



Elektrikli Otobüslerin Hızlı Şarj Sistemlerinde Kullanılan Pantograf Yapıları

Orhan Topal*

ASELSAN A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3857-5689), otopal@aselsan.com.tr

(İlk Geliş Tarihi 09 Haziran 2020 ve Kabul Tarihi 10 Ekim 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.750221)

ATIF/REFERENCE: Topal, O. (2020). Elektrikli Otobüslerin Hızlı Şarj Sistemlerinde Kullanılan Pantograf Yapıları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 93-100.

Öz

Elektrikli araçların her alanda yaygınlaşması ile birlikte sektörün doğrudan ilintili olduğu şarj sistemi ve beraberindeki altyapı unsurlarında hergeçengün yeni gelişmeler yaşanmakta ve alternatif çözümler ortaya konulmaktadır. Dünya genelinde elektrikli araçların yaygınlaştığı en önemli kulvar şüphesiz elektrikli otobüs sektörüdür. Elektrikli otobüs genel tanımı içerisinde literatür baz alındığında bataryalı elektrikli otobüslerin haricinde trolleybüsler, plug in hibrit otobüsler ve de yakıt hücreli elektrikli otobüsler olmak üzere farklı kategorilerdeki konseptler de değerlendirilmektedir. Bu çalışmada dünya genelinde en çok kullanılan bataryalı elektrikli otobüs konseptine sari hızlı şarj sistemleri ele alınmıştır. Özellikle Avrupa genelinde yaygın olarak kullanılan patograf tipi hızlı şarj sistemlerine dair çok yönlü karşılaştırmalar yapılmış, ülkemizde olası yeni kurulacak elektrikli otobüs filoları için farkındalık sağlanılması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli otobüsler, hızlı şarj sistemleri, pantograf konseptleri.

Pantograph Structures on Fast Charging Systems Used in Electric Buses

Abstract

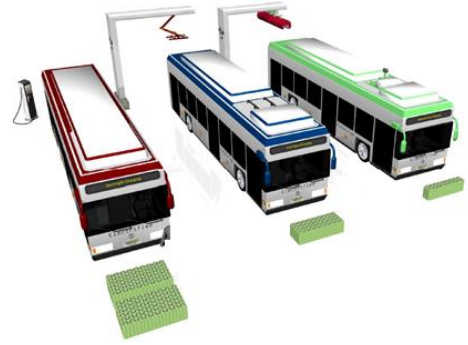
With the widespread use of electric vehicles in all areas, developments in the charging infrastructure sector, where the industry is directly related, accelerate and various alternative solutions are offered. Undoubtedly, the most important lane in which electric vehicles with rising trends spread across the world is the electric bus industry. Based on the literature within the general definition of the electric bus, it is seen that the vehicle concepts in different categories such as trolleybuses, plug-in hybrid buses and fuel cell electric buses are taken into consideration. In this study, fast charging systems wrapped in the battery-powered electric bus concept, which are the most widely used worldwide, are discussed. It is aimed to raise awareness for possible new electric bus fleets to be established in our country, versatile comparisons have been made of pathograph type fast charging systems, which are widely used throughout Europe.

Keywords: Electric buses, fast charging systems, pantograph concepts.

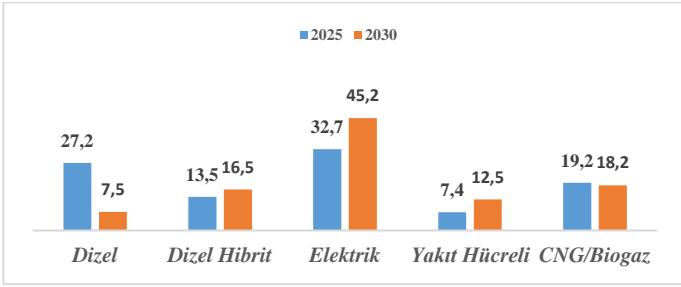
* Sorumlu Yazar: otopal@aselsan.com.tr

1. Giriş

Literatürde yer alan çeşitli çalışmalar ve pazar araştırma raporlarına göre Avrupa'da kamu ve özel toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan otobüsler için 2025 ve 2030 trendlerinin, araç bazlı öngörülmesi Şekil 1'de sunulmuştur. Bu kapsamda bataryalı elektrikli otobüslerin 2025 itibari ile mevcut otobüs filolarının içerisinde % 32,7'sine ve 2030 yılında ise % 45,2'sine karşılık gelmesi beklenirken; diğer taraftan ise toplu ulaşım hizmetlerinde kullanılan dizel otobüslerin ise 2020 yılında % 47,7 oranından 2030' gelindiğinde % 7,5 seviyelerine gerilemesi öngörülmektedir [1][4][5][11].



Şekil 2- Şarj Konseptine göre Elektrikli Otobüsler



Şekil 1. Avrupa'da Otobüslerin Ana Tahrik Sistemine göre Değişim Trendi

Bataryalı elektrikli otobüslerin, şehirlerdeki artan çevre sorunlarını hafifletmek adına otobüs filoları için ümit verici bir alternatif olarak kabul edildiği bu manada kesintisiz hizmet sağlamasına yardımcı olmak için bataryalı elektrikli otobüslere hızlı şarj teknolojisi getirildiği belirtilmektedir. Genel fikir birliği, hızlı şarjın yüksek elektrik talep ücretlerine yol açabileceği ve dolayısıyla elektrikli otobüs sistemlerinin rekabet gücünü tehlikeye atabileceği yönündedir [12].

