

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



AZERBAYCAN'IN EN UZUN OTOBÜS HATTININ ELEKTRİFİKASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurchin İBRAHİMOV

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

TEMMUZ 2022

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



AZERBAYCAN'IN EN UZUN OTOBÜS HATTININ ELEKTRİFİKASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nurchin İBRAHİMOV
(181222003)**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Koray ERHAN

TEMMUZ 2022



**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz Elektrik – Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı 181222003 numaralı öğrencisi *Nurchin İbrahimov*'un tez çalışması, 02.08.2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak Kabul edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

1) Tez Danışmanı: **Dr. Öğretim Üyesi Koray ERHAN**

2) Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Feriha Erfan KUYUMCU**

3) Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Murat AYZ**

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Azerbaycan’ın En Uzun Otobüs Hattının Elektrifikasyonu” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.

TEMMUZ 2022

Nurchin İBRAHİMOV
(Elektrik-Enerji Mühendisi)



ÖNSÖZ

Tez çalışmamda planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Koray ERHAN sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, tüm hayatım boyunca benim yanımda olan, sonsuz desteklerini benden esirgemeyen aileme içtenlikle sevgi ve minnetlerimi sunarım. 09/07/2022

Nurchin İBRAHİMOV



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. TOPLU TAŞIMADA OTOBÜS TÜRLERİ	4
2.1 Körüklü Otobüsler	4
2.2 Hibrid otobüsler.....	5
2.3 Yakıt Hücreli Otobüsler	7
2.4 Elektrikli Otobüsler	8
2.5 Elektrikli Otobüs Aktarma Organları ve Gövde Tipleri.....	10
3. ELEKTRİKLİ OTOBÜS ŞARJ STRATEJİLERİ	12
3.1 Daha Çok Kullanılan Batarya Tipleri.....	14
3.2 Li-ion Bataryaları	15
3.3 Hızlı ve Ultra Hızlı Şarj.....	18
4. E-BUS BATARYA PAKETİNİN ELEKTRİKSEL TASARIMI ve YERLEŞİMİ	20
4.1. Pil Paketinin Yerleştirilmesi ve Pil Soğutma Yöntemi	22
4.1.1 Zemin Alanı.....	22
4.1.2 Tavan Alanı	22
4.1.3 Arka Alan	23
4.1.4 Soğutma Yöntemleri.....	23
5. REJENERATİF FRENLEME	24
6. METROBÜS İÇİN ÖNERİLEN E-BUS KONSEPTİ	26
7. DEĞİŞTİRİLEBİLİR BATARYALAR	30
7.1 Pil Değişirme Avantajları	31
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	36

KISALTMALAR

EA	:Elektrikli Araç
HEA	:Hibrit Elektrikli Araç
İYM	:İçten Yanmalı Motor
M/G	:Motor/Generatör
SoC	:Batarya Şarj Durumu (State of Charge)
EOL	:Yaşam Süresi Sonu (End of Life)
VEDS	:Volan Enerji Depolama Sistemi
KERS	:Kinetic energy recovery system(Kinetik Enerji Depolama Sistemi)
AB	:Avrupa Birliği
SC	:Süper Kapasitör
HR	:Hafif Raylı
DC/DA	:Doğru Akım
AC/AA	:Alternatif Akım
LFP	:Lityum Demir Fosfat
E/E	:Elektrik-Elektronik
kWh	:Kilowatt-saat
Ar-Ge	:Araştırma – Geliştirme

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: M1 Hattinin Durakları	2
Çizelge 1.2: M1 Otobus Hattinin Ana Bilgileri.....	3
Çizelge 2.1: Farklı Otobüs Gövde Uzunluklarında Ticari Olarak Temin Edilebilen Elektrikli Otobüsler	9
Çizelge 2.2: Yaygın Olarak Kullanılan Otobüs Gövde Tipleri ve Özellikleri	11
Çizelge 3.1: Elektrikli otobüsler için farklı şarj stratejilerinin karşılaştırılması.....	14
Çizelge 3.2: Nikel Bazlı Pillerin Ana Özellikleri	15
Çizelge 3.3: Yaygın E-Bus li-ion Akü Kimyalarının Karşılaştırması	17
Çizelge 3.4: Bazı elektrikli araçların batarya kapasitesi, gerilimi, menzili, şarj gücü değerleri.....	17
Çizelge 4.1: Hücre parametreleri.....	21
Çizelge 6.1: M1 Hattı İçin Hat ve Güzergah Bilgileri.....	26
Çizelge 6.2: Bir Çevirim İçin Enerji Tüketim Değeri	28
Çizelge 6.3: Araç Başına Günlük Şarj Değerleri.....	28

