

# Elektrikli otobüsler üzerine karşılaştırmalı bir değerlendirme: İzmir şehir içi saha analizi

## A comparative evaluation on electric buses: Izmir city field analysis

Ali Çağlar ÖNÇAĞ<sup>1\*</sup> , Hakan ÜZKAT<sup>2</sup> , Ziya Can YEŞİL<sup>3</sup> , Uğur ELİİYİ<sup>4</sup> 

<sup>1,2</sup>ESHOT Genel Müdürlüğü, AR-GE, Enerji ve Çevre Yönetimi Şube Müdürlüğü, İzmir, Türkiye.

[alicaglar8@hotmail.com](mailto:alicaglar8@hotmail.com), [huzkat@eshot.gov.tr](mailto:huzkat@eshot.gov.tr)

<sup>3</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

[ziyacanyesil@gmail.com](mailto:ziyacanyesil@gmail.com)

<sup>4</sup>İşletme Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

[ugur.eliyi@bakircay.edu.tr](mailto:ugur.eliyi@bakircay.edu.tr)

Geliş Tarihi/Received: 18.03.2020

Düzeltilme Tarihi/Revision: 23.07.2020

doi: 10.5505/pajes.2020.99582

Kabul Tarihi/Accepted: 24.08.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Son yıllarda iklim değişikliği, enerji maliyetleri, egzoz emisyonları gibi etkenler nedeniyle elektrikli otobüslerin, dizel otobüslere alternatif olup olamayacağı konusu gündeme gelmektedir. Bu çalışmada elektrikli otobüslerin genel özellikleri incelenmekte ve 12 m uzunluğunda 20 araçtan oluşan bir elektrikli otobüs filosunun İzmir içerisinde kullanımı sonucunda elde edilen yaklaşık 2.5 yıllık verinin benzer dizel otobüslerle enerji ve akaryakıt tüketimi bakımından genel bir karşılaştırması yapılmaktadır. Buna ek olarak seçilen bir hat üzerinde bir dizel otobüs ile detaylı karşılaştırma yapılmaktadır. Elektrikli otobüslerle ilgili en büyük darboğaz dizel otobüslere göre nispeten düşük menzile sahip olmalarıdır. Buna karşın elde edilen veriler ışığında, yakın gelecekte elektrikli otobüslerin dizel otobüslere ciddi bir alternatif olabileceği görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Elektrikli otobüs, Şehir içi otobüs, Toplu ulaşım.

### Abstract

In recent years, due to factors such as climate change, energy costs and exhaust emissions, the issue of whether electric buses can be an alternative to diesel buses has come into question. In this study, first general characteristics of electric buses are examined. Based on the utilization data of an electric bus fleet in İzmir, collected over a period of 2.5 years from 20 identical vehicles with 12 m length, a comparative analysis is made with respect to alternative diesel bus performances in terms of energy and fuel consumption. In addition, detailed comparisons are made with a diesel bus on a specific line. The biggest bottleneck related with electric buses is their having relatively low ranges compared to diesel buses'. However, in the light of the data and results presented, it seems that electric buses might be considered as a serious alternative to diesel buses in the near future.

**Keywords:** Electric bus, City bus, Public transportation.

## 1 Giriş

Son yıllarda küresel ısınmadaki etkisine ilişkin iddialar ve çevreye olan olumsuz etkileri nedeniyle toplu ulaşımında fosil yakıtların kullanımının azaltılması üzerine bilimsel çalışmalar gerçekleştirilmekte ve politikalar ortaya konmaktadır. Bu akıma dâhil olan yerel idarelerce kentlere dair taahhütlerde de bulunulmakta ve çeşitli hedefler belirlenmektedir. Söz konusu taahhütlerde ulaşım kaynaklı ortaya çıkan salınımların (emisyonların) sıfırlanması önemli bir yer tutmaktadır [1]-[3]. Bu taahhütleri veren yerel idarelerden biri olan İzmir Büyükşehir Belediyesi [3] belirlediği hedefler doğrultusunda kendisine bağlı ESHOT Genel Müdürlüğü bünyesinde alımını yaptığı 20 adet elektrikli otobüsü Nisan 2017 itibarıyla şehir içi toplu ulaşımında kullanıma sunmuştur. Bu çalışmadaki karşılaştırmalı analize dayanak oluşturan veriler bu elektrikli otobüs filosundan toplanmıştır.

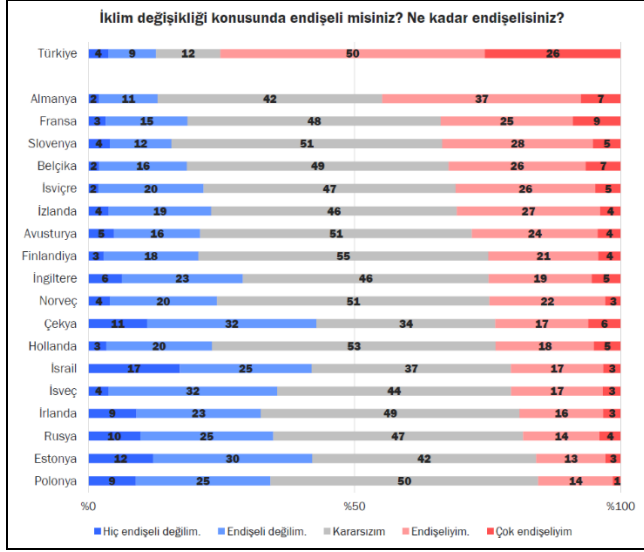
Söz konusu otobüsler nezdinde; teknolojik açıdan farklı ve yeni ürünlerin toplum tarafından her zaman benimsenemeyebileceği düşüncesi ile "Elektrikli Otobüslere Toplumsal Yaklaşım" konusu ile ilgili bir araştırma olup olmadığı incelenmiş ancak literatürde bu konuda bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte Konda'nın 2018 yılında yaptığı araştırma [4] çevreye duyarlı teknolojilere toplumun yaklaşımı konusunda Türkiye genelindeki sonuçları rakamlarla ortaya koymaktadır.

Araştırmada Türkiye'nin diğer ülkelere göre iklim değişikliği konusunda en yüksek endişe oranına sahip olduğu (Şekil 1) ve öncelikli olarak az enerji tüketen araçlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek gerektiğini düşünenlerin oranının %76 civarında olduğu görülmektedir. Ayrıca, beyaz eşya, ampul vb. gibi mal satın alımlarında öncelikle enerji tüketimi ve çevreye etkisine dikkat edenlerin, ürünün maliyetine dikkat edenlerden daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 2). Çevre sorunu konusunda ilk akla gelenler sıralamasında birinci ve ikinci sırada %16'lık oranlar ile hava kirliliği ile altyapı ve ulaşım sorunları gelmektedir. Bu durum elektrikli otobüs gibi daha temiz ve düşük enerji tüketimli ulaşım araçları için önemli bir toplumsal direnç olmayacağını göstermektedir [4]. Örneğin Gökaşar ve diğ.'nin İstanbul İETT otobüslerine ilişkin anket çalışmasına dayanan bir hizmet kalitesi analizinde otobüslerin çevre kirliliğini azaltmadaki etkisinin, memnuniyeti artırma bakımından geliştirilmesi gereken bir etken olduğu belirtilmektedir [5].