He.Y ve arkadaşları tarafında yapılan çalışmada, bataryalı elektrikli otobüs sistemleri için hızlı şarj istasyonlarının elektrik talep ücretlerini de içine alan çok yönlü optimizasyon sonuçlarına yer verilmektedir. İlgili çalışmada otobüs bataryalarının, hızlı şarj istasyonlarının, enerji depolama sistemlerinin ve elektrik talep ücretlerinin toplam maliyetini en aza indirmek amacıyla geliştirilen modele dair detaylara yer verilmiştir [13].

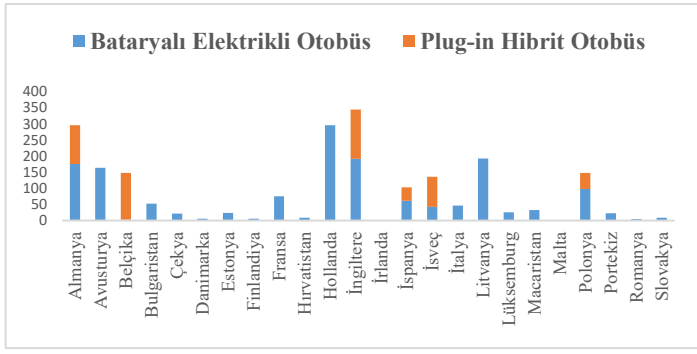
Hızlı şarj istasyonları, elektrikli aracın (EV) halk tarafından kabulü için çok temel bir bileşen olarak görülmektedir. Şarj istasyonu geliştirilmesi konusunda teknolojik yenilikler temel manada yasal düzenlemelerle de ilgilidir. Barzani S.P ve diğerleri tarafından hazırlanan çalışmada, hızlı şarj istasyonlarının en iyi şekilde yerleştirilmesi ve boyutlandırılması için optimizasyon yaklaşımı sunulmaktadır [14].

Bütün dünya genelinde 2018 yılı verilerine göre çeşitli konseptlerden olmak üzere 157.000 adet elektrikli otobüs için şarj istasyonu kurulmuş ve gerçekleştirildiği, bunlardan 153.000 adedinin sadece Çin'de olduğu belirtilmektedir. Yaklaşık olarak 3.000 adedinin Avrupa'da yer aldığı elektrikli otobüsler için kurulan şarj istasyonlarında farklı çözümler geliştirildiği bilinmektedir [2][4][11].

Özellikle şehiriçi toplu ulaşım sistemlerinde kullanılan elektrikli otobüsler için öngörülen 3 ana tür şarj konsepti bulunmaktadır. İlk olarak dünya genelinde en yaygın olarak tercih edilen geceden şarj olma esasına dayanan yöntem olan yavaş şarj konsepti olup, özellikle Çin'de en çok tercih edilen yöntem olarak literatürde yer almaktadır [2]. Daha yüksek batarya kapasitesi ve daha düşük şarj sistem ve altyapı kapasitesi gereksinimi duyulan bu konseptte, genellikle toplu ulaşımında kullanılan elektrikli otobüslerin geceleri revizyon gereksinimleri sırasında şarj olması prensibi esas göz önünde bulundurulmaktadır. Bu konseptte şarj sistemleri ve otobüsler için sağlanan enerji maliyetleri düşük iken kullanılan yüksek kapasitedeki bataryalardan dolayı araç maliyetleri artmaktadır.

Diğer bir konsept olan hızlı şarj sistemleri için ise gerekli altyapı kurulum maliyeti oldukça yükselmekte, ancak araçların hızlı şarj olma kabiliyetine sahip olmasından dolayı da gerekli olan batarya kapasitesi azalmakta dolayısı ile batarya maliyetleri de düşmektedir.

Hızlı şarj sistemleri de literatürde kendi aralarında 2'ye ayrılmaktadır. İlki daha düşük menzil kapasiteli ve duraklarda şarj olma esasına dayanan ultra hızlı şarj sistemleri olup, durak bazlı şarj altyapısı gerektirirken, düşük batarya kapasitesi gereksinimleri ile kısa sürelerde, duraklardaki yolcu indirip/bindirme süresi içerisinde bataryaların doldurabilmesi mümkün kılınabilmektedir. Diğer hızlı şarj konsepti ise genellikle ilk ve son duraklarda konuşlandırılan şarj altyapı unsurları ile elektrikli otobüslerin işletme döngüleri içerisinde bir tam turunu tamamlanmasına imkân sunacak şekilde sistem çözümü sağlamaktadır. Bu farklı şarj konseptleri esas alındığında duraklarda kurulan sistemlerde -ultra hızlı şarj sistemi olarak da adlandırılmaktadır- gerekli araç topolojisi ve ilgili altyapı maliyeti göz önünde bulundurulduğunda en yüksek maliyetli seçenek olup, araç bazlı batarya kapasitesi yönünden ise makul maliyet perspektifi sunmaktadır. Diğer bir seçenek olan hızlı şarj sistemi ise filo bazında yapılacak karşılaştırmada ultra hızlı şarj sistemine göre, şarj istasyon ve altyapı maliyeti yönünden ekonomik olmakla birlikte araç bazında yavaş şarj sistemleri karşılaştırıldığında daha fazla maliyet gerektirmektedir. Ayrıca kullanılan enerji maliyetlendirmesi için geceden şarj konseptine sari yavaş şarj sistemlerinde elektrik birim fiyatlarında gece puant tarifesinden yararlanılmasından ötürü farklı bir fayda teşkil edilmesi söz konusu olmaktadır.