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: M1 Hattının Haritası.....	2
Şekil 1.2: Otobus Durağı	3
Şekil 2.1: Körüklü Bir Otobüsün Ana Güç Aktarma Organları Bileşenleri	5
Şekil 2.2: Volvo 7900 Hibrit Otobüsün Aktarma Organları Bileşenleri	6
Şekil 2.3: Hidrojen Yakıt Hücreli Bir Otobüsün Ana Bileşenleri	8
Şekil 2.4: Iveco Trolleybus.....	9
Şekil 2.5: Piyasada bulunan 18 metre mafsallı elektrikli otobüs.....	10
Şekil 2.6: Elektrikli Bir Otobüsün Ana Bileşenler	11
Şekil 3.1: Fırsat Şarjı İçin ABB Tarafından Sunulan Bir Flaş Şarj Cihazı	12
Şekil 3.2: Depo Şarjı ve Depodaki Olası Şarj Sistemleri	13
Şekil 3.3: Güney Kore Gumi Şehrindeki Kablosuz Endüktif Şarj Sistemi	13
Şekil 3.4: Farklı Enerji Depolama Sistemlerinin Özellikleri.....	16
Şekil 3.5: Silindirik ve Kese Bir Li-ion Bataryanın Pil Yapısı.....	17
Şekil 3.6: Li-ion Pil Şarj Etme (A) ve Boşaltma (B) İşlemleri.....	17
Şekil 3.7: Geleneksel bir hızlı şarj topolojisi.....	17
Şekil 4.1: Akü Sisteminin Elektriksel Konfigürasyonu.....	20
Şekil 4.2: Seçilen LFP hücresi.....	21
Şekil 6.1: 18 Metrelik Mafsallı Otobüs İçin Olası Akü Konumları	22
Şekil 6.1: M1 Hattı Güzergah Haritası	26
Şekil 6.2: Enerji Kayıpları	27
Şekil 7.1: Elektrikli Bir Kamyon İçin Pil Değişirme İşleminin Altı Adımlı Bir Çizimi	30
Şekil 7.2: Better Place ve Tesla Sistemleriyle Hafif Hizmet Tipi Bir E Elektrikli Araçlar İçin Pil Değişirme Süreci	31
Şekil 7.3: Bir Değişirilebilir Batarya Stasyonları ve Bir Şarj İstasyonu İçin Elektrik Şebekesi Yük Profillerinin Karşılaştırılması	32
Şekil 7.4: Elektrikli Araçlar Pil Değişirme/Şarj Sistemi İçin Bir Çerçeve.....	33
Şekil 7.5: Şarj istasyonlarını ve Değişirilebilir Batarya Stasyonlarında Kullanılan Elektrikli Taksiler İçin Temel İstatistikleri Karşılaştıran Grafikler	33

AZERBAJCAN'IN EN UZUN OTOBÜS HATTININ ELEKTRİFİKASYONU

OZET

İçten yanmalı motorlarda gaz emisyonları iklim değişikliğine neden olarak hava ve gürültü kirliliği gibi çevresel risklere yol açmaktadır. Toplu taşımanın elektrifikasyonu sadece hava kalitesini iyileştirmekle kalmamakta, aynı zamanda kentsel alanlarda gürültü kirliliğinin neden olduğu olumsuzlukları ve sosyal - ekonomik maliyetleri de azaltmaktadır. Diğer taraftan insanların daha kısa seyahat süreleri geçirmeleri de zaman kaybını azaltmaktadır.

Bu çalışmada Azerbaycan Bakü'de çalışan en uzun otobüs hattının elektrifikasyonu için gerekli olan hesaplamalar yapılmaktadır. Bir elektrikli otobüs için, minimum toplam sahip olma maliyeti amacıyla batarya kapasitesi, otobüslerin şarjı için gerekli olan şarj istasyonu sayısı ve her bir şarj istasyonunun elektrik gücünün en uygun kombinasyonu araştırılmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde, elektrikli otobüsün (E-Bus) en önemli güç aktarım elemanlarından olan yüksek gerilim batarya tasarımına odaklanılmaktadır. Bir E-Bus batarya paket tasarımı, birinci bölümde belirlenen kullanım koşullarına göre detaylandırılmaktadır. Diğer taraftan değiştirilebilir (swappable) bataryalar ve bataryaların fiziki yerleşimi ile ilgili optimum çözümler de bu çalışma kapsamında gerçekleştirilecektir. Bu amaçla Bakü metrobus sisteminin en uzun hattı analiz edilmiştir. Farklı lityum batarya teknolojilerinin farklı uygulamalar için avantaj sağladığı bilinmektedir. Bu bağlamda, 18 metre uzunluğunda E-Bus ve bunun için gerekli olan lityum temelli batarya teknolojileri incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Otobüs, Bakü otobüs hattı, EA analizi