Elektrikli otobüsler, üretiminde kullanılacak teknolojik çözümlerin çeşitliliği nedeniyle pek çok farklı özellikte tasarlanıp üretilmektedir. Batarya tipi ve yönetimi, elektrik motor tipi, aktarma tasarımları, şarj yöntemleri, iklimlendirme, şasi yapısı gibi alanlarda çeşitli seçimler ile tasarımların çeşitlendirilmesi mümkündür (Şekil 3) [6]. Dolayısıyla elektrikli otobüs dendiğinde mevcut dizel otobüs

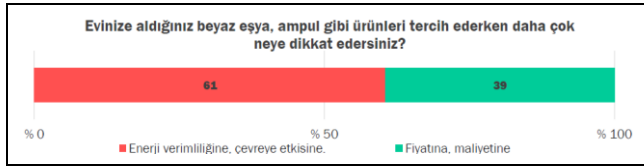
\*Yazışılan yazar/Corresponding author

tasarımlarından farklı olarak nispeten daha esnek ve yenilikçi tasarımlara açık bir alan ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. İklim değişikliğinde ülkelerin endişeleri [4].

Figure 1. Concern about climate change by country [4].



Şekil 2. Toplumun mal alımında "Enerji Verimliliği - Maliyet" karşılaştırması [4].

Figure 2. Energy efficiency and cost comparison in community procurement [4].

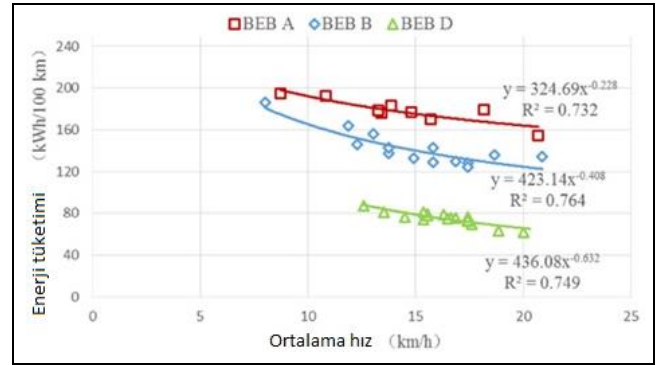
Fonksiyon	Seçenek					
	grid			local storage		
Enerji kaynağı	alçak gerilim	orta gerilim	yüksek gerilim	ev	sabit pil	H <sub>2</sub> tank
Şarj stratejisi	fırsat buldukça	hareket sırasında	garajda			
Şarj tipi	manuel	pentograf	indüksiyon	indüksiyon akümü kolektörü	batarya değişimi	
Araç listeli enerji kaynağı	NMC	batarya LFP	LTO	kapasitör	H <sub>2</sub> tank (= yakıt hücre)	hiç biri
Motor tipi	sabit momentli senkron motor	elektrik uyumlu senkron	asenkron	anahatlamalı rebükans		
Çekis yeri	merkezi motor	tekerleğe monte motor				
Karoseri	12 m solo	18 m körtüklü	24 m körtüklü	çift katlı		
Sogutma	elektrikli klima	sogutma yok				
Isıtma	elektrikli rezistans ile ısıtma	elektrikli ısı pompası ile ısıtma	akaryakıt ile ısıtma			

Şekil 3. Elektrikli otobüslerde teknolojik çeşitlilik [6].

Figure 3. Technological diversity in electric buses [6].

Elektrikli otobüsler şarj tipine göre hızlı ve yavaş şarj şeklinde sınıflandırılmaktadır. Şarj tipine göre seçimde filodaki araç sayısı, yatırım ve işletme giderleri, şehir ve hat elektrik altyapısı gibi faktörler etkili olmaktadır. Hızlı şarj ya da yavaş şarj seçenekleri aynı zamanda daha küçük batarya ile kısa menzil veya daha büyük batarya ile uzun menzil seçeneklerini de gündeme getirmektedir. Bu noktada şarj sistemlerinin maliyeti de göz önünde bulundurulması gereken bir etken olarak ortaya çıkmaktadır [7]. Yavaş şarjda batarya maliyetleri ve ağırlık artışı, düşük kapasiteli batarya seçiminde ise yetersiz menzil

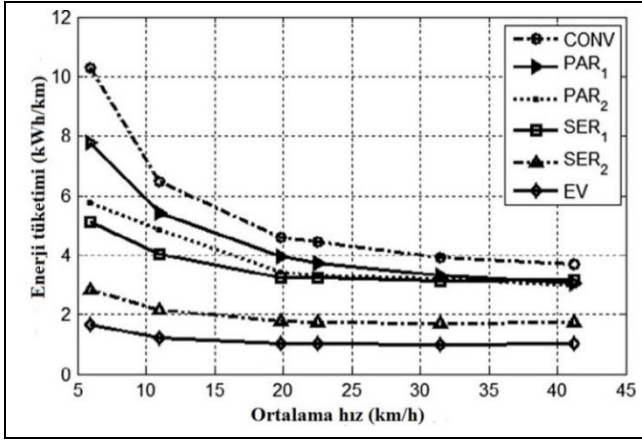
problemi ile karşı karşıya kalma riski ortaya çıkabilmektedir. Hızlı şarjdaki diğer önemli nokta ise şarj sırasında kullanılacak gücün yavaş şarja kıyasla daha yüksek olmasıdır [8],[9]. Ayrıca, elektrikli otobüslerin batarya kapasiteleri 500 kWh üzerine çıkabilirken, bu değer otobüsün (12 m. veya 18 m. vb. gibi) uzunluğuna da bağlı olarak genellikle 200-360 kWh aralığında değişmektedir. Hızlı şarjlarda 500 kW gibi bir güce sahip sistem ile şarj olanağı bulunurken yavaş şarjda şarj ünite güçleri 40kW değerine kadar düşmektedir [9]. Dolayısıyla yüksek güç sağlanamayacak hatlar veya şehirler için kısa şarj ve düşük batarya kapasiteli araçların kullanımını tercih etmek mümkün görünmemektedir. Araçların menzilleri, batarya kapasiteleri ile birlikte aracın büyüklüğüne, trafik koşullarına, yol topografyasına ve araçta kullanılan iklimlendirme sistemlerine göre değişmektedir. Zhou ve diğ. tarafından Çin, Macao da bir hat üzerinde kısa (BEB A) ve uzun (BEB B) şarj tipi 12 m uzunluğundaki 2 otobüs ve 8 m uzunluğundaki (BEB D) 1 otobüs ile gerçekleştirilen testler neticesinde otobüslerin enerji tüketimlerinin ortalama hız arttıkça azaldığını göstermiştir (Şekil 4), [10].



Şekil 4. Üç farklı elektrikli otobüsün ortalama hızına göre 100 km'deki enerji tüketiminin değişimi [10].

Figure 4. Change of energy consumption per 100 km according to the average speed of three different electric buses [10].

