

PAPER DETAILS

TITLE: TOPLU ULASIMDA YENILIKÇI GARAJ ISLETTIRME MODELİ İÇİN ELEKTRİKLİ OTOBÜS
KONSEPTİ

AUTHORS: Orhan TOPAL

PAGES: 138-151

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2491996>



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

İstanbul Commerce University Journal of Science

<http://dergipark.org.tr/ticaretfbid>



Araştırma Makalesi / Research Article

TOPLU ULAŞIMDA YENİLİKÇİ GARAJ İŞLETTİRME MODELİ İÇİN ELEKTRİKLİ OTOBÜS KONSEPTİ

ELECTRIC BUS CONCEPT ON INNOVATIVE GARAGE OPERATING BY OUTSOURCE
MODEL FOR PUBLIC TRANSPORT

Orhan TOPAL¹

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1132070>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
otopal@aselsan.com.tr

Geliş Tarihi / Received
16.06.2022

Kabul Tarihi / Accepted
08.12.2022

Öz

Sürdürülebilir ulaşım konseptlerinin ön plana çıktığı günümüzde, kullanılan enerji kaynakları için etkin yönetim ve muhtemel tasarruf potansiyellerine dair birçok yaklaşım sunulmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yayınlanan güncel verilere göre dünya genelinde birincil enerji kaynaklarının yaklaşık %25 ulaşım sektörü tarafından tüketilmektedir. Ayrıca bu sektörde kullanılan akaryakıt miktarlarına bağlı olarak meydana gelen sera gazı salınımı bir önceki yıla göre %7,01 oranında arttığı belirtilmektedir. Bu durum yerel yönetimlerin önemli faaliyet alanlarından olan toplu ulaşım hizmetlerinde; % 100 sıfır emisyon konseptine esas, verimliliği arttıracak farklı yaklaşımların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul'da sunulan lastik tekerlekli toplu ulaşım hizmeti kapsamında mevcut sistemde henüz yer almayan, elektrikli otobüs konseptine dair, yenilikçi bir yaklaşım sunulmuştur. İstanbul, İETT özelinde araç alım ve garaj işletme modellerini esas alan hibrit bir yaklaşımla, konvansiyonel motorlu otobüsler yerine elektrikli otobüslerin kullanımına imkân sağlayacak, referans alınan reel maliyetler doğrultusunda bir model ortaya konulmuştur. Öngörülen hibrit modele esas 1,45 Euro/km birim maliyet ile elektrikli otobüslerle anahtar teslim toplu ulaşım hizmeti sağlanabileceği ortaya konulmuştur. Bu sonuç İstanbul lastik tekerlekli toplu ulaşım sisteminin etkin, verimli, sürdürülebilir bir yaklaşım fırsatı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli otobüsler, elektrikli otobüslü garaj işletme modeli, lastik tekerlekli toplu ulaşım.

Abstract

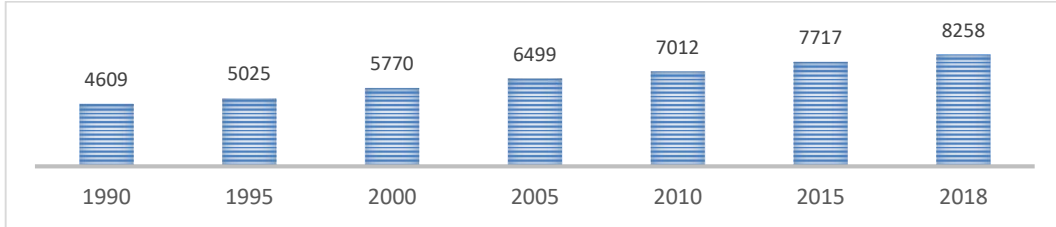
In today's conditions, where sustainable transportation concepts come to the fore, many approaches are presented regarding effective management and possible savings potential for energy resources. According to the current data published by the International Energy Agency, approximately %25 of primary energy resources are consumed by the transportation sector worldwide. In addition, it is stated that greenhouse gas emissions due to the amount of fuel used in this sector increased by %7,01 compared to the previous year. This situation necessitates the development of different approaches that will increase the efficiency based on the %100 zero emission concept in public transportation services, which is one of the important fields of activity of local governments. In this study, an innovative approach to the electric bus concept, which is not yet included in the current system, is included within the scope of the rubber-tyred public transportation service offered in Istanbul. With a hybrid approach based on vehicle purchase and garage operation by outsource models specific to Istanbul, İETT, it is possible to use electric buses instead of buses with internal combustion engines. It has been revealed that turnkey public transportation service can be provided with electric buses with a unit cost of 1.45 Euro/km based on the model predicted in line with the reference costs. This result offers the opportunity for an effective, efficient and sustainable approach to the Istanbul rubber-tyred public transportation system.

Keywords: Electric buses, garage operating by outsource model with electric bus, sustainable rubber-tyred public transport.

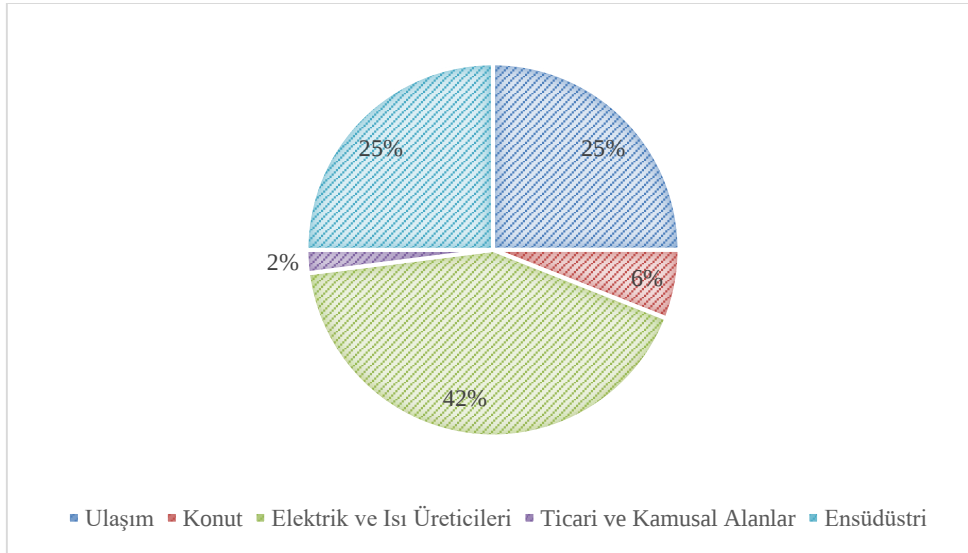
¹Aselsan A.Ş., Ulaşım, Güvenlik, Enerji ve Otomasyon Sistemleri Sektör Başkanlığı (UGES), Ankara, Türkiye.
otopal@aselsan.com.tr, Orcid.org/0000-0003-3857-5689.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde ulaşım kaynaklı emisyon salınımları her geçen yıl artarken bu konuya yönelik farklı alanlarda yenilikçi yaklaşımlar sunulmaktadır. Şekil 1 'de Uluslararası Enerji Ajansı güncel verilerine göre sera gazı emisyon değerlerinin %25'nin ulaşım kaynaklı olduğu ve bu değer 8.258 Mt CO₂ değerine karşılık geldiği bildirilmiştir (IEA 2, 2021). Yürürlüğe alınan delegasyonlar ve anlaşmalar çerçevesinde birçok toplu ulaşım işletmecisi, faaliyet alanlarında bu konuya dair çalışmalar yürütmektedir (Zimmermann ve ark. ,2010).