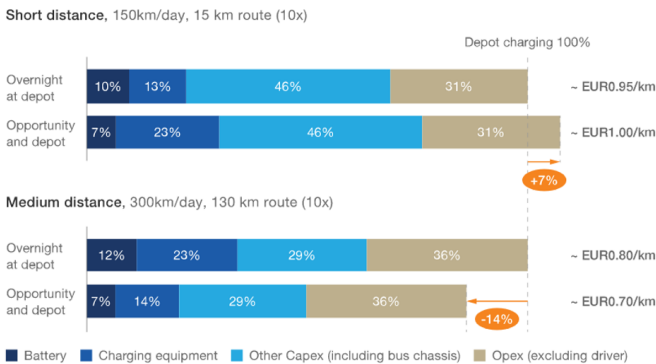
Şekil 3- Avrupa'da Toplu Ulaşım Hizmetlerinde Kullanılan Elektrikli Otobüs Sayıları

İngiltere'nin otomotiv sektöründe faaliyet gösteren Alexander Dennis Şirketi tarafından hazırlanan çalışmaya göre 2017 yılında Avrupa genelinde yer alan 980 adet elektrikli otobüsün toplam otobüs filolarının % 1,6 'sına karşılık geldiği belirtilmiştir. Toplam 687 adet² bataryalı elektrikli otobüsden; 58 adedinin plug-in hibrit model elektrikli otobüslerden ve son olarak 235 adedinin ise trolleybüslerden meydana geldiği belirtilmektedir. Bunlardan %56 'sı garajlarda geceden şarj konseptine sarı iken, % 44'ünün ise hızlı şarj konsepti ile faaliyet gösterdiği belirtilmektedir [2][4][11].

Bu anlamda elektrikli otobüslerde tercih edilen şarj sistemleri için dünya geneli göz önünde bulundurulduğunda ise 2018 yılında %52 oranla geceden uzun şarj konseptinin ön plana çıktığı görülmekte, onu filo bazında % 40 oranla depo ve hızlı şarj konseptlerinin bir arada kullandığı sistemler takip etmekte ve son olarak da % 8 oran ile sadece hızlı şarj sistemlerinin kullandığı konseptler gelmektedir. Burada en önemli etken dünyada kullanılan elektrikli otobüslerin % 90 'ından fazlasının Çin'de yer alması ve Çin'li üreticilerinin geceden şarjlı yöntemi benimsemesi olarak gösterilebilmektedir. [4] [6].

olma maliyetlerini esas alan yaklaşıma göre geceden şarj etme yönteminin km bazında hızlı şarj yöntemlerinden 0,05 Euro daha ekonomik olduğu; günlük 300 km işletme koşullarında ise bu farkın 0,1 Euro daha fazla maliyet gerektirdiği görülmektedir. Günlük ihtiyaç duyulan menzil değeri arttıkça, gereksinim duyulan batarya maliyeti armaktadır. Burada temel unsur hızlı şarj sistemleri kullanılarak ihtiyaç duyulan toplam araç bazlı batarya miktarları azaltılarak, toplam sahip olma maliyetlerde avantaj sağlanabileceğidir [5].

Avrupa'nın 90 şehri üzerinde gerçekleştirilen, yaklaşık 750 adet elektrikli otobüsün referans alındığı başka bir çalışmada ise, söz konusu kullanılan şarj sistemlerinin %90'nın da geceden yavaş şarj sistemlerinin tercih edildiği görülmektedir. Aşağıda yer verilen Tablo 1'de, filoda 20'nin üzerinde elektrikli otobüs bulunan işletmeler için kurulan şarj istasyon türlerine yer verilmiştir [6]. Burada yer alan hızlı şarj sistemlerinde pantograf tipi şarj sistemleri tercih edilmiştir.