Şekil 4'te görülen ortalama hız değerleri düşük gibi görüle de bu değerlere duraklama süreleri de dâhildir. İzmir şehir içi otobüs ile toplu ulaşım için ortalama hızlar yol genişliği, durak aralıkları, trafik ve yolcu yoğunluğu gibi faktörlere bağlı olarak saatte 15-40 km arasında değişiklik göstermektedir. Özel otobüs yolu (Bus-Lane) gibi uygulamalarla sağlanan hız artışı neticesinde önemli ekonomik kazanımların oluşabileceği gösterilmiştir [11]. Dolayısıyla yoğun trafik bulunan bölgelerde ortalama hızlar azalacağından elektrikli otobüslerin menzili kısılacaktır. Ancak Lajunen tarafından yapılan analizde dizel araçlar ile karşılaştırıldığında ortalama hız değişiminden elektrikli otobüslerin daha az etkilendiği görülmektedir (Şekil 5). Bununla birlikte paralel ve seri tip hibrit araçlarda da enerji tüketim değerlerinin hem daha düşük olduğu hem de hızdan dizel otobüslere kıyasla daha az etkilendiği görülmektedir [12]. Özuysal ve diğ. ESHOT otobüs ve hatları üzerinde yaptıkları çalışmada yolcu sayısı artışının ve binen/inen yolcu sayısı farkı artışının duraklardaki duruş/bekleme sürelerini arttırdığını göstermişlerdir. Özellikle binen ve inen yolcu sayısı farkındaki artışın bekleme süresi üzerinde parabolik bir artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir [13]. Bu durum ortalama hızın düşüşüne ve dolayısıyla enerji tüketiminin artışına sebep olacaktır. Ancak enerji tüketiminin nasıl etkilendiğine ilişkin detaylı bir çalışmaya rastlanmamıştır.



Şekil 5. Farklı araçların ortalama hıza göre enerji tüketim değeri karşılaştırması (CONV: dizel otobüs, PAR1, PAR2, SER1, SER2: Farklı tipte hibrit otobüsler; EV: Elektrikli otobüs) [12].

Figure 5. Energy consumption value comparison of different vehicles according to average speed; CONV: diesel bus, PAR1, PAR2, SER1, SER2: Different types of hybrid buses, EV: Electric bus [12].

Elektrikli araçların en kritik ekipmanı bataryalardır ve kullanım süresi arttıkça yapılabilecek menzilde azalmalar oluşmaktadır. Dolayısıyla araç şarj ve kullanımında bataryaların sağlığının (ömrünün) takip edilmesi hem uzun dönemli bakım maliyetlerinin tahmini hem de menzil yeterliliği göz önünde bulundurulduğunda günlük hat planlaması bakımından önem arz etmektedir. Sarıkurt ve Balıkcı gerçekleştirdikleri çalışmada batarya durumunu analiz etmekte kullanılan yöntemleri inceleyerek sürüş öncesi batarya sağlığını gösterebilecek bir yöntem geliştirmiştir [14].

Elektrikli otobüslerin enerji tüketimi; iklimlendirme sistemlerinin kullanımı, ortalama hızın düşüşü ve yolcu sayısındaki artış ile birlikte ciddi miktarda artabilmekte ve menzilde %40'lara varan bir azalmaya neden olmaktadır [10]. İklimlendirme ihtiyacı ve buna harcanan enerji otobüslerin kullanılacağı iklime göre farklılık arz etmektedir. Nispeten soğuk iklim şartlarına sahip Kopenhag gibi şehirlerde "Isıtma Yüğü", İzmir gibi sıcak şehirlerde "Soğutma Yüğü" ortaya çıkmaktadır. Öyle ki, Kopenhag'da otobüsün hareketi için kullanılan enerjinin yarısı büyüklüğünde bir enerji en soğuk aylarda ısınma amaçlı (Isıtma Yüğü) kullanılabilir [15].

Sera gazı salınımı bakımından değerlendirildiğinde ise elektrikli otobüsler açık şekilde dizel otobüslerden üstündür. Bununla birlikte kullanılan elektriğin nasıl üretildiğine göre sera gazı emisyonundaki düşüşler farklılık gösterebilmektedir. Yapılan çalışmalara göre fosil yakıtlardan elektrik üretilmesi durumunda sera gazı salınımındaki azalma %19'a düşerken bu değer yenilenebilir enerjiden elektrik üretilmesi durumunda %90'ların üzerine çıkabilmektedir [10],[12],[15],[16]. Dolayısıyla, beklenen çevresel etki için temiz enerji kullanımını hatırı sayılır bir önem arz etmektedir. Elektrikli otobüslerin kullanılmasındaki darboğazlardan biri olan elektrik altyapısının yeterliliği ilk düşünülmesi gereken konulardandır. Özellikle kullanılacak araç sayısının yüksek olduğu planlarda veya kullanılacak şarj ünitesi konum ve güçlerinin planlanması aşamalarında dağıtım şebekesi üzerinde oluşacak yük göz önünde bulundurulmalı ve ilgili kurumlar ile irtibata geçilerek gerekli koordinasyon sağlanmalıdır [17]. Elektrikli araçlarda şarj ünitelerinden bataryaya aktarılan enerjide bir miktar kayıp

meydana gelmektedir [18]. Ayrıca, araç teknik özelliklerine göre, bataryadan enerji çekilmesi ve ilgili donanıma (klima, motor) gönderilmesi sırasında enerji dönüşümü kaynaklı enerji kayıpları oluşmaktadır. Kayıpların enerji tüketimlerine ve maliyetlere eklenmesi için ölçümler yapılması gereklidir. Otobüslerin gerçek enerji tüketim değerleri bu kayıplar gözetilerek hesaplanmalıdır. Elektrikli otobüslere ilişkin geçmişteki yayınlarda bu kayıplara ilişkin değerlere rastlanmamaktadır.

Gerçekleştirilen önceki çalışmalarda elektrikli otobüsleri kullanacak yolcuların bu teknolojilere olumlu yaklaşacağı, özellikle düşük ortalama hızlarda elektrikli otobüsün enerji tüketimi yönünden verimliliğinin dizel alternatiflerine kıyasla artacağı, bunlara karşılık elektrikli otobüs teknolojilerindeki tasarım yönünden çeşitliliğin batarya başta olmak üzere bu alandaki teknolojilerin bir hayli gelişim kaydedeceği belirtilmektedir. Literatürdeki çalışmalar göz önüne alınarak İzmir'de elektrikli otobüslerin çalıştığı hatlardaki genel performansları kayıt altına alınmış ve tek bir hat üzerinde dizel otobüs ile enerji maliyetleri açısından karşılaştırması yapılmıştır. Literatürde uzun süreli ve çok sayıda çalışan bu boyutta bir elektrikli otobüs filonun performansı bakımından bir saha değerlendirmesinin olmadığı, yapılan değerlendirmelerin ise kısa süreli testler veya simülasyonlar üzerinden gerçekleştirildiği görülmektedir. Dolayısıyla endüstriyel paydaşlar dâhil birçok uzman grubu açısından söz konusu değerlendirmelerin önem arz edeceği düşünülmektedir. Gelecek yıllarda elektrikli otobüslerin kullanımının artırılması durumunda şarj sırasında meydana gelen enerji kayıplarının elektrik alt yapı tasarımı açısından önemli olacağı düşünülerek bu kayıplara ilişkin de tespit yapılmıştır. Bu bağlamda 2. Bölümde sırasıyla testlerde kullanılan otobüslerin özellikleri, şarj kayıp ölçümlerinin nasıl yapıldığı, elektrikli otobüslerin çalıştırıldığı hatların genel özellikleri ile otobüs performans ölçümlerinin nasıl yapıldığı ve belirlenen bir hat üzerinde elektrikli-dizel otobüs karşılaştırmasının ne şekilde yapıldığı anlatılmaktadır. Bölüm 3'te ise ölçüm ve değerlendirme verileri paylaşılmaktadır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar ve öneriler tartışmaya sunulmaktadır.