Şekil 1. Dünyada Ulaşım Kaynaklı Sera Gazı Salınımı (Mt CO₂_2018) (IEA,2021)



Şekil 2. Kaynaklarına göre CO₂ Emisyonlarının Dağılımı (IEA,2021)

İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri (İETT), İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı toplu taşıma hizmeti veren kuruluş olup, sahip olduğu 150 yıllık birikimle dünyanın ve Türkiye'nin önde gelen toplu ulaşım otorite ve işletmecisi olarak ön plana çıkmaktadır. İETT, uzun yıllar geleneksel araç alım ve garaj işletmeciliği çerçevesinde faaliyetlerini yürütmektedir.

İstanbul'da bütün dünyayı etkisi altına alan pandemi öncesi, 2019 yılı verilerini esas alan ortalama günlük yolculuk sayısı 31 milyonu seviyesinin üzerindedir. Buna göre günlük yolculuk sayısının yaklaşık %45'ini yaya yolculuklarından meydana gelmektedir. Bu yolculukların %28'ini toplu ulaşım ile %20 sini özel araçlarla ve son olarak %7'sini de servislerle gerçekleştirilmektedir (İstanbul Yıllık Ulaşım Raporu, 2017). Toplu ulaşım ile yapılan yolculuklarının kendi içinde dağılımına bakıldığında ise karayolu taşımacılığı % 77,1'lik payla ilk sırada yer almaktadır. Bu kategoride İETT toplamda 3.607 adet otobüs ve 2.059.151 yolculukla % 13,4 paya, Özel Halk Otobüsleri 2.154 adet otobüs ve 1.607.036 yolculukla %10,6'lık paya ve İstanbul Otobüs A.Ş ise 985 adet otobüs ve 860.801 yolculukla %5,7'lik paya sahiptir. Son olarak servis, taksi ve dolmuşlarla yapılan yolculuklar ise %40,4 'lük orana karşılık gelmektedir (İETT, 2021).

Dünya genelinde toplu ulaşım sistemlerinde elektrikli otobüslere doğru genel bir eksen kayması söz konusudur. Buna karşın Türkiye’de 2020 yılında yerel yönetimler tarafından gerçekleştirilen ihalelerle toplamda 695 adet (173 adet CNG’li ve 522 adet dizel) içten yanmalı konvansiyonel motorlu şehir içi otobüs alımı gerçekleştirilmesine rağmen hiç elektrikli otobüs alınmamıştır (Topal, 2021). Beraberinde Türkiye’de 30 büyükşehir belediyesi nezdinde yapılan inceleme çeşitli evsafda toplamda yaklaşık 18.000 adet içten konvansiyonel motorlu toplu ulaşım otobüsü kullanıldığı ancak mevcut sistemde henüz sadece 109 adet farklı evsaflarda elektrikli otobüs alınabildiği ortaya konulmuştur (Topal, 2019).

Bu çalışmada, İstanbul toplu ulaşım hizmeti için elektrikli otobüs konseptinin esas alındığı, yenilikçi bir yaklaşım ortaya konulmuştur. İETT özelinde kullanılagelen araç alım ve garaj işletme / işletme modellerinin esas alan hibrit model uyarınca; içten yanmalı konvansiyonel motorlu otobüsler yerine elektrikli otobüs kullanıldığı bütüncül bakış açısı ortaya konulmuştur. Yapılan analizler doğrultusundan öngörülen model için km başına birim fiyat elde edilmiştir.

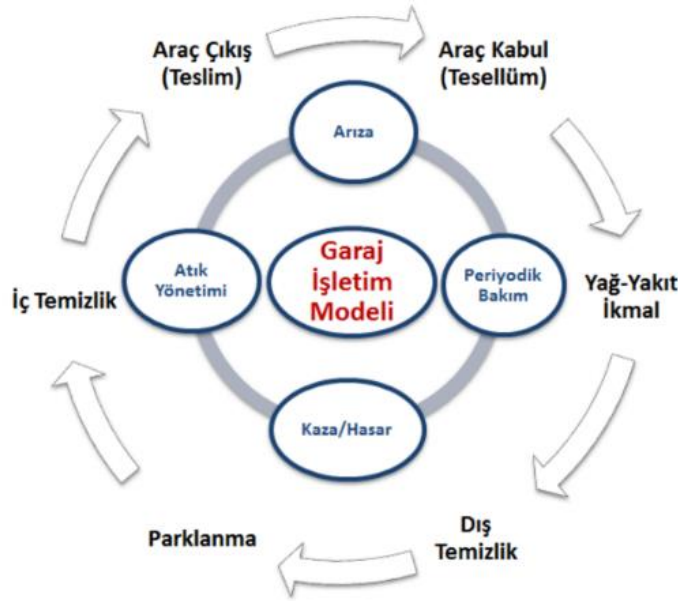
Makaleye konu model için gerçek piyasa koşullarına esas, birim maliyetler kullanılarak yaklaşım sunulmuştur. Kamu İhale Kanunu çerçevesinde gerçekleştirilen İETT ‘ye ait dizel otobüs alım ve garaj işletme / işletme maliyetleri ile ESHOT’a ait elektrikli otobüs alım maliyetleri göz önünde bulundurulmuştur. Söz konusu ihalelerin detayları çalışmanın ilerleyen bölümlerde, dünya genelinde önemli diğer toplu ulaşım otoriteleri tarafından yürütülen farklı modellere ait uygulamalarla birlikte yer verilmiştir. Son kısımda ise makaleye konu olan hibrit yaklaşıma esas matematiksel model ortaya konularak, nihai anlamda İstanbul toplu ulaşımında, yenilikçi garaj işletme modeli için elektrikli otobüs konseptine esas km başına birim maliyet elde edilmiştir.