Şekil 4- Şarj Sistemlerine göre TSOM Analizi [5]

Diğer taraftan literatürde incelenen elektrikli otobüslerde toplam sahip olma maliyetleri yaklaşımlarında şarj sistemlerinin oldukça etkili olduğu görülmektedir [2]. Şarj sistem konseptlerine dair farklı seçenekleri göre maliyetlerin değiştiği belirtilmektedir. Yukarıda verilen grafikte elektrikli otobüslerle gerçekleştirilen bir çalışma sonuçları yer almaktadır. Günlük 150 km menzil koşullarında, 15 km'lik bir hattın esas alındığı işletme şartlarından elektrikli otobüsler için, içerisinde batarya, şarj istasyonu, araç şasisi ve de işletmeye sarı diğer unsurların yer aldığı toplam sahip

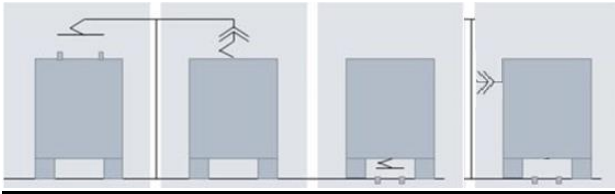
² Bu sayının içerisinde yakıt hücreli elektrikli otobüsler de dâhildir.
e-ISSN: 2148-2683

Tablo 1. Dünya Geneline Kullanılan Bazı Büyük Elektrikli Otobüs Filolarında Kullanılan Şarj Sistemleri

Ülke	Şehir	Araç Sayısı	OEM	Şarj Sistemi
Şili	Santiago	100	BYD	Garajda Geceden Şarj
Şili	Santiago	100	Yutong	Terminalde Hızlı Şarj
Hindistan	İndore	40	Tata	Rota üzerinde Hızlı Şarj
Hindistan	Kolkata	40	Tata	Garajda Geceden Şarj
Hollanda	Leiden	23	Volvo	Terminalde Hızlı Şarj
İngiltere	Nottingham	45	Optare	Terminalde ve Garajda Şarj
Fransa	Paris	23	BlueBus	Garajda Geceden Şarj
Hollanda	Schipol	100	VDL	Terminalde ve Garajda Şarj
Çin	Shenzhen	>16000	BYD, Nanjing, Golden Dragon	Garajda Geceden Şarj

2. Hızlı Şarj Sistem Yapıları

Elektrikli otobüsler için kullanılan hızlı şarj sistemleri için kullanıcılar nezdinde karşılaştırılabilecek temel husus şarj sistemi ile elektrikli otobüsün bataryası arasında enerji akışının sağlandığı pantograf yapılarının farklılığıdır. Bu anlamda sektörde şarj sistemi için sağlanan kontak noktasının esas alındığı 4 farklı elektrikli otobüs şarj konsepti bulunmaktadır.



Şekil 5. Kontak noktalarına göre hızlı şarj sistemleri

Elektrikli otobüs sektöründe hızlı şarj sistemlerine dair sunulan çözümler incelendiğinde; genel manada firmaların anahtar teslim olarak çözümler üzerinde hizmet verdiği görülmektedir. Bu kapsamda uluslararası sektöre incelendiğinde ABB, Heliox, Opbrid ve Siemens başta olmak üzere bu alanda kullanılan farklı yaklaşımlar göze çarpmaktadır.

Çalışmada elektrikli otobüslerde kullanılan hızlı şarj konseptlerinde yaygın olarak kullanılan pantograf yapıları hakkında çok yönlü olarak karşılaştırılma yapılmıştır. Bu minvalde elektrikli otobüslerde kullanılan hızlı şarj sistemlerinde tercih edilen pantograf yapıları 2'ye ayrılmaktadır. İlki elektrikli otobüs için gerekli olan enerjinin şebeke ya da sistemden bataryaya aktarımını sağlayan pantograf yapısının araca dâhil olduğu; ikincisi ise pantograf yapısının şarj istasyonuna dâhil olduğu sistem yaklaşımlarıdır. Bu anlamda pantograf yapısının araca dâhil olduğu ilk yaklaşım on board ya da roof mounted olarak; pantograf yapısının sistemin şarj istasyonuna dâhil olduğu diğer konseptte inverted pantograf olarak nitelendirilmektedir.



Şekil 6. Farklı Marka ve Modellere ait Inverted & On-board Pantograf Sistemleri

Şarj sistemi çözümü sunan firmaların portfolyosu incelendiğinde güç aktarımı sağlanan pantograf yapısı ve bileşenlerinin farklı tedarikçiler üzerinden sağlandığı görülmektedir. Bu doğrultudan yapılan sektör incelemelerinde pantograf ürünleri için Shunk, Stemann - Technik, Furrey-Frey, Ekoenergetyka ve Saubli firmalarının ön plana çıkmaktadır. Bu ana firmaların, sunulan hızlı şarj konseptine dair sistemler için çözüm ortağı olarak hizmet sunduğu bilinmektedir. Örneğin sektörün en bilindik şarj istem çözüm sağlayıcılarından Heliox pantograf çözümlerinde Shunk'ı; Opbrid firması Furrey-Frey'i, benzer şekilde Siemens firması ise pantograf çözümünde Stemann - Technik'i tercih etmektedir.

Sektörde gerçekleştirilen hızlı şarj çözümlerinde kullanılan pantograf türleri incelendiğinde, firmalar tarafından ağırlıklı olarak inverted pantograf çözümler sunulduğu görülmektedir. Bu doğrultuda hızlı şarj çözümlerinde kullanılan pantograf çözümlerinin değerlendirilmesi adına sektörel bazda ürün sunan firmalara ait şarj sistemlerinin detaylı karşılaştırmalarına yer verilmiştir. Nihai olarak özellikle 2 farklı tür pantograf seçeneği sunan Shunk firmasına ait ürünler baz alındığı ve optimum çözüm seçeneklerine yer verilen yaklaşım sunulmuştur.