ELECTRIFICATION OF AZERBAIJAN'S LONGEST BUS LINE

ABSTRACT

Gas emissions in internal combustion engines cause environmental risks such as air and noise pollution by causing climate change. The electrification of public transport not only improves air quality, but also reduces the negative effects of noise pollution and social-economic costs in urban areas. On the other hand, people's shorter travel times also reduce the loss of time.

In this study, necessary calculations are made for the electrification of the longest bus line operating in Baku, Azerbaijan. For an electric bus, the optimal combination of battery capacity, the number of charging stations required to charge the buses, and the electrical power of each charging station is investigated for a minimum total cost of ownership. In the second part of the study, the high voltage battery design, which is one of the most important power transmission elements of the electric bus (E-Bus), is focused on. An E-Bus battery pack design is detailed according to the usage conditions determined in the first chapter. On the other hand, swappable batteries and optimum solutions for the physical placement of batteries will also be realized within the scope of this study. For this purpose, the longest line of the Baku metrobus system has been analyzed. It is known that different lithium battery technologies provide advantages for different applications. In this context, the 18-meter-long E-Bus and the lithium-based battery technologies required for this are examined.

Keywords: *Electric Bus, Baku bus line, Electrification analysis, BEV*

1. GİRİŞ

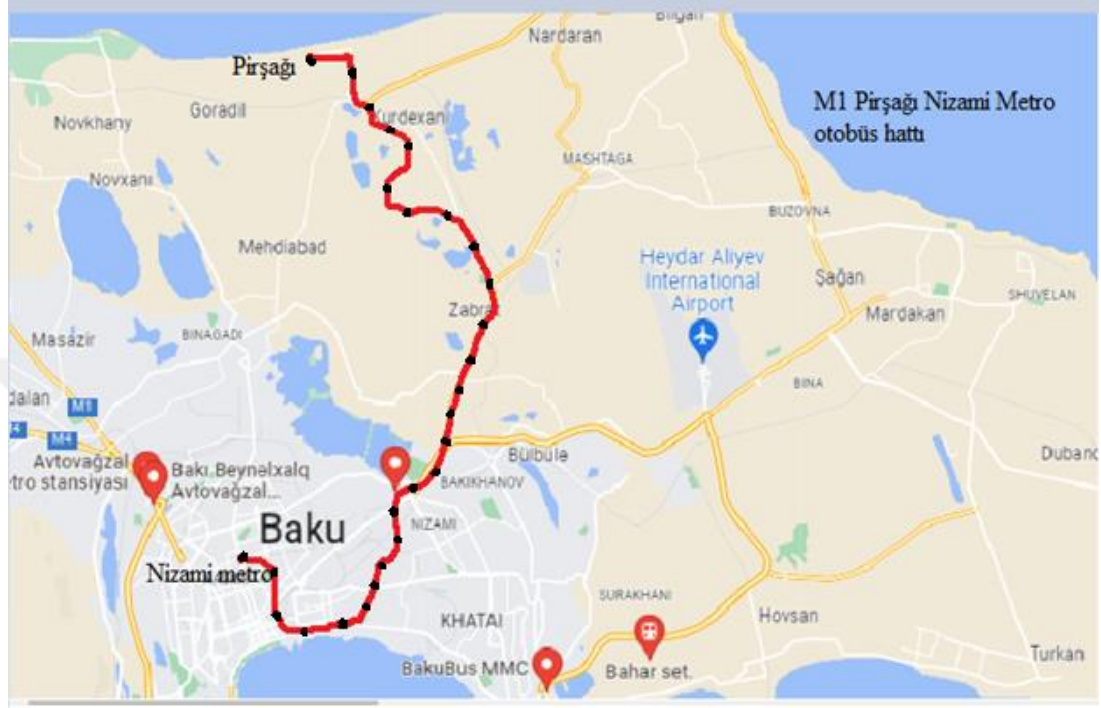
Dünyada ve Azerbaycanda kentleşme ile birlikte şehirlerde insanların sayısı günü günden daha da artmaktadır. Şehirlerde nüfusun her geçen artması şehrin doğal çevresine ve hava kalitesine ciddi şekilde zararlar vermektedir. Toplu taşıma şehirler de insan nüfusunun artmasının etkilerini azaltmak için kentsel sürdürülebilirliği sağlamak için büyük şehirlerde önemli bir rol sahiptir. İcten yanmalı motorlarda gaz emisyonları iklim değişikliğine neden olarak hava ve gürültü kirliliği gibi çevresel risklere yol açmaktadır. Bunun için büyük şehirleri başlattığı fosil yakıtlı otobüs alımını yavaş – yavaş azaltma kararı, sıfır emisyonlu toplu taşıma sistemlerinde çok önemli bir rol oynamıştır. Ayrıca olarak akü kapasitelerinde ve hızlı şarj sistemlerine yapılan iyileştirmeler, bir çok otobüs ihraç eden firmaların elektrikli otobüs alanında üretin ve Ar-Ge (Araştırma ve Geliştirme) faaliyetlerinin daha da genişletmesini sağlamıştır [3].