2.OTOBÜS ALIM VE GARAJ İŞLETME / İŞLETTİRME MODELLERİ

İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü uzun yıllar geleneksel garaj işletmeciliği çerçevesinde yürütülen çalışmalarında ilk olarak 2013 yılında değişikliğe gitmiştir. Öncelikle yeni araç alım modeli ile otobüslere verilen bakım & onarım faaliyetlerinde dış kaynak kullanımına gidilmiş; 2018 yılında da garajlarda yürütülen diğer işletme faaliyetlerinin de (araç bakım & onarım faaliyetlerinin haricindeki diğer revizyon faaliyetleri için) hizmet alımı suretiyle yürütülmesine karar verilmiştir (İETT,2021).

İETT tarafından dünyada ilk olarak 2013 yılında ortaya konulan otobüs alım modeli ile 24 aylık süre zarfında gerçekleştirilen 7 ayrı ihale doğrultusunda, filosuna 1.705 yeni otobüs ilave etmiştir. Toplamda 3 farklı araç üreticisi ile imzalanan sözleşmeler çerçevesinde 5 yıl boyunca, yakıt ve şoför maliyeti dışında hiçbir ilave gider olmaksızın toplu ulaşım araç işletme faaliyetlerin yürütülmesini esas alınan bu yeni otobüs alım modeli öncesi İETT tarafından kendi işgücü ve kaynakları ile yerine getirilen araç bakım & onarım, yedek parça temin/montajı, araçların parklanma ve temizlik hizmeti, servise sunma vb. birçok faaliyet, alım modeli çerçevesinde, aynı zamanda araç üreticileri olan tedarikçiler tarafından yürütülmüştür. İmzalanan sözleşmeler araç bedelleri ile birlikte araçların 5 yıl boyunca tüm bakım & onarım, temizlik, muayene, sigorta, vergi gibi işletmeye esas giderlerini de kapsamaktadır. Söz konusu alım modeli, tedarik edilen yeni araçlar için yine 5 yıl boyunca ihtiyaç duyulan tüm yedek parçaların da temin edilmesini, olası bir kaza durumunda aracın çekiciyle garaja getirilmesi prosesini içermektedir. Ayrıca araçların en az % 95’inin ertesi gün sefere hazır hale getirilmesini zorunlu kılan sözleşme doğrultusunda eksik kalan her bir araç için cezai müeyyideler uygulanmaktadır (İETT 2021, İETT 2018).

Aşağıda yer alan Şekil 3’de 2013 yılında İETT’de araç alım ihaleleri kapsamında uygulanan garaj işletme modeli şematize edilmiştir. Şekilde iç çemberde gündüz gerçekleştirilen süreçler, dış çemberde ise gece gerçekleştirilen süreçler belirtilmektedir.



Şekil 3. İETT'ye Ait Garaj İşletim Modeli

Gece gerçekleştirilen süreçlerde, garaj içerisindeki araçların ertesi gün servise hazırlama işlemleri tesellüm süreci ile başlayıp sırasıyla yakıt ikmal, dış temizlik, parklanma, iç temizlik, hasar bakım, servis karşılama ve son olarak aracın çıkış süreci ile sonlanmaktadır. Modelde, otobüslerin servise hazırlama işlemleri esnasında yapılan fiili kontroller ile çeşitli bakım & onarım işlemleri gerçekleştirilmesini de içermektedir. Gündüz gerçekleştirilen süreçlerde ise araçların periyodik bakım işlemleri, arıza-hasar müdahale işlemleri, garaj içerisindeki işletme faaliyetlerine yönelik diğer işlemler yürütülmektedir. Ayrıca gerekmesi durumunda acil müdahale süreci ile servis sırasında arızalanan ve/veya kaza yapan araçlar için kurulan acil müdahale ekipleri ile olay yerine ulaşma ve müdahale işlemlerinin gerçekleştirildiği (gerekirse otobüsün garaja çekilmesi) faaliyetler bu kapsamda yürütülmektedir (İETT, 2021).

İETT tarafından yapılan otobüs alımlarındaki yaklaşım esas alınarak, İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından benzer şekilde kamu ihale kanunu çerçevesinde gerçekleştirilen 12 m'lik solo elektrikli otobüs alımı yine makaleye konu modelde kullanılan birim maliyetler için referans teşkil etmektedir. Söz konusu ihale kapsamında 20 adet elektrikli otobüs ve işletme gereksinimlerine göre 22 adet şarj istasyonu temin edilmiş; beraberinde 5 yıl boyunca, günlük 250 km esas alan bakım & onarım hizmeti ve yine günlük %90'lık servis garantisi yer almaktadır (ESHOT,2021).

Bunun ile birlikte İETT tarafından ilk bakım & onarım garantili araç alım ihalelerinde sözleşme sürelerinin sonuna gelmesi ile 2018 yılında bu kez yeni garaj işletme modeli ortaya konulmuştur. Toplu ulaşım işletmeciliğinde dünyadaki başarılı örneklerden yola çıkılarak uygulamaya konulan bu yeni işletme anlayışı, lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemlerinde dünya genelindeki önemli şehirlerde faaliyet gösteren işletmeci ve operatörlerin garaj işletme faaliyetleri göz önünde bulundurularak, İETT'ye özgü şekillendirilmiştir.

Dünya geneline bakıldığında lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemlerinde uygulanan garaj işletim modelleri arasında bir yeknesaklık bulunmamaktadır. Uygulamalarda farklılıklar; görev, yetki ve sorumluluk bağlamında garajlarda yürütülen tüm süreçlerin operatörün yönettiği ve uyguladığı konseptten, tamamıyla hizmet alımı şeklinde yürütülen garaj işletme modellerine kadar birçok farklı yaklaşım söz konusudur. Genel manada toplu ulaşımında kullanılan filolardaki araç sayısı, araçların yaşı, araçların yakıt türü, araç aksamalarının arızalanma sıklığı gibi çeşitli nedenlerden ötürü tek tip bir garaj işletme modeli söz konusu olmadığı değerlendirilmektedir. Bu minvalde

operatör/otoritelerin ufak kapasiteli, çok sayıda araç bulunan garajlar ile bazılarının da ise yüksek araç kapasiteli büyük ama az sayıda garaj ile toplu ulaşım işletme faaliyetleri yürüttüğü bilinmektedir (İETT İhale, 2021), (İETT, 2018).