## 2 Deneysel metod

### 2.1 Otobüslerin teknik özellikleri

Çalışma kapsamında, İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan 20 adet TCV E-Karat marka ve model elektrikli otobüse ait çeşitli ölçüm verileri değerlendirilmiştir. Söz konusu otobüslerin tamamı aynı teknik özelliklere sahiptir. Dolayısıyla yapılan ölçümlerde özellikle filonun belli bir plakaya sahip aracının verileri seçilmemiş şarj ölçümleri ve dizel otobüs ile olan karşılaştırmalarda 06:00-24:00 sa. arası çalışma düzeni içerisinde zaman olarak uygun araçlar üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Araçların rutin çalışma planları bozulmamıştır. Otobüslerin teknik özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Dizel ve elektrikli otobüs karşılaştırmasında ise elektrikli otobüs ile aynı sınıfta olan TEMSA Avenue marka ve model solo bir otobüs kullanılmıştır. Söz konusu araç modeli ESHOT Genel Müdürlüğü filosunda sınıfının nispeten genç araçlarından olması nedeniyle seçilmiştir. Dizel aracın genel özellikleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 1. TCV E-KARAT tam elektrikli otobüslerin teknik özellikleri.

Table 1. Technical specifications of TCV E-KARAT full electric buses.

Teknik Özellik	Açıklama
Toplam Uzunluk - Genişlik - Yükseklik	12 m - 2.55 m - 3.12 m
Aracın 70 Yolcusuyla Toplam Ağırlığı	17540 Kg.
Tam Şarjlı Batarya Kapasitesi	230 kWh
Tam Şarj Süresi	Hızlı Şarj 2.5 sa. - Normal Şarj 4-5 sa.
Araç Max Hızı	70 km/h (Sınırlanmış)
Toplam Yolcu Sayısı	80 Yolcu (29 Oturan - 50 Ayakta - 1 Tekerlekli Sandalye)
Tam Yüklü Tırmanma Eğimi	16%
Motor Sistemi	ZF Marka, AVE 130 Model, AC 3 Faz Asenkron, 2 adet, 2x120 kW= 240 kW(326 HP), Su Soğutmalı, Rejenerasyon (Elektrik Geri Kazanımı) Özelliği
Batarya Sistemi	Bozankaya BC&C GmBH Marka, SCL Batarya Sistemi, LifePO4 (Lityum İyon Demir Fosfat), 400 amp, 230 kWh, Toplam Ağırlık: 2300 kg, Montaj Şekli: Araç çatısında (sağda ve solda) iki sıra şeklinde
Isıtma ve Soğutma Sistemi	Elektrikle çalışan klima sistemi ile ısıtma ve soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. 31000 kcal/sa. (soğutma), 26000 kcal/sa. (ısıtma)
Fren Sistemi	ABS/ASR, Park Freni, Durak Freni, El Freni, Retarder
Karoser Özellikleri	Kompozit Dış Paneller, Engelli Erişimine Uygun Alçak Tabanlı Yapı, Duraklarda Sağa Yatma Özelliği, Güneş Işınlarnı %50 Engelleyen Camlar, 45x45x60 Geniş Koltuk Ölçüleri, 350 mm Geniş Koltuk Aralıkları, Taban Isı Yalıtımı,
Yangına Karşı Güvenlik Sistemi	Sürücü Mahalli, Motor ve Batarya Bölgelerinde Yangın Algılama, İkaz ve Söndürme Sistemi Mevcuttur.
Şarj Üniteleri	Tam Şarj Üniteleri 120 kW (Ayarlanabilir), Kablolu Şarj, Batarya Şarjında Aktif Dengeleme Yöntemi.
Tam Şarj Ünitesi Montaj Noktaları (12 adet)	Gediz Park Alanı (3), Adatepe Park Alanı (3), Çiğli Park Alanı (2), İnciraltı Park Alanı (2), Mersinli Park Alanı (2),
Ara Şarj Ünitesi Montaj Noktaları (10 adet)	Tınaztepe Son Durak (3), Halkapınar Son Durak (3), Sasalı Doğal Yaşam Parkı (1), Balçova Son Durak (1), Uzundere Son Durak (1), Mavişehir Son Durak (1)

Tablo 2. Temsa Avenue teknik özellikleri.

Table 2. Technical specifications of Temsa Avenue diesel buses.

Teknik Özellik	Açıklama
Üretim ve Trafığe Çıkış Yılı	2013
Araç Tipi	Solo, 12 m
Motor	ISB 6.7, 280 HP (209 kW)
Euro Standartı	Euro-6
Maksimum Tork	1100 Nm ( 1200-1600 d/d)
Şanzıman	ZF, 6ileri 1 geri
Yolcu Kapasitesi	Oturan: 25, Ayakta: 60 kişi

## 2.2 Şarj ölçüm yöntemi

Araçlar işletme şartlarında ve günlük rutinlerinde çalışmalarını tamamladıktan sonra garajlarına çekilmekte ve şarj işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu zaman aralığı genel olarak 00:00-06:00 olarak belirlenmiştir. Bu zaman aralığında gerçekleşen şarj işlemlerine ait veriler sayısal olarak araç içi Denetleyici Alan Ağı (CAN: Contoller Area Network) sistemi üzerinden alınmış ve arşivlenmiştir. Bu tip araçlarda bir miktar şarj mevcut olabilmekte, gece şarjları mevcut şarjı (%100'e tamamlayacak) şekilde yapılmaktadır. Bu çalışmada farklı olarak, gündüz şarj işlemi ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi şarj işleminde otobüs kontrol altında tutarak planlanandan farklı bir prosedür uygulanmasını önlemektir. Bu yöntemde şu adımlar izlenmiştir;

- Otobüs test ortamına çekilmiş ve herhangi bir arızasının olmadığı incelenerek teyit edilmiştir,
- Bataryalar, klimalar ve aydınlatma sisteminin açılması ve sürüş vasıtasıyla tamamen deşarj edilmiş ve batarya doluluk oranı %0'a getirilmiştir,

- Şarj cihazının bağlı olduğu elektrik panosuna çekilen enerji miktarının ölçülebileceği ve kayıt altına alınabileceği Entes MPR45S marka VEmodel elektrik sayacı takılmış ve şarj işlemi başlatılmıştır,
- Sayaç değerleri her 15 dk.'da bir kayıt altına alınmıştır. Kayıtlar ağ bağlantısı ile dijital ortamda toplanmıştır,
- Testte kullanılan şarj cihazının gücü 80 kW'tır,
- Araç bataryası %100 doluluk değerine ulaştığında işlem sonlandırılmıştır.

Yukarıdaki ölçüm yöntemi 2 defa farklı araçlar üzerinde tekrarlanmış ve yakın test sonuçları (Bkz. 3.1. Şarj ölçüm sonuçları) ve kayıp miktarı elde edilmiştir. Yakın ve uyumlu sonuçlar nedeniyle ölçüm 3. kez tekrarlanmamıştır.