Toplu taşımada kullanılan otobüslerin altı tipi vardır. Bunlar: dizel, sıkıştırılmış doğal gaz, bioatıklar, hibrit dizel, hidrojen ve elektrikli otobüslerdir. Dizel otobüsler en çok kullanılan otobüs türü olmasına bakmayarak, hibrit ve elektrikli otobüsler geleneksel dizel otobüslere bir alternatiftir. Ayrıca olarak Man, Volvo, Iveco, VDL ve Irizar gibi birçok dizel otobüs üreticileri ayrıca olarak e-otobüsleride üretiyorlar. Elektrikli otobüsler daha erken dönemlerde şehirlerde kısa güzergâhlar için kullanılmaya başlanmıştır. Genel olarak elektrikli otobüslerin menzilleri 30-300 km arasında, pil kapasiteleri ise 76-340 kWh arasında değişebiliyor. Elektrikli otobüs aralığı, pil kapasitesine, şarj metodolojisine, soğutma, sürüş döngüsü ve diğer bunun gibi bazı özelliklere bağlıdır [4].

Bu çalışmada, Bakü'de bir otobüs hattından elde edilen veriler doğrultusunda içten yanmalı otobüslerin elektrikli otobüslerle değiştirilmesi durumu analiz edilmiştir. Sonuç olarak, otobüsleri içten yanmalı otobüsler yerine elektrikli otobüslere dönüştürmek için hangi hattın etkili olduğu belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında otobüslerin hangi hatlarda elektrikli otobüse dönüştürülebileceği analiz edilmiştir.

Bakü'nün ana arterlerindeki trafik yoğunluğunu azaltmak, hızlı ve konforlu ulaşımı

sağlamak amacıyla ilk olarak 2016 yılında hizmete giren otobüs şebekesi bugün Pırşağı'dan Nizami metrosu'na toplam 50 km uzunluğundaki Metrobüs Şebekesi 27 istasyondan geçerek günde yaklaşık 450 bin yolcu taşıyor [3]. Şekil 1.1'de Bakül Metrobüs Şebekesi Haritası Şekilde verilmiştir:



Şekil 1.1: M1 Hattının Haritası [1]

M1 hattının durakları Çizelge 1.1'de verilmektedir.

Çizelge 1.1: M1 Hattinin Durakları

No	Durak	No	Durak
1	Pırşağı	15	Koroğlu BNA
2	Kürdəxanı	16	Asan 5
3	Məhəmmədi kruqu	17	Ziya Bünyadov
4	Zabrat İstixana	18	Nəriman Nərimanov metrosu
5	Zabrat dairəsi	19	Heydər Əliyev mərkəzi
6	70 No məktəb	20	Gənclik metrosu
7	Ayxan market	21	28 may metrosu
8	Ramana yolu	22	Mərkəzi Bank
9	Balaxanı	23	Dəniz Limanı
10	MS petrol	24	Sahil Metro su
11	Bolmart	25	Dəniz Mall
12	Sabunçu dairəsi	26	Qış Parkı
13	Olimpia stadionu	27	Nizami metrosu
14	Koroğlu parkı		

Metrobüs Ağı hibrit bir sistemdir. Hattın bazı özellikleri halk otobüslerine

benzemekte; diğeri metroya benzemektedir. Örneğin araç lastik lastikli körüklü bir otobüs ama metroya benzer ve özel bir güzergahı vardır. M1 ana hattın çalışma saatleri 06:00 – 24:00 arasındadır. Çizelge 1.2’de hatta ait temel bilgilere yer verilmektedir.