Toplu ulaşım işletme otoriteleri/operatörleri için genel çerçevede garaj işletim faaliyetleri destek, operasyonel ve bakım & onarım olmak üzere 3 temel kategoride yürütülmektedir. Destek faaliyetleri kapsamında yağ/yakıt ikmal, araç temizlik ve ücret toplama sistemlerin faal halde tutulmasına yönelik süreçler yer almaktadır. Operasyonel faaliyetlerde ise servis sırasında olası kaza veya arıza vb. durumlarda araca müdahale edilerek, mümkünse arızanın giderilmesi, mümkün değilse garaja çekilmesi suretiyle işletmeye esas süreçleri kapsamaktadır. Son olarak garaj işletmeye esas en temel fonksiyon olan bakım & onarım faaliyetleri için araçları faal durumda tutmak adına bakım, arıza tespit ve onarım olmak üzere 3 alt unsur nezdinde çalışmalar yürütülmektedir.

Literatürde yer alan garaj işletirme modellerine esas destek, operasyonel ve bakım & onarım faaliyetleri ile ilgili görev, yetki ve sorumlulukların dağılımına dair dünya genelinde seçilen bazı şehirlerdeki toplu ulaşım işletmecilerince yürütülen faaliyet dağılımı göz önünde bulundurularak elde edilen örneklem Tablo 1’de özet halde sunulmuştur. (Basagaña ve ark., 2018), (Göhlich ve ark., 2014), (Alves ve ark. 2012), (Shrivastava ve O'Mahony 2005), (Amador-Jimenez ve Christopher 2016), (Chowdhury ve ark., 2018), (Tirachini ve ark., 2010), (Debnath ve ark., 2014).

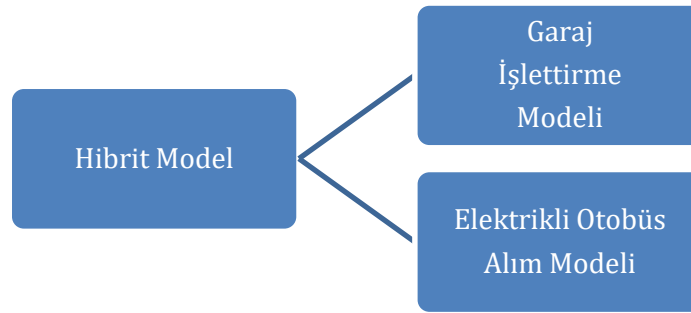
Tablo 1. Dünya Geneli Toplu Ulaşım Otoriteleri/Operatörleri için Garaj İşletme Faaliyetleri Dağılımı

İşletme Konusu	Faaliyet	Barselona	Berlin	Dublin	Lizbon	Madrid	Montreal	Paris	Sydney
Destek	Yağ/Yakıt İkmal	O	T	G	T	G	G	T	G
	Araç Temizliği	G	T	G	T	G	G	T	G
	Ücret Toplama Sistemi	Y	Y	O	T	Y	G	Y	Y
Operasyonel	Acil Müdahale	O	G	G	G	O	G	G	G
Bakım & Onarım	Yenileme	G – T	Y	G	M	G	M	Y	T
	Boya	G – T	M	T	M	G	M	G – M	G – T
	Kaporta	G – T	M	G	G-M-T	G	G	M	G – T
	Motor Rektifiye	G	G	T	M	M	M	T	T
	Lastik	T	T	T	T	G – M	M	M	T
	Fren	M	G	G	G	G – M	M	G	G
	Haberleşme Sistemleri	M	T	T	T	T	M	M – T	G
	Kamera Sistemleri	Y	T	G	T	G	M	G – M	T
	Klima	T	G	G	G – M	G	G	M	T
	Şanzıman	M – T	G	Y	M	M	Y	M	T

Yukarıdaki yer alan Tablo 1 ‘de garaj sorumluluğu (G), operasyon sorumluluğu (O), bakım & onarım sorumluluğu (M) ve hizmet alımı (T) harflerle ifade edilmiştir. Faaliyet yürütülmeyen alanlarda ise (Y) harfi kullanılmıştır.

İETT tarafından garaj işletirme yaklaşımına esas ilk uygulama Kurtköy, sonrasında Ayağaza garajlarında yürürlüğe konulmuştur. Bu model doğrultusunda araçların akaryakıt, bakım & onarım, yakıt/yağ ikmal, temizlik ve diğer servise hazırlama hizmetleri ile otobüslerin kullanımı için şoförlük hizmeti dahil faaliyetler tamamen yükleniciye devredilmiştir. Verilen hizmetin karşılığı olarak yükleniciye modelde esas alınan kilometre başına birim fiyatı ödemesi yapılmaktadır. Söz konusu modelde otobüslerin ve garajların mülkiyeti ile yolculuk gelirleri ise İETT'ye aittir (İETT, 2020).

İETT ve ESHOT tarafından gerçekleştirilen ve detaylarına yer verilen otobüs alım ve garaj işletme/işletirme modelleri esas alınarak, lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemleri için uygulanabilir, elektrikli otobüsleri esas alan holistik yaklaşımla aşağıda yer alan Şekil 4'deki hibrit model ortaya konulmuştur.



Şekil 4. Hibrit Model Yaklaşımı

3. HİBRİT MODELİN YAKLAŞIMI

Bu kısımda ortaya konulan hibrit model kuramı detaylandırılmıştır. Mevcut durumda İETT tarafından garaj işletirme modeli çerçevesinde hizmet sunulan iki garajdan biri olan Kurtköy garajındaki araç ve sefer sayıları ile işletme planları esas alınarak modellemeye örneklem sağlanmıştır. Bu kapsamda Kurtköy garajının mevcut sistemi için tamamen elektrikli otobüslerle müteşekkil bir garaj konsepti öngörüsü ile modele yaklaşım sunulmuştur.