Şekil 7. Inverted & On-board Pantograf Sistemleri

Tablo 2. Farklı Marka modellere göre Pantograf Sistemleri

Marka	Model	Tür	Sistem	Mak.Çıkış Gücü	Kullanım Durumu	Kullanım Adedi ³
ABB	Heavy Vehicle Charger	inverted	opportunity	150 kW 300 kW 450 kW 600 kW	İç/dış mekan	51
	Tosa	on-board	opportunity	400 kW 600 kW	İç/dış mekan	26
EKOENERGETYKA	Quick point city Charger	inverted	opportunity	700 kW	İç/dış mekan	100
	Quick point Column Charger	inverted	opportunity	400 kW	İç/dış mekan	
HELIOX	300 kW Opportunity Charger	on-board/inverted	opportunity	300 kW	İç/dış mekan	>150
	450 kW Opportunity Charger	on-board/inverted	opportunity	450 kW	İç/dış mekan	
	600 kW Opportunity Charger	on-board/inverted	opportunity	600 kW (f)	İç/dış mekan	
JEMA ENERGY	I2E _ OC	on-board	opportunity	500 kW	dış mekan	6
SIEMENS	Siemens HPC	inverted	opportunity	300 kW, 450 kW, 600 kW (Planned)	İç/dış mekan	15
OPBRID	Furrer Frey	inverted	opportunity	150 kW- 300 kW	İç/dış mekan	

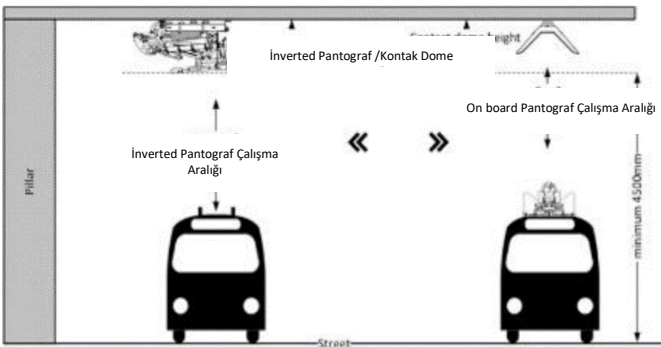
Yukarıda yer verilen Tablo 2’de dünya genelinde elektrikli otobüslerde kullanılan hızlı şarj sistem çözümlülerine dair yapı ve kullanım adetleri sunulmuştur.

2.1 Hızlı Şarj Sistemlerinde Kullanılan Pantograf Yapıları

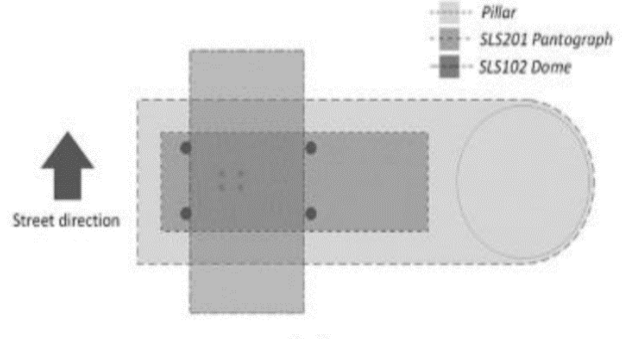
Şarj sistemlerinde kullanılan 2 farklı pantograf türüne dair ilk değerlendirme kriteri mekanik açıdan yapılmıştır. Söz konusu şarj konseptinde seçilecek pantograf türünde hem altyapı hem de araç tarafında bazı farklı gereksinimler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kapsamda ilk olarak her iki pantograf tipinin farklı çalışma yüksekliklerinde işletme sağlayabildiği bilinmelidir. İverted pantograflarda esnek çalışma yüksekliğine sahip olunurken, şarj sistemlerinde özellikle aynı şarj istasyonunu kullanan farklı araç konseptleri için fayda sağlamaktadır. Özellikle elektrik tahrikli çift katlı otobüsler, çöp kamyonları vb. farklı araç konseptleri için tek şarj sistemi ile entegre çözüm imkanı sunulabilir. Diğer taraftan on-board pantografli şarj sistemlerinde bu durum sadece belirlenen araç konseptine sari olarak ve tek tip, araç odaklı olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca şarj sisteminde pantograf monte edilen veya kontak uçlarının yer aldığı direk kol uzunlukları ve de direk kol genişlikleri seçilen pantograf türüne göre değişiklik arz ederken, özellikle aracın şarj için gerekli olan yanaşma mesafelerini doğrudan etkileyen bir unsur olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer mekaniksel karşılaştırma parametresi ise pantografların ve de ilgili komponentlerinin (mekanik aksam ve rayların) ağırlıkları konusudur zira farklı ağırlıkta olan bu 2 pantograf yapısı, araç konfigürasyon ve dizaynını etkileyen bir öncelik olarak değerlendirilmeli; yapılacak tercihe göre ilgili yapıların oluşturacağı ilave ağırlıklar, montajının gerçekleştirileceği direk veya otobüs için ekstra ağırlık teşkil etmesi durumu için gerekli dayanım sağlayacak konfigürasyonlar göz önünde bulundurulmalıdır [8][9][10].