Şekil 1.2: Otobüs Durağı [2]

Çizelge 1.2: M1 Otobüs Hattinin Ana Bilgileri [1]

Hattın ismi	İlk durak	Son durak	Otobüs sayısı	Marka	Bekleme zamanı	Hattın uzunluğu	Durak sayısı	İş saati
M1	Pirşağı	Nizami metro	34	İveco	10 dakika	50km	27	Günlük

2. TOPLU TAŞIMADA OTOBÜS TÜRLERİ

Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu'na göre[5], en az dört tekerlekli ve yolcu taşımacılığında kullanılan motorlu araçları kapsayan M Kategorisinin üç alt kategorisi vardır

- Kategori M1: Sürücü koltuğuna ek olarak en fazla sekiz koltuk içeren araçlar.
- M2 Kategorisi: Sürücü koltuğuna ek olarak sekizden fazla koltuktan oluşan ve kütlesi 5 tonu geçmeyen araçlar.
- Kategori M3: Sürücü koltuğuna ek olarak sekizden fazla koltuktan oluşan ve kütlesi 5 tonu aşan araçlar.
- Yukarıdaki kategorilere ek olarak BMAEK, Kategori M2 ve M3 araçlar için 22'den fazla yolcu kapasiteli üç sınıf tanımlamaktadır [5].
- Sınıf I: Sık yolcu hareketine izin vermek için ayakta duran yolcular için alanlar ile inşa edilmiş araçlar.
- Sınıf II: Esas olarak oturan yolcuların taşınması için yapılmış ve iki adet çift kişilik koltuk için sağlanan alanı aşmayacak şekilde iskelede ve ya bir alanda ayakta duran yolcuların taşınmasına izin verecek şekilde tasarlanmış araçlar.
- Sınıf III: Sadece oturan yolcuların taşınması için yapılmış araçlar [5].

2.1 Körüklü Otobüsler

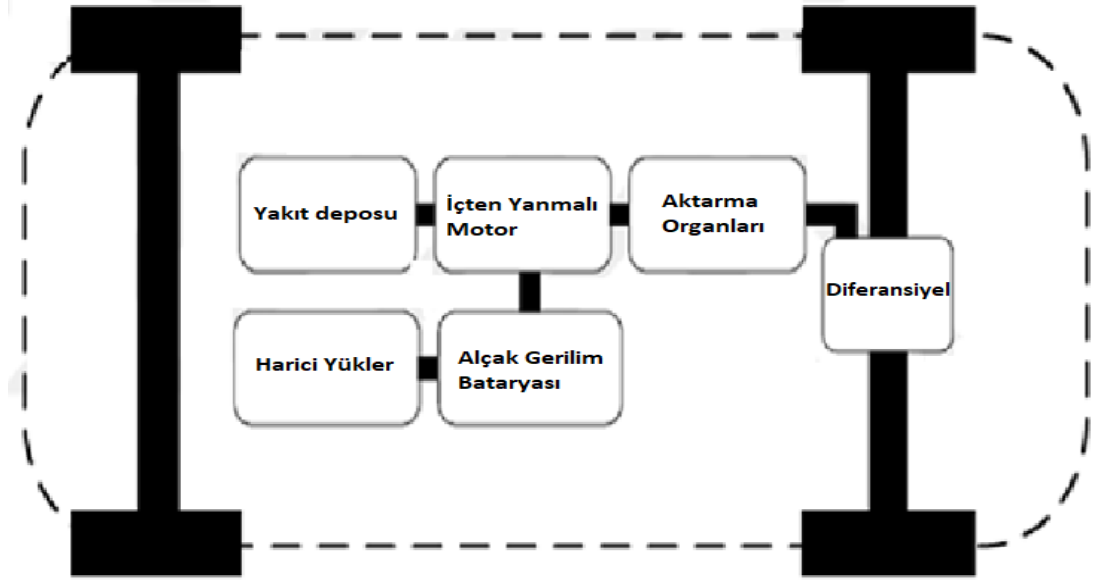
Körüklü otobüs, bu tezde incelenen otobüs tipidir ve detayları sunulmuştur. Körüklü otobüs veya virajlı otobüs, yolcuların aralarında hareket edebilecekleri yeri ifade eden iki veya daha fazla rijit bölümden oluşur Aşağıdaki bölümlerde, ana özelliklere sahip farklı veri yolu tipleri sunulmaktadır. [6]

Konvansiyonel otobüs terimi genellikle dizel ve doğal gazlı otobüs modellerini ifade eder. Şu ana kadar Avrupa ve ABD pazarlarında dizel otobüsler en popüler tip oldu. Yakıt olarak sıkıştırılmış doğalgaz kullanan doğalgazlı otobüsler ise dizel otobüslere

alternatif olarak daha popüler hale geliyor [7].