Kurtköy Garajında hizmet veren İETT'ye ait otobüsler için belirlenen 72 hat üzerinde toplamda 1.906 km'lik hizmet ağı söz konusudur. Bu hatlar için ortalama menzil değeri tek yön için 26,5 km olup, toplamda 53 km'lik hat uzunluğu esas alınmıştır. Listedeki en yüksek menzil gereksinimine ihtiyaç duyulan hat tek yön 42.4 km uzunluğu ile 132 D Kurtdoğmuş / Ballica – Kartal hattı olup, iş günlerinde 2 adet 12 m solo otobüs ile toplamda 8 sefer yapılarak hizmet sağlandığı bildirilmiştir (İETT Kurtköy Planlama Hat İşletme Planlanmaları, Ocak –Mart 2019). Kurtköy garajında verilen toplu ulaşım hizmeti kapsamında modele esas en kritik konu, söz konusu hatların, seçilen elektrikli otobüs konseptine uygunluğudur. Zira belirlenecek elektrikli otobüs yapısına göre tercih edilen şarj konsepti, enerji altyapı ve batarya kapasitesi vb. parametrelerin, hizmet verilen hatlara ve hatların işletme planlarına uygunluğu son derece kritik öneme sahiptir.

Öngörülen yaklaşıma referans teşkil etmesi adına ilk olarak kullanılacak elektrikli otobüs konsepti için Kurtköy garajında hizmet veren bütün hatlarda uygunluğu değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda elektrikli otobüsler için yüksek batarya kapasiteli, yavaş şarj konsepti (depoda-geceden şarj) ile düşük batarya kapasiteli, hızlı şarj konsepti (hat başı/sonunda hızlı şarj istasyonu konuşlandırılarak), Kurtköy Garajı sorumluluk sahası için karşılaştırılmıştır. Burada her iki elektrikli otobüs konseptine de ilgili hatların uygun olduğu değerlendirilmiştir. Bu çalışmaya esas analizlerde Türkiye'de bugüne kadar alımı gerçekleştirilen yüksek batarya kapasiteli ve geceden

şarj konseptini esas alan elektrikli otobüsler ile girdi sağlanmıştır. Ancak nihai olarak elektrikli otobüs konseptine göre optimum şarj istasyon ve batarya kapasite hesabı ayrıca ve detaylı olarak göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Türkiye’de toplu ulaşım otoriteleri nezdinden ilk olarak İETT tarafından Kurtköy garajına esas gerçekleştirilen 2018/387031 kayıt numaralı ihalede yer alan parametre ve maliyetler, çalışmaya esas analizlerde göz önünde bulundurulmuştur. Söz konusu ihale 17.252.550 km ‘lik şehir içi toplu taşıma hizmetini 239 adet araç ile sağlanılmasını öngörmektedir. Bu kapsamda şoför, akaryakıt ve madeni yağlar ikmal, bakım & onarım, servise hazırlık faaliyetlerini 01.10.2018 - 30.09.2019 tarihlerini esas alacak şekilde sözleşme imzalanmıştır. İhale kapsamında İETT tarafından belirlenen çalışma çizelge ve işletme koşullarına uygun olarak, İdareye ait toplamda 239 adet 12 m’lik solo otobüslerle Anadolu yakası Kurtköy Garajında, araçların minimum hafta içi 97 %’si, hafta sonu ve resmi tatil günlerinde %88’i ile servis verilmesi istenilmiştir. İşin toplam süresi olan 1 takvim yılı içerisinde hafta içi 218, cumartesi ve pazar 211 araçla, her türlü gider yükleniciye ait olmak üzere, belirlenen km değerinin kat edilmesi hususu sözleşmeye bağlanmıştır. Otobüslerle yapılacak km’ye göre ödemeler aylık olarak gerçekleştirileceği, otobüs ve garajların mülkiyete İETT ait olduğu ifade edilmiştir. Sözleşmeye binaen ortaya çıkan hakedişlere esas ödemeler km başına 0,97 Dolar olduğu toplam ihale bedeli üzerinden hesaplanmıştır (İETT İhale, 2021).

Beraberinde elektrikli otobüse dair birim maliyetler için; İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından gerçekleştirilen 12 m’lik solo elektrikli otobüs alımı ihalesi referans alınmıştır. İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından 2016/147513 ihale kayıt numarası ile gerçekleştirilen Elektrikli Otobüs (Şarj Üniteleri ile Birlikte) Alımı İşi ihalesi kapsamında 20 adet elektrikli otobüs ve işletme gereksinimlerine göre 22 adet şarj istasyonu temin edilmiştir. İmzalanan sözleşmeye göre bir önceki bölümde ifade edildiği üzere elektrikli otobüsler için 5 yıl boyunca 250 km/gün esas alan bakım & onarım maliyetleri ve günlük 90 %’lık servis garantisi dahil edildiği bilinmektedir. Diğer taraftan teknik şartnamede belirtilen işletme koşulları esas alınarak araç başı günlük 250 km menzil sağlanması istenilmiştir.

Bu koşullar doğrultusunda imzalanan sözleşmeye göre araç başı 440.000 Euro maliyet kalemi işbu çalışmaya esas yapılan analizlerde kullanılmıştır (ESHOT İhale, 2021).

Ayrıca Türkiye’de ilk olarak elektrikli otobüslere dair gerçek işletme koşullarını esas alan yaklaşımları literatüre kazandıran, yine İETT nezdinden yürütülen çalışmalar neticesinde elektrikli otobüslerin İstanbul toplu ulaşımının gerçek işletme şartları altında, km başına bakım & onarım ve yakıt (enerji) tüketim maliyetlerinin yol, zaman ve yolculuk koşullarına göre değişimlerinin ölçümleri de bu makale çalışmasında kullanılmıştır (Topal ve ark. ,2018). Diğer taraftan İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından 2017 yılının Nisan ayından itibaren etkin bir şekilde kullanılan elektrikli otobüslere dair elde edilen 4 yıllık gerçek işletme koşullarına sari veriler de göz önünde bulundurulmuştur (Önçağ ve ark. ,2021).

Aşağıda yer alan Tablo 2’de öngörülen hibrit modele esas idare/yüklenici görev, yetki ve sorumluluk dağılımları sunulmuştur. Yapılan analizler de esas alınan ve yukarıda detaylarına yer verilen elektrikli ve dizel otobüs alım ve dizel otobüslerle garaj işletmeye ait dair maliyetler Tablo 3’de yer almaktadır.