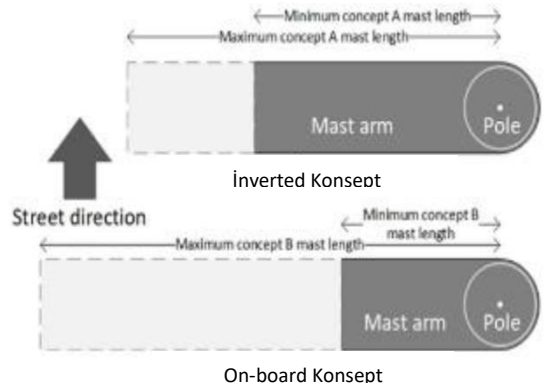
Şekil 8.a On board & Inverted Pantograf Yapıları [7]



Şekil 8.b Direk yükseklik ile kolu uzunlukları [7]

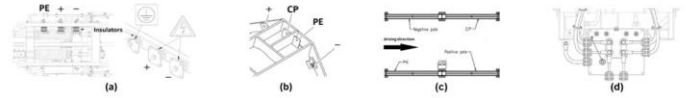


Şekil 8.c Altyapıdaki boşluk boşluğu ve sabitleme noktaları [7]



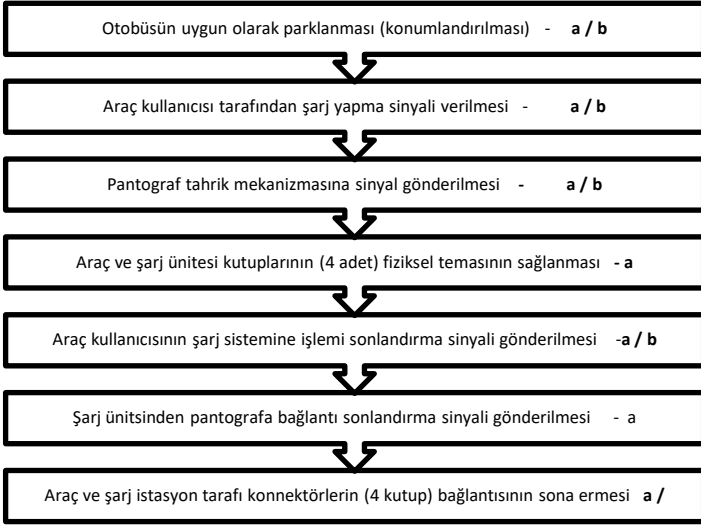
Şekil 8.d Sabitleme Noktaları için Gerekli Mekanik Hususlar [7]

Pantograf yapıları bazında diğer ana değerlendirme kriteri ise elektriksel bağlantı konusudur. Her iki pantograf konseptine dair yapılan karşılaştırmada ihtiyaç duyulan kablo uzunluğu, kablo tipi, konektörü ve izolatörleri dikkate alınmalıdır. Temel olarak, 4 uç bulunması gereken pantografların temas noktaları için (DC +, DC-, PE ve CP) kabloları şarj cihazından / araçtan pantograflara doğru konfigürasyonu sağlanmalıdır. Aşağıda her iki pantograf türüne dair araç tarafında veya altyapı tarafındaki güç bağlantılarındaki farklılıklar gösterilmektedir [7][8][9][10].

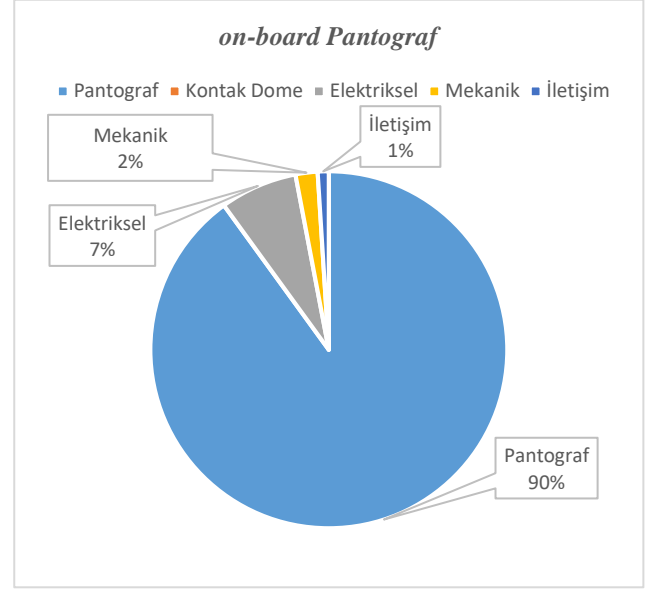


Şekil 9. Pantograf Konseptlerine dair elektriksel bağlantılar (a) On board pantograph infrastructure side, (c) vehicle side; (b)inverted pantograph infrastructure side, (d) vehicle side [7]