Dizel, diğer yakıt türlerine göre daha yüksek enerji kapasitesine sahip olduğu için ağır hizmet araçlarında en yaygın kullanılan yakıt türüdür. Bu nedenle dizel yakıt türü ile nispeten uzun bir sürüş menzili elde edilebilir. Dizel otobüslerin yatırım maliyetleri diğer otobüs türlerine göre daha düşük olsa da önemli miktarda egzoz gazı ve gürültü emisyonu bugün ve yakın gelecek için bir engel teşkil ediyor. Sıkıştırılmış doğalgaz otobüs tipi, dizel otobüs tipine benzer çalışma performansı sunar. Bu otobüsler için ortalama sürüş mesafesi yaklaşık 400 km olarak tahmin edilmektedir [7].

Ayrıca, İYM'nin düşük verimliliği nedeniyle geleneksel otobüsler elektrikli veya hibrit otobüsler kadar verimli değildir. Konvansiyonel bir otobüsün temel güç aktarma organı Şekil 2.1'de verilmektedir.

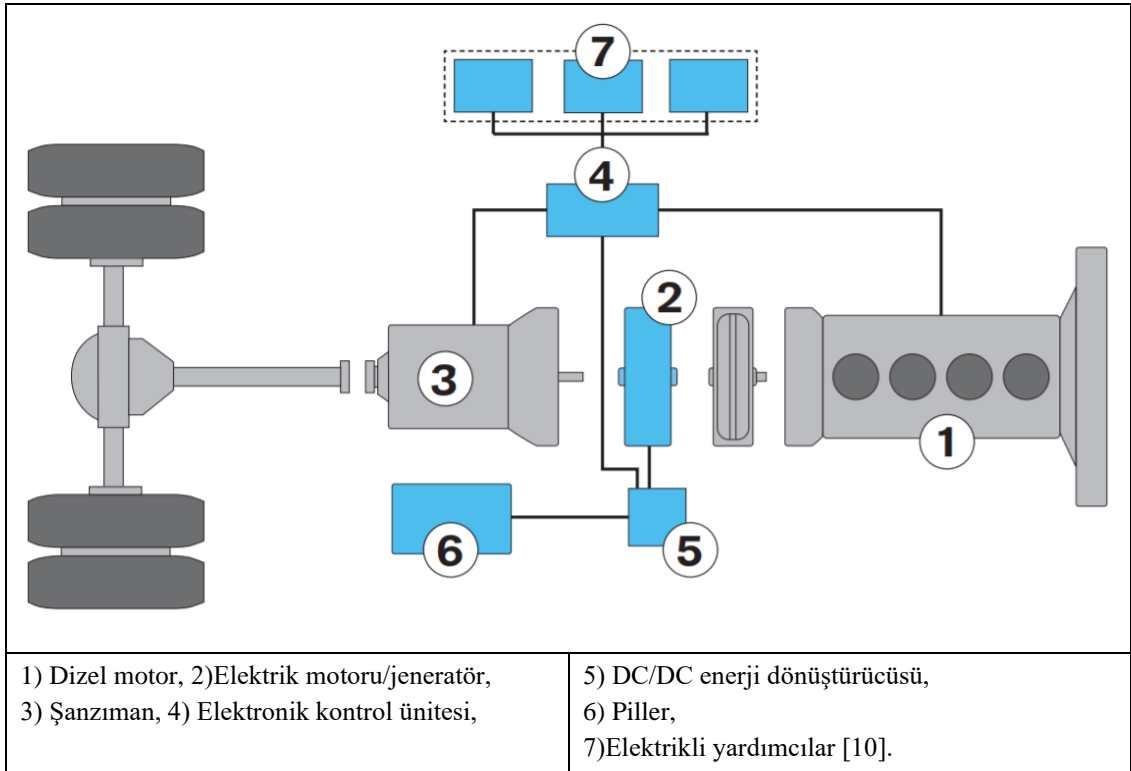


Şekil 2.1: Körüklü Bir Otobüsün Ana Güç Aktarma Organları Bileşenleri

2.2 Hibrid otobüsler

Hibrit otobüs aktarma organları, elektrik motoru ve içten yanmalı olmak üzere en az 2 güç ünitesinden oluşur. Elektrik motoru bir akü sistemi ile besleniyor, bu nedenle hibrit otobüs aküleri, geleneksel otobüs akülerinden daha fazla enerji depoluyor. Mekanik güçten elektrik gücüne dönüşüm, sistem düzeyinde verimliliği etkiler, bu nedenle içten yanmalı motorların dezavantajı, düşük verimlilik olarak hibrit veri yolu mimarilerinde hala geçerlidir [8]. Temel olarak seri, paralel ve ilk iki topolojinin