Ortaya konulan hibrit yaklaşım için İETT tarafından gerçekleştirilen garaj işletme modeline esas maliyet kalemleri detaylandırılarak, alt bileşenler elde edilmiştir. İhaleye esas imzalanan sözleşme kapsamında yüklenici tarafından İdareye ait Kurtköy Garajında, tahsis edilen otobüslerle İdare tarafından belirlenen güzergâhlarda ve işletme planına uygun olarak toplu ulaşım hizmeti sunulmasını ve işin bitiminde araçların teslim edilmesini kapsamaktadır. Ayrıca sözleşmeye esas otobüslerin periyodik bakımları, arıza/hasar onarımları, garaj içi parklanmaları, araçların servise

hazır olması için yağ/yakıt ikmalleri, iç/dış temizlikleri, gerekmesi durumunda yol yardım hizmeti, garaj açık ve kapalı alanlarının temizlikleri, yakıt dahil her türlü sıvı (madeni yağlar, can suyu, antifriz vb.) ürünlerin tedariki, devamlı suretle tamamlanmasını ile her türlü garaj işletme ve operasyon maliyetlerinin karşılanması model kapsamında yükümlülüklerle dahil edilmiştir. Kurtköy garajında sunulan toplu ulaşım hizmeti, toplamda 239 adet dizel otobüs ile yıllık 17.252.550 km toplu ulaşım hizmeti sağlanması üzerinde kurgulanmıştır. Bu evsafa araç başı günlük ortalama 198 km'lik toplu ulaşım hat planlaması hesaplanmıştır. Kurtköy Garajı, hat işletme planlarına esas alınarak km başına garaj işletirme maliyeti için (1) nolu denklem elde edilmiştir.

$$GKM \times OS \times D \times OP_{iett} \times OppC_{dizel} = M1 \quad (1)$$

Garaj işletirme maliyetine esas (1) nolu denklem için;

GKM araç başı günlük gerçekleştirilen işletme esas (km) cinsinden menzil değerini,
OS işletmeye esas servise verilen 12 m solo otobüs sayısını,
D bir işletme yılı içerisindeki gün sayısını,
 OP_{iett} İETT 'nin Kurtköy Garajındaki araçlar için öngörülen ortalama performans katsayısını,
OppC ise Kurtköy Garajı için belirlenen koşullar altındaki km başına işletirme maliyetini ifade etmektedir.

M1 ise Kurtköy Garajı için 2018/387031 ihale kayıt numarası ile 11.10.2018 tarihinde imzalanan sözleşmeye esas ihale bedelidir. Garaj işletirme maliyeti için ortaya konulan (1) nolu denklem için göre 365 günü esas alan 17.252.550 km'lik işletme planı için öngörülen 239 adet, 12 m 'lik solu dizel otobüs için 0,83 Euro/ km (5,79TL / km) birim maliyet belirlenmiştir. Bu koşullar için araçların 100 % performansla işletildiği yaklaşımı için 198 km/ gün-araç başına menzil değeri hesaplanmıştır.

$$OppC_{dizel} = DC + FOC + M\&R_{C_{dizel}} \times OC \quad (2)$$

Yukarıda yer verilen (2) nolu denklemde ise km başı garaj işletirme maliyetine esas (1) nolu denklem içinde yer alan Kurtköy Garajı için belirlenen koşullar altındaki km başına işletirme maliyeti ($OppC_{dizel}$) ne dair yaklaşımı esas alan maliyetler hesaplanmıştır. Denklemde birim maliyetlere karşılık gelen parametreleri için;

DC, km başına şoförlük hizmet maliyetini,
FOC, akaryakıt (motorin) ve yağ ikmal maliyetini,
M&R C dizel dizel otobüs için km başına bakım & onarım maliyetini,
OC ise km başına diğer işletme maliyetlerini ifade etmektedir.

Hibrit yaklaşıma esas ikincil kuram için ESHOT tarafından gerçekleştirilen 2016/147513 nolu elektrikli otobüs alım ihalesi esas alınarak kurulan Türkiye'nin ilk elektrikli otobüs filosu için 20.07.2016 tarihinde imzalanan sözleşmesine göre 20 adet elektrikli otobüsün, 5 yıl boyunca her türlü bakım & onarım dahil olarak alınması ve ESHOT performans kriterlerine sari işletme koşulları altında toplam 22 adet şarj istasyonu ile günlük en az 250 km 'lik menzil sağlaması istenildiği belirtilmiştir. Buna göre elde edilen (3) nolu denklem için;

$$GKM \times OS \times D \times OP_{eshot} \times OC_{elektrikli} = M2 \quad (3)$$

Elektrikli otobüslere esas (3) nolu denklemde yer alan maliyet parametreleri için;

GKM, araç başı günlük gerçekleştirilen işletme esas (km) cinsinden menzil değerini,

OS, işletmeye esas servise verilen elektrikli otobüs sayısını,
D, bir işletme yılı içerisindeki gün sayısını,
OPeshot, ESHOT ‘un elektrikli otobüsler için öngörülen ortalama performans katsayısını,
OCelektrikli, ESHOT’un belirlenen koşullar altındaki km başına elektrikli otobüs işletme maliyetini,
M2 ise ESHOT tarafından 2016/147513 ihale kayıt numarası ile 03.06.2016 tarihinde gerçekleştirilen ihale bedelini ifade etmektedir.

$$OC_{elektrikli} = FOC + M\&R_{elektrikli} \times OC \quad (4)$$

Yukarıda yer verilen (4) nolu denklem için ESHOT’un belirlenen koşullar altındaki km başına işletme maliyeti ($OC_{elektrikli}$) hesaplanmıştır. Önceki yaklaşımdan farklı olarak ESHOT’un aldığı elektrikli otobüsler için imzalanan sözleşme çerçevesinde, ilgili teknik şartnameye esas km başına elektrikli otobüs işletme birim maliyetleri elde edilmiştir. Bu kapsamda km başına elektrikli otobüs işletme maliyeti için;

$OC_{elektrikli}$, elektrikli otobüs için km başına toplam işletme maliyetini,
FOC, elektrikli otobüs için km başına enerji tüketim maliyetini,
M&R $OC_{elektrikli}$, elektrikli otobüs için km başına bakım & onarım maliyetini,
OC, elektrikli otobüs için km başına diğer işletme maliyet değerini ifade etmektedir.