## 2.3 Sefer hatları ve özellikleri

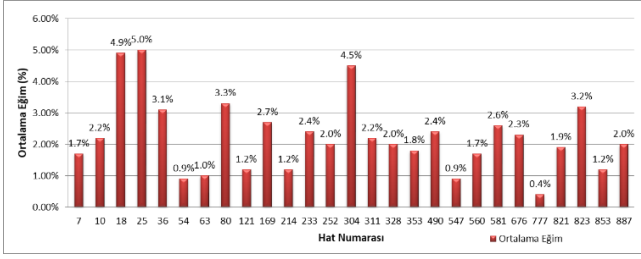
İşletmenin yapmış olduğu planlamaya göre tüm elektrikli otobüsler şehrin 5 farklı ulaşım bölgesinde farklı hatlarda (27 hat) Nisan 2017 itibariyle çalıştırılmıştır. Değerlendirmede Nisan 2017-Aralık 2019 tarih aralığındaki 2.5 senelik kullanıma ait veriler kullanılmıştır. Elektrikli otobüs ve hat değerlendirme

yöntemi bölüm 2.4'te anlatılmaktadır. Söz konusu hatlar şehir merkezinde nüfus/yolcu yoğunluğunun yüksek olduğu, yol eğim değerlerinin nispeten düşük olduğu hatlardır. Söz konusu hatlara ilişkin ortalama eğim ve diğer yüzey değerleri Tablo 3 ve Şekil 6'da gösterilmektedir.

Tablo 3 ve Şekil 6'da sunulan değerler, adı geçen otobüs hatlarının Google Earth yazılım uygulaması üzerinde çizilerek aynı uygulamanın "Yükseklik Profili" algoritmasının çalıştırılması ile elde edilmiştir [20].

Tablo 3. Elektrikli otobüslerin çalıştırıldığı hatlar.  
Table 3. Lines where electric buses are operated.

Hat Özellikleri					
Hat No	Hat Adı	Mesafe (km)	Yükseklik Artışı(m)	Maks. Eğim	Ortalama Eğim
7	S.EVLERİ-Ü.İSKELE	10.9	40	5.90%	1.70%
10	KONAK-Ü. İSKELE	7.74	10	4.00%	2.20%
18	YEŞİLYURT-KONAK	7.58	64	13.00%	4.90%
25	OYUNLAR KÖYÜ-ÜÇKUYULAR İSKELE	10.3	250	16.00%	5.00%
36	ŞİRİNYER AKTARMA-KONAK	7.85	61	14.10%	3.10%
54	OTOGAR-KEMER AKTARMA	9.42	10	3.90%	0.90%
63	EVKA3 METRO-KONAK	14.2	50	6.00%	1.00%
80	BOZYAKA-HALKAPINAR METRO	12.6	150	8.00%	3.30%
121	BOSTANLI İSKELE-KONAK	16.3	10	5.00%	1.20%
169	BALÇOVA-KONAK	11.8	36	13.00%	2.70%
214	EVKA 3 METRO-KEMER	12.7	46	6.10%	1.20%
233	ESBAŞ AKTARMA-KONAK	13.6	120	11.00%	2.40%
252	HALKAPINAR METRO2-KONAK	6.99	5	5.00%	2.00%
304	TINAZTEPE-KONAK	9	130	11.00%	4.50%
311	İ. ALTI-F. ALTAY	6.8	50	11.60%	2.20%
328	BORNOVA METRO-SALHANE AKTARMA	6.35	23	5.00%	2.00%
353	GAZİEMİR-TINAZTEPE	16	9	7.00%	1.80%
490	TINAZTEPE-ÜÇYOL	10	43	8.50%	2.40%
547	ÇİĞLİ AKT-BOSTANLI İSKELE	9.57	10	5.60%	0.90%
560	PINARBAŞI-HALKAPINAR METRO	13.2	87	6.80%	1.70%
581	F.ALTAY AKTARMA-HALKAPINAR METRO	13.3	100	12.00%	2.60%
676	TINAZTEPE-ŞİRİNYER AKTARMA	10.7	90	8.00%	2.30%
777	DOĞAL YAŞAM PARKI-KARŞIYAKA	22.7	2	1.00%	0.40%
821	MAVİŞEHİR AKTARMA-BOSTANLI İSK.	6.75	10	6.00%	1.90%
823	ÜÇYOL-GAZİEMİR SEMT GARAJI	12.7	70	10.00%	3.20%
853	EGEKENT AKT-KARŞIYAKA İSKELE	12.6	10	4.00%	1.20%
887	SARNIÇ AKTARMA-KONAK	14.5	130	10.50%	2.00%
	ORTALAMA DEĞERLER	11.34	59.9	8.07%	2.25%



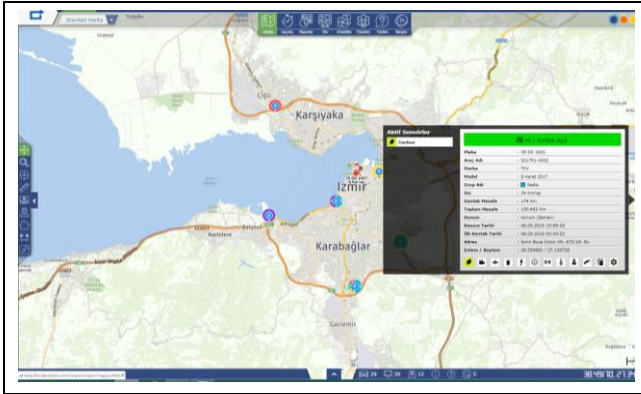
Şekil 6. Hatların ortalama eğimleri.

Figure 6. Average slope of lines.

## 2.4 Elektrikli otobüs genel performans ölçümü

Çalışmada elektrikli otobüs filosunun işletme verilerinin toplanmasında iki temel bilişim sisteminden yararlanılmıştır. Bunlar “Arnetta Filo Takip Sistemi” ve “Elektronik Ücret Toplama Sistemi” olarak adlandırılmaktadır.

Filo Takip Sistemi; Otobüs CAN sisteminde dolaşan veriler, sisteme donanımsal olarak bağlantısı yapılmış Arnetta Filo Takip Arabirimi tarafından okunmakta, kayıt altına alınmakta ve GSM aracılığı ile ESHOT sunucularına iletilmektedir. Otobüs teknik verileri bu sistem ile takip edilmektedir. Sistem ile CAN verileriyle eş zamanlı olarak GPS verileri de kayıt altına alınmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Arnetta filo takip sistemi web arayüzü.

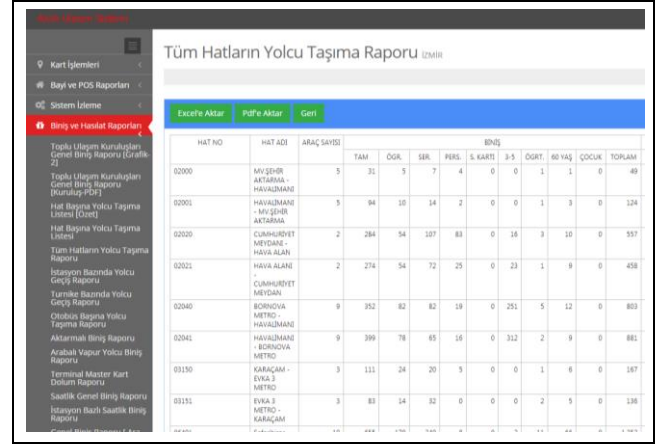
Figure 7. Web interface of Arnetta fleet tracking system.