birleşimi olmak üzere 3 farklı hibrit bus mimarisi bulunmaktadır [9]. Seri konfigürasyonda, İçten yanmalı motor doğrudan bir elektrik jeneratörüne bağlıdır. Çekiş, otobüsün çalışma moduna göre enerjinin İçten yanmalı motor veya aküden sağlandığı elektrik motorları ile sağlanmaktadır. Paralel konfigürasyonda, içten yanmalı motor ve elektrikli makinenin aktarma organlarına mekanik entegrasyonu, seri konfigürasyondan farklıdır. Bu mimaride çekiş, elektrik motorları ve İçten yanmalı motor ile sağlanabilmektedir. Seri konfigürasyonlar yoğun kentsel döngüler için daha uygun iken, paralel konfigürasyonlar sürekli çalışma için daha iyidir. Üçüncü bir konfigürasyon olarak, çift modlu hibrit tasarım, tipik olarak iki elektrikli makinenin entegre olduğu her iki konfigürasyonun avantajlarından yararlanır. Bu konfigürasyon, verimliliği en üst düzeye çıkarmak için elektrikli makinelerin ve ICE'nin farklı çekiş kombinasyonlarını kullanır [9]. Diesel İçten yanmalı motor, hibrit otobüsler için yaygındır ve sürüş mesafesinin 750 km civarında olduğu tahmin edilmektedir. Hibrit otobüsün başlangıç maliyeti, geleneksel dizel otobüse göre daha yüksek olduğu için önemli bir dezavantajdır. Elektrik motorları ile çekiş sırasında, gürültü seviyesi tipik olarak geleneksel bir veriyolundan daha düşüktür. Hibrit otobüs topolojisi bir elektrikli otobüs teknolojisinin tanıtımı için iyi bir fırsat. Şekil 2.2'de, bir hibrit veri yolu aktarma organı örneğini göstermektedir.



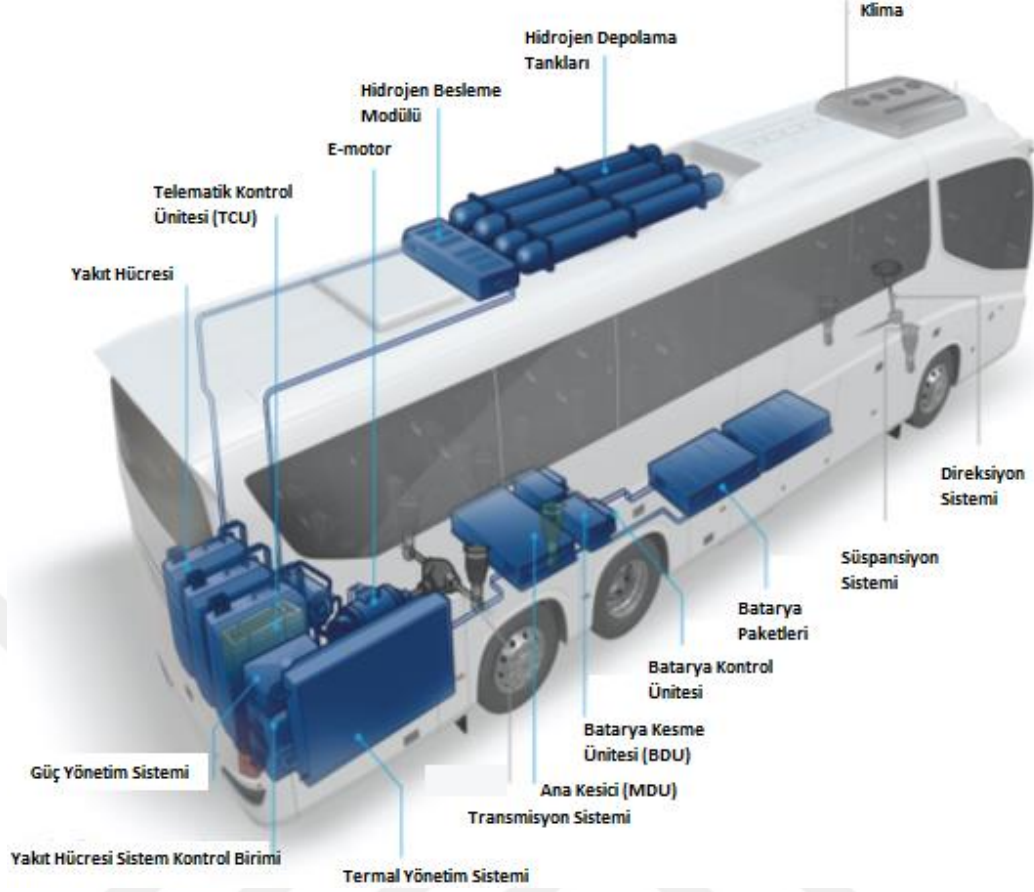
Şekil 2.2: Volvo 7900 Hibrit Otobüsün Aktarma Organları Bileşenleri