Nihai olarak İETT ve ESHOT tarafından imzalanan sözleşmeler doğrultusunda, gerçek maliyet kalemleri baz alınarak ortaya konulan hibrit model yaklaşımı için (5) nolu denklem ortaya konulmuştur. Buna göre yukarıdaki denklemlerde elde edilen değişkenler göz önünde bulundurularak; elektrikli otobüslerle sunulacak anahtar teslim toplu ulaşım hizmeti için km başına birim maliyet elde edilmiştir. Öngörülen dinamik modele esas nihai işletme planlaması için İETT Kurtköy Garajının mevcut koşulları esas alınmıştır. Buna göre;

$$GKM \times FOC \times D \times OP_{iett} \times [DC + EC + M\&RC_{elektrikli} \times OC] = M3 \quad (5)$$

GKM, araç başı günlük gerçekleştirilen işletme esas (km) cinsinden menzil değerini,
OS, işletmeye esas servise verilen elektrikli otobüs sayısını,
D, bir işletme yılı içerisindeki gün sayısını,
OP_{iett}, İETT için Kurtköy Garajı İşletme planına esas elektrikli otobüslerle öngörülen ortalama performans katsayısını,
DC, km başına şoförlük hizmet maliyetini,
FOC, elektrik enerji birim maliyetini,
M&R $OC_{elektrikli}$, elektrikli otobüs için km başına bakım & onarım maliyetini,
OC, elektrikli otobüsler için km başına diğer işletme maliyetlerini,
M3 ise İETT Kurtköy Garaj İşletme koşulları için elektrikli otobüslerle verilecek anahtar teslim toplu ulaşım hizmet maliyetini ifade etmektedir.

Tablo 2. Toplu Ulaşım İşletmelerinde Kullanılan Model Yaklaşım Faaliyet Dağılımı

Konsept	Araç Türü	Garaj	Araç	Şoför	Bakım & Onarım	Değerlendirme
Garaj İşletme Modeli (İETT)	DİZEL	İDARE	İDARE	HİZMET	HİZMET	HİZMET
Araç Alım Modeli ¹ (İETT)	DİZEL	İDARE	TEDARİK	İDARE	HİZMET	HİZMET
Araç Alım Modeli ² (ESHOT)	ELEKTRİKLİ	İDARE	TEDARİK	İDARE	HİZMET	HİZMET
Öngörülen Hibrit Model	ELEKTRİKLİ	İDARE*	TEDARİK	HİZMET	HİZMET	HİZMET

Tablo 3. Modellerde Kullanılan Faaliyetler ve Model Parametreleri

Konsept	Araç Türü	Gerçekleşen km/gün-araç (TOPLAM)	Araç Sayısı	Ödeme - km başına-	Sübvansiyon	Araç Maliyet	Garaj	Şoför	Bakım & Onarım †	Yakıt / Yağ İkmal	Araç Temizlik	Acil Müdahale
(1) Garaj İşletme Modeli	Dizel	198	239	0,97 \$	YOK	YOK	İDARE	YÜKLENİCİ	YÜKLENİCİ	İDARE	YÜKLENİCİ	YÜKLENİCİ
(2) Araç Alım Modeli	Elektrikli	250	20	YOK	YOK	440.000 Euro ‡	İDARE	İDARE	YÜKLENİCİ	İDARE	YÜKLENİCİ	YÜKLENİCİ
(3) Hibrit ** Model	Elektrikli	200	239	YOK	VAR	0	İDARE	YÜKLENİCİ	YÜKLENİCİ	YÜKLENİCİ	YÜKLENİCİ	YÜKLENİCİ

* Sadece bina ve fiziki alanları İdare sağlayacak olup, özellikle şarj altyapısı için tedarikçi hizmet alınmak suretiyle faaliyetler yürütülecektir.

† Boya, kaporta, motor rektifiye, lastik, fren, haberleşme sistemleri, kamera sistemleri, klima, şanzıman vb. sistemler bakım & onarım kapsamında değerlendirilmektedir.

‡ 5 yıl boyunca bakım & onarım dahil maliyetidir.

§ İhale kapsamında toplamda 22 adet şarj istasyon kurulumu yer almaktadır.

** Kurtköy Garajı ha işletme planlaması esas alınarak modelleme gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda (1) ve (2) nolu denklemler için M1 maliyeti esas alınarak dizel otobüslere dair garaj işletme maliyetleri içerisinde şoför, yakıt/yağ ikmal, bakım & onarım maliyeti (dizel otobüslere esas) ve diğer işletme maliyetleri için km araç başına 0.83 Euro hesaplanmıştır. Ayrıca (3) ve (4) nolu denklemler için ise M2 maliyeti esas alınarak elektrikli otobüslerin maliyeti dahil 5 yıl boyunca elektrikli otobüsler için bakım & onarım maliyeti ve diğer işletmeleri için araç başına 0.96 Euro/km olarak hesaplanmıştır. Buradan kurulan yaklaşım ile elektrikli otobüsler için toplamda 5 yılı esas alan bakım & onarım maliyeti için diğer işletme maliyetleri dahil olmak üzere araç başına 0.12 Euro/km değeri modeled kullanılmıştır. Maliyetlere esas alt bileşenlerden km başına şoför maliyetini hesaplamak için dizel otobüsler için belirlenen ortalama bazda bakım & onarım maliyeti için 0,10 Euro/km ve yine dizel otobüsler için ortalama akaryakıt (motorin) tüketimi olan 0,33 Euro/km esas alınarak ortalama 0.40 Euro/km elde edilmiştir. Diğer taraftan (3) ve (4) nolu denklemler için M2 maliyetine esas elektrikli otobüsler için enerji tüketim maliyeti 0.08 Euro/km; elektrikli otobüs maliyeti (12 m solo) ile 5 yılı esas alan bakım & onarım maliyeti ve diğer işletme giderleri ise 0,96 Euro / km (günlük 250 km menzil koşulları için) olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bütün veriler kullanılarak (5) nolu denklem için İETT Kurtköy Garajı işletme planlarını esas alan elektrikli otobüs işletme maliyeti araç başı 1.45 Euro / km olarak ortaya konulmuştur. Burada şoför maliyeti, elektrikli otobüsler için enerji maliyeti (elektrik) ve bakım & onarım maliyeti son olarak da diğer işletme maliyetlerini kapsayan anahtar teslim toplu ulaşım işletmesi yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu koşullar altında 1 yıllık Kurtköy Garajı işletme planını baz alınarak, toplam maliyet 25.016.197,50 Euro olarak hesaplanmış; 239 adet elektrikli otobüs ile yapılması durumunda 1.437.713 km toplu ulaşım hizmeti için 2.084.683,13 Euro aylık hakediş ödemesi gerektiği belirlenmiştir.