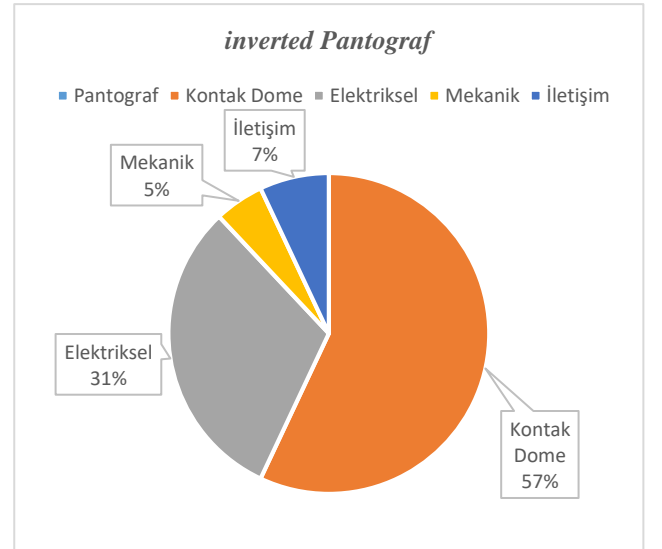
Diğer bir değerlendirme kriteri ise şarj sistemleri ile araç arasındaki iletişim konusudur. Buradaki temel unsur ise şarj işlemi sürecinin başlatılması ve sonlandırılması olarak değerlendirilebilir. Aşağıda her iki pantograf türüne dair araç-şarj sistem iletişimine dair süreçlerine yer verilmiştir.



Şekil 10. Bağlantı Konfigürasyonları (a) inverted concept (b) on board concept



Şekil 11.a On board Pantografların Maliyet Dağılımları



Şekil 11.b Inverted Pantografların Maliyet Dağılımları

Tablo 3. Inverted ve on board Pantografların Temel Özellikleri [9] [10]

Parametreler	On-board Pantograf	İnverted Pnatograf	Birim
Maksimum Gerilim	1500	1000	V dc
Nominal Gerilim	750	750	V dc
Şarj Akımı	500	500	A
Maksimum Akım (<10dak.)	600	800	A
Temas Kuvveti	500	250	N
Ağırlık	175-180	85	kg
Çalışma Sıcaklığı	-30 + 65	-30 + 65	°C

Ayrıca her iki pantograf türünde de pantograf ve şarj sistemi veya araç ile gerekli olan iletişim için ISO 15118-2, IEC 61851 standartları esas alınmaktadır.

Son değerlendirme kriteri ise her iki pantograf türüne dair maliyet analizleri olmaktadır. Bu konuda da yaklaşım sunmak adına aşağıda detaylı ve karşılaştırmalı maliyet analizlerine yer verilmiştir [7]. Söz konusu maliyet analizlerinde dünyada yaygın olarak kullanılan ve her iki tür pantograf yapısını ürün gamında bulunduran Shunk pantograf sistemleri refrans alınarak ortaya konulmuştur.

Burada verilen Şekil 11 'de on board pantograf konseptinde araç tarafında ve şarj istasyonu tarafında yer alan maliyet kırılımlarıdır. İkinci grafik ise inverted pantograf konseptine dair araç tarafında ve şarj istasyonu tarafında yer alan maliyet kırılımlarıdır. Grafiklerde görüleceği üzere on board pantograf türünde araç bazında maliyet kalemleri armaktadır. Özellikle filo bazında değerlendirildiğinde söz konusu inverted pantograf daha ekonomik olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak müşteri odaklı ve operasyonel gereksinimlere bağlı olarak hızlı şarj sistemlerinde kullanılacak pantograf türüne karar verilmelidir.

3. Değerlendirme ve Sonuçlar

Toplu ulaşım hizmeti sunun işletmeleri için gerçek manada % 100 sıfır emisyonlu bir toplu ulaşım sistemine geçmek, yeni otobüs satın almaktan çok daha fazlasıdır. Gereksevim duyulan enerji altyapısı baz alınarak tüm işletme operasyonunun yeniden düşünülmesini gerektirir. Buna tedarik, şarj sistemi, araçların bakım & onarımı, sürücü eğitimi ve kurulacak yenilenebilir enerji entegrasyonu vb. konuları dahildir.

Şehirler özelinde toplu ulaşım işletmeleri bu dönüşümü büyük ve yıllara sari projeler olarak değerlendirmelidir. Bu kapsamda teknoloji ve finansman seçeneklerinin derinlemesine fizibilite edilerek, baz alınacak pilot çalışmalarla elektrikli otobüslerin ve altyapı gereksinimlerinin kademeli olarak karşılanması adına çalışmalar yürütülmelidir. Sorunsuz ve makul bütçeli geçiş süreci sağlamak için performans analizlerinde devamlılık göz önünde bulundurulmalıdır.