Elektronik Ücret Toplama Sistemi (EÜTS); Otobüs üzerine monteli validatör cihazları tarafından temassız olarak okunan akıllı yolcu kartlarına ait binişlerle ilgili veriler GSM aracılığı ile ESHOT sunucularına iletilmektedir. Ayrıca söz konusu sistem ile sefer başlangıç ve bitiş noktaları ve şoför bilgileri kayıt altına alınmaktadır (Şekil 8). Böylelikle sefer ve hat planlarından farklı bir gerçekleşme olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu bilgiler ortalama hız tespiti ve hat enerji tüketimi analizinin yapılmasında kullanılmıştır. Şoför hat ve sefer bilgileri Arnetta filo takip denetim yazılımına da aktarılmaktadır.

## 2.5 Elektrikli-Dizel otobüs karşılaştırılması

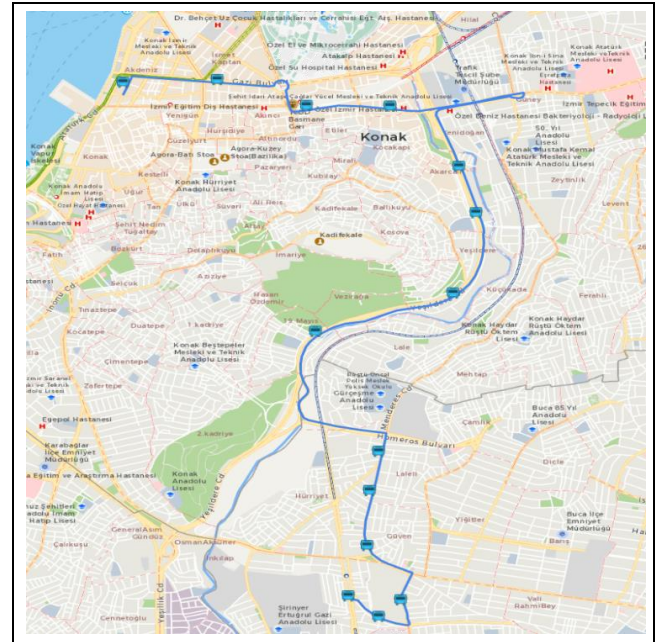
Normal çalışma rutininde dizel otobüsler gün içerisinde birden fazla hat üzerinde çalışmakta ve akaryakıt tüketim takibi akaryakıt istasyonlarından plaka bazlı alınan akaryakıt göre yapılmaktadır. Bu sebepten hat bazında tüketim analizi yapılamamaktadır. Dolayısıyla bu durum hat bazında dizel-elektrikli otobüs karşılaştırması yapılmasını zorlaştırmaktadır. Hat bazlı enerji-yakıt tüketim değerleri farklılığının tespiti bakımından her iki tip otobüsün de çalıştığı bir hat seçilmiş ve

karşılaştırma Tablo 3'te belirtilen 36 No.lu hat (Şekil 9) üzerinden yapılmıştır. Çalışma süresi zarfında dizel otobüsün başka hatta çalışmamasını sağlayacak şekilde planlama yapılmıştır. Karşılaştırmada elektrikli otobüsün enerji tüketim değerleri Arnetta filo takip sistemi üzerinden alınırken, dizel otobüsün akaryakıt tüketim değerleri gün sonu akaryakıt deposuna konulan yakıt miktarı ve kilometre saati üzerindeki bilgiler vasıtasıyla takip edilmiştir. Dizel otobüsün depoda eksilen (depoya gün sonunda ilave edilen) akaryakıt ile kilometre saati üzerinden okunan günlük kat ettiği mesafe oranlanarak, ortalama kilometrede tüketilen akaryakıt miktarı elde edilmiştir. Karşılaştırma iki aracın da aynı günlerde, benzer trafik ve yolcu yoğunluğu şartlarına sahip sefer saatlerinde kullanılması suretiyle yapılmıştır. Karşılaştırma süresi 6 gün olarak seçilmiştir. Çalışmada aracı süren şoförler sabit tutulmamış, farklı günlerde farklı şoförler kullanılmış ve gerek sefer planı gerek şoför seçiminde işletme şartlarındaki gerçek durum yansıtılmıştır.



Şekil 8. EÜTS web ara yüzü.

Figure 8. Web interface of electronic fare collection system.



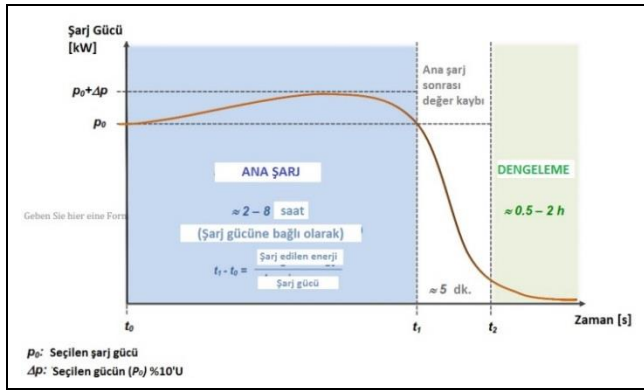
Şekil 9. Hattın harita üzerinde görünümü.

Figure 9. View of line 36 on the map.

### 3 Ölçüm sonuçları ve değerlendirme

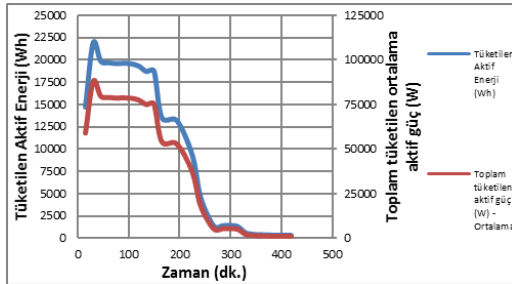
#### 3.1 Şarj ölçüm sonuçları ve kayıp miktarı

Çalışmada kullanılan elektrikli otobüsün batarya kapasitesi Tablo 1'de de belirtildiği üzere 230 kWh olup bu değer üzerinde kaydedilen enerji tüketim miktarı kayıp olarak ifade edilmektedir. İki farklı günde ve gün içerisinde gerçekleşen ölçümlerde batarya durumları %100'e gelinceye kadar yapılmış ve şarj süresinin bataryanın doluluk oranının %0'a düşürülmesi nedeniyle, mevcuttaki gece şarjlarından daha uzun olarak 6-7 sa. aralığında sürdüğü görülmüştür. İşletme şartlarında araçlar %20 şarj seviyesinin altında garaja girmemekte ve şarj süreleri 4-5 sa. olmaktadır. Otobüslerde aktif dengeleme sistemi olup, araçların şarj işlemini ana ve dengeleme olarak iki faza ayırmak mümkündür. Buna göre şarj grafiğinin Şekil 10'dakine yakın olması beklenmekte [19] olup elde edilen sonuçlar da bu grafiği desteklemektedir (Şekil 11 ve Şekil 12). Şarj işleminde tüketilen enerjinin 250-260 kWh aralığında olduğu görülmektedir. Buna göre %8-13 arasında bir şarj kaybı söz konusudur.