Model nezdinde 3 ila 5 yıllık toplam sözleşme süreleri esas alınarak sunulan yaklaşımlarda, analiz çalışmaları için kamu ihale kanunu sınır değerleri ve yerel yönetimler için belirlenen standart seçim dönemleri esas alınmıştır. Model çerçevesinde özellikle 5. yılın sonunda otobüslerin ilgili İdareye verilmesini öngörülürken, uzun dönemli ve hizmet endeksli bir elektrikli otobüs tedarik yöntemi olarak da literatüre kazanım sağlanılmıştır.

4. SONUÇLAR

İstanbul özelinde geliştirilen hibrit model, lastik tekerlekli kamu toplu ulaşım sistemleri için elektrikli otobüs konseptini esas alan bütüncül bakış açısına sahip, sıfır emisyonlu ve sürdürülebilir toplu ulaşım yaklaşımı geçerli kılmaktadır.

Referans alınan İETT ve ESHOT 'a dair maliyetler ve öngörülen İETT toplu ulaşım işletme planı örneklemini için 1,45 Euro/km birim maliyet ile elektrikli otobüslerin baz alındığı anahtar teslim toplu ulaşım hizmeti sağlanabileceği ortaya konulmuştur. Bu sonuç İstanbul lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemi için etkin, verimli ve sürdürülebilir bir yaklaşım fırsatı sunmaktadır.

Elektrikli otobüslerle anahtar teslim toplu ulaşım işletme anlayışını esas alan model mevcut durumda filolarında elektrikli otobüs bulunmayan İETT ve EGO gibi toplu ulaşım otoriteleri için farkındalık sağlamak adına önem teşkil etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada sunulan destekten ötürü İETT Genel Müdürlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Alves, D., Martinez, L. M., & Viegas, J. M. (2012). Retrieving real-time information to users in public transport networks: an application to the Lisbon bus system. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54, 470-482.
- Amador-Jimenez, L., & Christopher, A. (2016, August, 20-22). *A comfort index for public transportation: Case study of Montreal*. In 2016 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), IEEE, 3-7.
- Baracli, H. (2012). Türkiye’de Toplu Taşımacılıkta Bir Öncü Kuruluş: İETT (İstanbul Elektrik, Tramvay, Tünel İşletmeleri) XIX. Yüzyıl. *Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 3, 19-40.
- Basagaña, X., Triguero-Mas, M., Agis, D., Pérez, N., Reche, C., Alastuey, A., & Querol, X. (2018). Effect of public transport strikes on air pollution levels in Barcelona (Spain). *Science of the total environment*, 610, 1076-1082.
- Chowdhury, S., Hadas, Y., Gonzalez, V. A., & Schot, B. (2018). Public transport users' and policy makers' perceptions of integrated public transport systems. *Transport Policy*, 61, 75-83.
- Debnath, A. K., Chin, H. C., Haque, M. M., & Yuen, B. (2014). A methodological framework for benchmarking smart transport cities. *Cities*, 37, 47-56.
- ESHOT Genel Müdürlüğü, (2022). Elektrikli Otobüs (Şarj Üniteleri İle Birlikte) Alımı İşi İhale Dosyası, Kamu İhale Kurumu İhale Sorgulama sayfası <https://www.kik.gov.tr/ihalesorulama> adresinden 05 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- Göhlich, D., Kunith, A., & Ly, T. (2014). Technology assessment of an electric urban bus system for Berlin. *WIT Trans. Built Environ*, 138, 137-149.
- İstanbul Yıllık Ulaşım Raporu (2017). İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Toplu Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü https://tuhim.ibb.gov.tr/media/2171/%C4%B0bb-ula%C5%9Fim-raporu-2017-tr_son.pdf adresinden 25 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.
- İETT (2017). İETT İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2017 Faaliyet Raporu, adresinden 15 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- İETT (2019). Kurtköy Planlama Hat İşletme Planlanmaları Ocak –Mart, İETT, İstanbul.
- İETT (2021). Toplu Ulaşımında Modlar Arası Entegrasyon Vizyonu Ortak Akıl Konferansı Sonuç Raporu. *İETT*, İstanbul.
- İETT (2022). İşletmeleri Genel Müdürlüğü Kurumsal Bilgiler, <https://iett.istanbul/tr> adresinden 05 Kasım 2022 tarihinde alınmıştır.

- İETT İhale (2022). İETT Genel Müdürlüğü Kurtköy Garajı İşletirme İhale Dosyası Kamu İhale Kurumu İhale Sorgulama sayfası <https://www.kik.gov.tr/ihalesorulama> adresinden 10 Kasım 2022 tarihinde alınmıştır.
- Karakaya, Z. Ö. (2020). *Büyükşehir belediyelerinde lastik tekerlekli ulaşımda hakediş modeli: İstanbul örneği* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Önçağ, A. Ç., Üzkat, H., Yeşil, Z. C., & Eliyi, U. (2021). Elektrikli otobüsler üzerine karşılaştırmalı bir değerlendirme: İzmir şehir içi saha analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 43-51.
- Shrivastava, P., & O'Mahony, M. (2005). Modeling an integrated public transportation system-a case study in Dublin, Ireland. *European Transport\Trasporti Europei*, 41(41), 28-46.
- The International Energy Agency, (2022). Data and Statistics, IEA CO₂ Emissions from Fuel Combustion <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/co2-emissions-statistics> adresinden 05 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Tirachini, A., Hensher, D. A., & Jara-Díaz, S. R. (2010). Comparing operator and users costs of light rail, heavy rail and bus rapid transit over a radial public transport network. *Research in transportation economics*, 29(1), 231-242.
- Topal, O. (2019). Türkiye Toplu Ulaşım Sisteminde Elektrikli Otobüsler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 155-167.
- Topal, O., & Nakir, İ. (2018). Total cost of ownership based economic analysis of diesel, CNG and electric bus concepts for the public transport in Istanbul City. *Energies*, 11(9), 2369.
- Topal O. (2021). İstanbul Lastik Tekerlekli Toplu Ulaşım Sistemlerinde Özel Halk Otobüsleri için Elektrikli Otobüs Konsepti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 968–973.
- Zimmermann, M., Van Begin, G., & Cristóbal, I. V. (2010). The International Local Government Climate Roadmap. Local Governments and Climate Change, Dordrecht, Heidelberg, London and New York, *Springer*, 79-89.