- [24] Lindberg G., Calculating Transport Accident Costs, Final Report of the Expert Advisors to the High Level Group on Infrastructure Charging (Working Group 3), *Swedish National Road and Transportation Research Institute*, 1999.
- [25] <https://www.nufusu.com/il/kocaeli-nufusu>, (Ziyaret tarihi: 25 Temmuz 2020).
- [26] <https://www.uab.gov.tr/uploads/cities/kocaeli/41-kocaeli.pdf>, (Ziyaret tarihi: 25 Temmuz 2020).

- [27] <https://rayhaber.com/2019/07/gebze-darica-metro-istasyonlari/>, (Ziyaret tarihi: 25 Temmuz 2020).
- [28] <http://kadikoytarhiicarsi.com/2019/03/gebze-halkali-marmaray-hatti-bugun-aciliyor/>, (Ziyaret tarihi: 25 Temmuz 2020).
- [29] <http://marmaray.gov.tr/sefer-bilgileri/gunluk-tren-saatleri/>, (Ziyaret tarihi: 25 Temmuz 2020).
- [30] <https://www.ulasimpark.com.tr/Tramvay/GuzergahBilgileri.aspx>, (Ziyaret tarihi: 25 Temmuz 2020).
- [31] <https://www.bogaziciproje.com.tr/projelerimiz/kocaeli-kuzey-hafif-rayli-sistem-lrt-hatti-projeleri-ve-fizibilite-etutleri>, (Ziyaret tarihi: 25 Temmuz 2020).
- [32] <https://www.kocaeli.bel.tr/tr/main/pages/toplu-tasima-araclari-yonetmeligi/34>, (Ziyaret tarihi: 26 Temmuz 2020).
- [33] <https://www.ulasimpark.com.tr/Kurumsal/Hakkimizda.aspx>, (Ziyaret tarihi: 26 Temmuz 2020).
- [34] Urban Tramway Systems, Center for Technology and Society Technische Universität Berlin, [https://www.dresden.de/media/pdf/stadtplanung/verkehr/Staedtische\\_Strassenbahnsysteme\\_engl.pdf](https://www.dresden.de/media/pdf/stadtplanung/verkehr/Staedtische_Strassenbahnsysteme_engl.pdf), (Ziyaret tarihi: 26 Temmuz 2020).
- [35] Pektaş İ., Raylı Ulaşım Sistemleri Sektör Analizi, <https://www.anadoluraylisistemler.org/content/upload/document-files/rayli-sistemler-sektor-an-20190722120532.pdf>, (Ziyaret tarihi: 26 Temmuz 2020).
- [36] <https://www.botas.gov.tr/Sayfa/2019-yili-ekim-ayi-dogal-gaz-toptan-satis-fiyat-tarifesi/463>, (Ziyaret tarihi: 20 Temmuz 2019).
- [37] Transportation Options for Megacities in the Developing World, <https://www.nap.edu/read/5267/chapter/4#69>, (Ziyaret tarihi: 26 Temmuz 2020).



## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Taşer S., Çağman S.,** Kentsel Ulaşımında Enerji Verimli Taşımacılık Uygulama Örneği Akçaray, *Imascon 4. Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi*, Körfez Belediyesi, Körfez-Kocaeli, 19-20 Haziran, 2020.



## ÖZGEÇMİŞ

İlköğretimini Hızır Reis İlköğretim Okulu'nda 2001'de tamamladı. 2004 yılında İzmit Lisesi'ni bitirdi. 2013 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Nisan 2013'de Gedik Eğitim Vakfı Uluslar Arası Kaynak Mühendisliği eğitimini aldı.

2013 yılında Türk Standartlar Enstitüsü'nde dış uzman olarak çalıştı. 2015 yılı içerisinde Teknorot Otomotiv Ürünleri Sanayi A.Ş. 'de saç salıncak method mühendisi olarak 1 yıl 7 ay görev yaptı.

Kasım 2016 tarihinde Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Park Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş.'de Raylı Sistemler Müdürlüğü'nde Atölye ve Araç Bakım Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Aynı zamanda, Eylül 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Mart 2020 tarihinde yapılan organizasyon değişikliği sonucu Ulaşım Park Ulaştırma Hizmetleri Tic. A.Ş. Bilişim Sistemleri Müdürlüğü'nde Veri Analiz Mühendisliği görevine atandı ve halen bu görevi sürdürmektedir