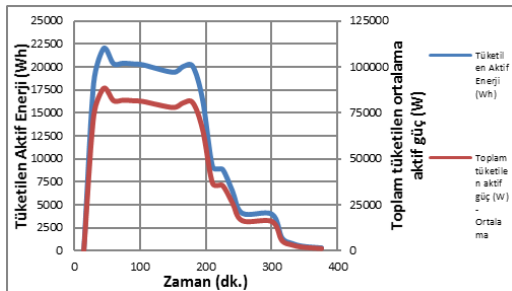
Şekil 10. TCV otobüslerin şarj grafiği [19].

Figure 10. Charge chart of TCV E-Karat buses [19].



Şekil 11. 35DD1602 Gün içi şarj değerleri, tarih: 17.05.2019.

Figure 11. 35DD1602 midday charging values, date: 17.05.2019.



Şekil 12. 35DD1602 gün içi şarj değerleri, tarih: 09.05.2019.

Figure 12. 35DD1602 midday charging values, date: 09.05.2019.

#### 3.2 Elektrikli ve dizel otobüslerin çalıştığı hatların genel ortalamaları

Yapılan işletmenin planına göre, Nisan 2017 itibariyle tüm araçlar şehrin 5 farklı ulaşım bölgesinde Tablo 2'de gösterilen hatlarda çalıştırılmıştır. Değerlerin hesaplanmasında kullanılan aralık Nisan 2017- Aralık 2019 olup yaklaşık 2.5 senelik kullanıma ait ortalama değerler Tablo 4'te gösterilmiştir. Ortalama enerji tüketim ve ortalama araç hızı değerleri araçların CAN hattı üzerinden gün sonunda okunan değerlerin ortalaması olup, her mevsimin dolayısıyla hem araç içi soğutma hem ısıtmanın yapıldığı ve farklı şoför kombinasyonları ile trafik şartlarının yaşandığı gerçek işletme koşullarının ortalamasıdır. 3.1'de bahsedilen şarj kayıp ölçüm oranları doğrultusunda, gerçek enerji tüketim değerinin 1.10 kWh/km civarına ulaşacağı düşünülmektedir. Araç doluluk oranı her seferdeki biniş sayısının araç kapasitesine oranına göre hesaplanmıştır.

Tablo 4. Elektrikli otobüs hat ve sefer ortalamaları.

Table 4. Line and bus service averages for electric buses.

Hat / Sefer Bilgisi	Değeri
Hat Sayısı	27
Ortalama Hat Uzunluğu (km)	11.34 km
Maksimum Eğim Değeri	% 8.07
Ortalama Hat Eğimi	% 2.25
Ortalama Enerji Tüketimi	1.03 kWh/km
Ortalama Araç Doluluk Oranı	% 43
Ortalama Araç Hızı Değeri	28.6 km/h

Enerji tüketimi açısından dizel araçlar ile genel bir karşılaştırma yapıldığında dizel araçların tüm hatlar için ortalama tüketim değeri 0.472 lt/km'dir. Birimlerin farklılığını işletmeler açısından maliyete dönüştürerek karşılaştırılabilir hale getirmek mümkündür. Orta gerilim ve tek zamanlı kWh başına elektrik maliyeti 2019 son çeyreğinde 0.72 TL. ve motorin litre maliyeti 5.75 TL'dir. Buradan hareketle akaryakıt ve enerji maliyeti açısından km başına elektrikli otobüslerde maliyet 0.74 TL iken dizel otobüslerin 2.71 TL olmaktadır. Herhangi bir yenilenebilir enerji kaynağı kullanılmadığı durumda dahi arada 3.5 kattan fazla bir maliyet farkı ortaya çıkmaktadır.

#### 3.3 Hat bazında elektrikli-dizel otobüs karşılaştırma sonucu elde edilen değerler

36 numaralı Şirinyer Aktarma Merkezi-Gümrük hattı üzerinde otobüslerden elde edilen kat edilen yol ve tüketilen akaryakıt ile elektrik değerleri Tablo 5'te gösterilmektedir. Bu tablolarda belirtilen ortalama kilometre başına düşen akaryakıt ve elektrik enerji tüketim değerlerini maliyete dönüştürdüğümüzde, dizel otobüs için 3.34 TL elektrikli otobüs için 0.73 TL değerleri elde edilmektedir.

### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada İzmir'de işletilen elektrikli otobüslerin gerçek işletme değerlerinin ortalamaları paylaşılmış, gelecekteki alt yapı tasarımlarına ışık tutması bakımından şarj kayıpları ölçülmüş ve enerji maliyetleri bakımından hem genel hem de bir hat özelinde enerji tüketim maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Elektrikli otobüslerin şehir içi toplu ulaşımında dizel araçların yerine sorunsuz ve işlevsel şekilde kullanılabileceği ve oldukça ekonomik olduğu görülmektedir. Bununla birlikte günlük uzun mesafe planlaması gerektiğinde ara şarjlara ya da daha büyük bataryalara ihtiyaç duyulacaktır.

Tablo 5. 36 No.lu hatta elde edilen veriler.

Table 5. Service averages for line 36.

Dizel Otobüs Takip Çizelgesi (TEMSA)							
Takip Bilgisi	Takip Değerleri						Ortalama
Tarih:	29.8.2018	30.8.2018	31.8.2018	1.9.2018	2.9.2018	3.9.2018	-
Hat No:	36	36	36	36	36	36	-
Plaka:	DD 4611	DD 4611	DD 4611	DD 4611	DD 4611	DD 4611	-
km:	267	260	263	270	245	150	<b>242.5</b>
Alınan Yakıt (litre):	153	148	151	156	141	100	<b>141.5</b>
							<b>lt/km: 0.58</b>
Elektrikli Otobüs Takip Çizelgesi (TCV)							
Takip Bilgisi	Takip Değerleri						Ortalama
Tarih:	29.8.2018	30.8.2018	31.8.2018	1.9.2018	2.9.2018	3.9.2018	-
Hat No:	36	36	36	36	36	36	-
Plaka:	DD 1615	DD 1613	DD 1614	DD 1616	DD 1616	DD 1615	-
km:	141	145	155	143	137	142	<b>143.83</b>
Harcanan Toplam Enerji Miktarı (kWh)	157	160	155	143	115	150	<b>146.67</b>
							<b>kWh/km 1.02</b>

Araçların kullanılacağı hatların seçilen otobüse uygunluğuna dikkat edilmelidir. Hatlardaki ortalama hızların da menzili etkileyecek önemli bir etken olduğuna dikkat edilmelidir. Bir hat üzerinde yapılan testte enerji maliyeti açısından önemli avantaja sahip olsa da menzilin düşük olması ve ara şarj gerektirebilmesi elektrikli otobüslerin dizel otobüslerin yerini kısa sürede alamayabileceği sonucunu doğurmaktadır. Ancak kısa menzile ihtiyaç duyulan ya da ara şarj yapılabilecek hat ve sefer planlarında elektrikli otobüsler dizele güçlü bir alternatiftir.

Test edilen araçlarda şarj kayıplarının büyük olmadığı ancak şarj altyapısının planlanmasında bu durumun göz önünde bulundurulmasında fayda olacağı görülmektedir. Özellikle büyük filolar göz önünde bulundurulduğunda kayıp miktarı önemli olacaktır. Elektrik ihtiyacının şebeke yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması durumunda, elektrikli otobüslerin dizele karşı ekonomik avantajının daha fazla artması olasıdır. Gelişen materyal, batarya/batarya yönetimi teknolojileri ve toplumun çevreci teknolojilere olumlu yaklaşımı ile birlikte elektrikli otobüslerin önümüzdeki yıllarda daha yaygın olarak kullanılabileceği ve dizel otobüslerin yerini almaya başlayacağı öngörülmektedir.