Elektrikli otobüs konseptlerinde üzerinde önemle durulması gereken en önemli hususlardan biri de öngörülen ya da kurulan şarj sistemleridir. Mevcut altyapıyı kullanmaya devam ederken, şehirlerin farklı otobüs üreticilerinden araç temin etmesini olanak sağlayan, standartlaştırılmış şarj sistemleri tercih edilmesi önemlidir. Bir üretici veya markaya özel teknoloji, standart dışı kullanım imkânı sunan şarj sistemleri, gelecekte rekabetçi bir elektrikli otobüs tedariki için oluşacak fırsatları engelleyecek ve toplu ulaşım işletmeleri için finansal ve teknolojik risk oluşturacaktır. Bu konuda dünya genelinde toplu ulaşım işletmeleri tarafından her geçen gün artan elektrikli otobüs alımları, şarj sistemlerini standartlaştırmak için artan bir baskı teşkil etmektedir. Ülkemizde de yerel yönetimler nezdinde, şarj teknolojisinin çalışabilirliğini gerektiren tedariki konusunda olası alım şartnamelerinde bu konuya yer verilmeli ve yalnızca bir üretici tarafından kullanılabilen tescilli şarj sistemleri tedarik etmekten kaçınılmalıdır.

Elektrikli otobüs konseptlerinde üzerinde önemle durulması gereken en önemli hususlardan biri de öngörülen ya da kurulan şarj sistemleridir. Mevcut altyapıyı kullanmaya devam ederken, şehirlerin farklı otobüs üreticilerinden araç temin etmesini olanak sağlayan, standardize edilmiş şarj sistemlerinin tercih edilmesi önemlidir. Bir üretici veya markaya özel teknoloji, standart dışı kullanım imkânı sunan şarj sistemleri, gelecekte rekabetçi elektrikli otobüs tedariki için oluşacak fırsatları engelleyecek ve toplu ulaşım işletmeleri için finansal ve teknolojik risk teşkil edecektir. Bu konuda dünya genelinde toplu ulaşım işletmeleri tarafından her geçen gün artan elektrikli otobüs alımları, kullanılan şarj sistem ve teknolojilerinde standart uygulamaların tercih edilmesi açısından baskı unsuru olmaktadır.

Ülkemizde de yerel yönetimler tarafından gerçekleştirilen elektrikli otobüs alımlarında tercih edilen şarj teknolojileri konusunda, tip teknik şartnameler oluşturulmalıdır. Sadece bir marka yada üretici tarafından kullanılabilen tescilli şarj sistem/teknolojilerinin tedarikinden kaçınılmalıdır. Son olarak tercih edilecek elektrikli otobüslerde şarj olma süresi, özellikle otobüslerin garajlarda ne kadar sürede kaldığı ile birlikte araçların işletme koşullarına da bağlı olarak toplu ulaşım idarelerinin tercih

edecekleri şarj sistemleri açısından çok önemlidir. Bu durum en yalın hali ile eğer garajlarda revizyon için beklenen süre, şarj edilmesi için gerekli olan süreden daha kısa ise toplu ulaşım hizmetinin aksamasına neden olur ki elektrikli otobüs konseptine geçişi en başında mümkün kılınmaz hale getirir.

Bu anlamda günümüzün yükselen eğilimi olan hızlı şarj konseptleri değerlendirilirken bu çalışmada yer verilen birçok değişkenin doğru analiz edilerek, etkin ve işletme koşullarına sürdürülebilir kılan, toplam sahip olma maliyet unsurlarına göre karar mekanizmaları belirlenmelidir. Daha da önemlisi ülkemizde elektrikli otomobil konseptleri için var olan şarj sistem tedarik ve üreticileri gibi elektrikli otobüs konseptleri için uygun, pantograf tipi hızlı şarj sistem teknolojilerine dair yatırım ve teşvik mekanizmaları oluşturulmalıdır.

Kaynakça

- [1] TOPAL O. (2019), Türkiye’de Elektrikli Otobüsler, Efe Akdemi, İstanbul 2019.
- [2] 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, 2369.
- [3] TOPAL O., “ Türkiye Toplu Ulaşım Sistemlerinde Elektrikli Otobüsler”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019,15,155-167
- [4] BNEF Research Services, Electric Vehicle Outlook Report “Global EV Outlook 2019”
- [5] European Electrification Global Insights, Interact Analysis & McKinsey Company
- [6] ZeEUS eBus Report #1 An overview of electric buses in Europe ve ZeEUS eBus Report #2 An updated overview of electric buses in Europe.
- [7] Pirooza, A., Heidari F., at all “ Feasibility Study Of Reconfigurability Between Different Power Transmission Concepts For Electric Bus Charging”, *Proceedings of 8th Transport Research Arena TRA 2020, April 27-30, 2020, Helsinki, Finland.*
- [8] Assured Project, Fast and Smart Charging Solutions for Full Size Urban Heavy Duty Applications.
- [9] OPPCharge, Common Interface for Automated Charging of Hybrid Electric and Electric Commercial Vehicles 2nd Edition.
- [10] Schunk Smart Charging. Retrieved from <https://www.schunk-carbontechnology.com/en/smart-charging>.
- [11] UITP Tarafından Hazırlanan Elektrikli Otobüsler üzerine Raporlar
- [12] TOPAL O., Elektrikli Otobüsler Konusunda Yerel Yönetimler için Tavsiyeler
- [13] He, Y., Song, Z., & Liu, Z. (2019). Fast-charging station deployment for battery electric bus systems considering electricity demand charges. *Sustainable Cities and Society*, 48, 101530
- [14] Sadeghi-Barzani, P., Rajabi-Ghahnavieh, A., & Kazemi-Karegar, H. (2014). Optimal fast charging station placing and sizing. *Applied Energy*, 125, 289-299.