Çalışmada günlük ve hat temelli enerji tüketimleri tespit edilse de enerji tüketimine etki eden trafik yoğunluğu, yolcu yoğunluğu, iklimlendirme sistemi, yol yapısı ve eğimi, şoför performansı gibi pek çok etkenin ağırlığı belirlenmemiştir. Gelecek çalışmalarda bu etkenlerin belirlenmesine yönelik deney tasarımları yapılması hem otobüs işleten kurumların planlamalarında optimizasyon çalışmaları yapabilmeleri için hem de otobüs üreticilerinin tasarımlarını daha verimli hale getirmesi için faydalı olacaktır. Bununla birlikte toplu ulaşım araçları için enerji tüketimi ve hatlar temel alınarak filo takip ve yönetim sistemlerinin geliştirilmesi ile yapay zekâ yardımıyla analizlerin yapılabilmesi konusu da gelecekte üzerinde çalışılması gereken diğer bir alanı oluşturmaktadır.

## 5 Conclusions

In this study, the actual in-service performance averages of the electric buses operated in İzmir were presented along with charge loss measurements for future infrastructure designs, and energy consumption costs were analyzed according to both general and line specific conditions.

It is observed that electric buses can be operated smoothly and efficiently replacing diesel buses in urban public transportation, and also in a very economical way. However, when daily long-distance line planning is required, opportunity charges or larger batteries will be needed.

Moreover, suitability of the reviewed bus models should be taken into consideration for the lines on which the buses will serve. It should be noted that the average speeds on the lines are also an important factor that will affect the range. Although it has a significant advantage in terms of energy cost on the field test carried out on an actual bus line, it is concluded that the electric buses may not replace the diesel buses in the near future since the range is low and may require intermediate charging. But still, electric buses are a very strong alternative to diesel ones for short-range lines or headway plans that have opportunity charging possibility.

It seems that the charge losses are not so significant for the tested electric vehicles, but it will be valuable to consider this situation ahead in the planning of the charging infrastructure. Even if it is not very important for a small set of vehicles, the amount of loss will be considerable for larger fleets. If the electricity requirement is generated from renewable energy resources instead of the current grid, it is possible that the economic advantage of electric buses with respect to diesel alternatives will increase even more. Along with the developing state-of-the-art material and battery technologies, and the positive attitude of the society to preservationist environmental approaches, electric buses are expected to be used more commonly in the upcoming years and will begin to replace diesel buses.



Although daily and line-specific energy consumption was determined in the study, the weights of many factors affecting energy consumption such as traffic congestion, passenger density, air conditioning systems utilization, road surface and geography, and driver performances were not analyzed. In future studies, performing experimental designs to determine these factors will be beneficial for both bus service operators to be able to employ optimization techniques in their planning processes and for bus manufacturers to make their designs more efficient. Moreover, the issue of developing fleet tracking and management systems for public transportation vehicles based mainly on energy consumption levels and service line choices, and incorporating artificial intelligence methods are other noteworthy areas that needs to be studied in the future.

## 6 Kaynaklar

- [1] EU "Covenant of Mayors for Climate and Energy". <https://www.covenantofmayors.eu/en/> (14.06.2019).
- [2] C40 Cities. "Fossil Fuel Free Streets Declaration". <http://www.c40.org/other/fossil-fuel-free-streets-declaration> (31.10.2017).
- [3] İzmir Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı Sağlıklı Kentler ve Temiz Enerji Şube Müdürlüğü. "İzmir Büyükşehir Belediyesi Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı 2016". [http://skpo.izmir.bel.tr/Upload\\_Files/FckFiles/file/izmir\\_surdurulebilir\\_eylem\\_plani\\_2017.pdf](http://skpo.izmir.bel.tr/Upload_Files/FckFiles/file/izmir_surdurulebilir_eylem_plani_2017.pdf) (14.06.2019).
- [4] Konda. "Mart'18 Barometresi-Çevre Bilinci ve Çevre Koruma". İstanbul, Türkiye, Aylık Araştırma Raporu, 2018.
- [5] Gökaşar I, Buran B, DüNDAR S. "Kent içi otobüs memnuniyet anketi verileri ve faktör analizinden yararlanılarak otobüslerin hizmet kalitesinin modellenmesi: İETT örneği". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(6), 1079-1086, 2018.
- [6] Göhlich D, Fay T, Jefferies D, Lauth E, Kunith A, Zhang X. "Design of urban electric bus systems". *Design Science*, 4(15), 2-4, 2018.
- [7] Nurhadi L, Borén S, Ny H. "A sensitivity analysis of total cost of ownership for electric public bus transport systems in Swedish medium sized cities". *Transportation Research Procedia*, 3, 818-827, 2014.
- [8] Rende H, Efecan K, Altındal E. "Hurdaya ayrılmış bir aracın elektrikli araca dönüştürülmesi". *Mühendis ve Makina*, 58(688), 79-94, 2017.
- [9] Gao Z, Lin Z, LaClair TJ, Liu C, Birky AK, Ward J. "Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service". *Energy*, 122, 588-600, 2017.
- [10] Zhou B, Wu Y, Zhou B, Wang R, Ke W, Zhang S, Hao J. "Real-world performance of battery electric buses and their life-cycle benefits with respect to energy consumption and carbon dioxide emissions". *Energy*, 96, 603-613, 2016.
- [11] Çorum A, Akbıyık E, Demir G. "Otobüs yolu uygulamasının ekonomik analizi: millet caddesi örneği" *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(4), 145-151, 2015.
- [12] Lajunen A. "Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses". *Transportation Research Part C*, 38, 1-15, 2014.
- [13] Özuysal M, Çalışkaneli SP, Tanyel S. "Otobüs duraklarındaki yolcu iniş-biniş zamanları üzerine bir tartışma". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 460-467, 2016.
- [14] Sarıkurt T, Balıkcı A. "Elektrikli araç uygulamalarında kullanılan lityum bataryalar için göreceli kapasite tahmin yöntemi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(5), 809-816, 2018.
- [15] Movia. "Copenhagen Trial With 12 m B.Y.D K9 Electric Buses". <https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2018/02/3.-Test-of-large-charged-electric-buses-in-Copenhagen-Victor-Hug.pdf> (08.07.2019).
- [16] Grijalva ER, Martínez JML. "Analysis of the reduction of CO<sub>2</sub> emissions in urban environments by replacing conventional city buses by electric bus fleets: Spain case study". *Energies*, 12(3), 525, 1-31, 2019.
- [17] Güneş D, Tekdemir İG, Karaarslan MŞ, Albayacı B. "Elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin güvenilirlik indisleri üzerine etkilerinin incelenmesi". *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(3), 1073-1084, 2018.
- [18] Raab AFA. Operational Planning, Modeling and Control of Virtual Power Plants With Electric Vehicles. PhD Thesis, Fakultät IV-Elektrotechnik und Informatik, Technischen Universität Berlin, Berlin, Germany, 2018.
- [19] Bozankaya AŞ. "The SCL Charging Process". Ankara, Turkey, Technical Report, 2016.
- [20] Google Earth 9.0. 2017. "Elektrikli Otobüs Hatlarının Çizimleri". <http://www.google.com/earth> (10.12.2019).