2.3 Yakıt Hücresel Otobüsler

Yakıt hücresel elektrikli otobüs, hem hidrojen hem de pil sistemlerini kullanır. Pil bir enerji kaynağı olarak adlandırılabilirken, hidrojen sistemde bir enerji taşıyıcısı olarak sınıflandırılabilir. Doğası gereği, hidrojen büyük miktarda enerji taşıyabilir. Hidrojen üretiminin, suyun elektrolizi veya hidrokarbon yakıtların prosesi gibi birkaç yolu vardır [11].

Hidrojen yakıt hücresel otobüsler, otobüs egzoz borusundan sıfır sera gazı emisyonu olduğu için şehirlerdeki hava kalitesini artırabilir. Ayrıca, İçten yanmalı motor motoru olmayan bir aktarma organı sessiz çalışmayı mümkün kılar. Öte yandan günümüzde yakıt hücresel otobüslerin maliyeti dizel otobüslere göre daha fazladır ve işletme maliyeti hidrojen fiyatlarına bağlıdır [11].

Ayrıca, yakıt hücresel otobüslerin özel yeniden doldurma altyapısına ihtiyacı vardır. Bir araçtaki hidrojen deposu, hidrojeni güvenli bir şekilde depolamak için tipik olarak 350-700 bar basınca ihtiyaç duyar [12]. Günümüzde hidrojen istasyonları nispeten nadirdir ve yeni tesisler için gerekli yatırım maliyeti yüksektir. Yakıt hücrelerinin yüksek maliyeti ve gerekli büyük hidrojen tankı hacmi önemli dezavantajlardır. Ayrıca, genel sistem verimliliği tipik olarak akülü elektrikli otobüslerden daha düşüktür. Şekil 2.3’de, bir hidrojen yakıt hücresi veriyolunun ana bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 2.3: Hidrojen Yakıt Hücreli Bir Otobüsün Ana Bileşenleri [12]

2.4 Elektrikli Otobüsler

Bir elektrikli otobüs, tekerleklere çekiş gücü sağlamak için İçten yanmalı motor yerine en az bir elektrik motoruna sahiptir. İçten yanmalı motorun aksine, elektrik motorları daha geniş çalışma aralıklarında daha verimli çalışır. Enerji, pil sistemi ve/veya süper kapasitörler olabilen bir enerji depolama sisteminden sağlanır. Günümüzde, bir elektrikli otobüs yüksek voltajlı pil sistemi genellikle li-ion pillerden oluşur. Elektrikli çift katmanlı kapasitör olarak da bilinen bir süper kapasitör, akü sistemleri aynı yapıya sahip olduğundan elektrotlar ve elektrolitten oluşur. Bir süper kapasitör, sıradan bir kapasitörden daha fazla, ancak bir li-iyon pilden daha az enerji depolar. Öte yandan, bir süper kapasitör çok daha fazla güç yoğunluğuna sahiptir ve benzer boyuttaki bir pile kıyasla çok daha hızlı deşarj edilebilir [13]. Hibrit elektrikli otobüs topolojileri, yüksek voltajlı li-ion piller ve elektrikli makinelere güç sağlayan süper kapasitörler içerir. Pil trolleybüs, elektrikli otobüslerin başka bir topolojisidir. Bir trolleybüste elektrik gücü, merkezi bir güç kaynağına bağlanan havai kablolar tarafından dinamik olarak sağlanır[14]. Şekil 2.4 trolleybüs örneğini sunar [15].



Şekil 2.4: İveco Trolleybus [15]

Elektrikli otobüslere ilgi tüm dünyada arttı. Şekil 2.5, piyasada bulunan 18 metrelik mafsallı elektrikli otobüsü göstermektedir[16]. Halihazırda, piyasada farklı elektrikli otobüs üreticileri mevcuttur ve bazı büyük geleneksel otobüs üreticileri, otobüs elektrifikasyonunda cesur hamleler yapmayı düşünmektedir [6]. Çizelge 2.1’de farklı bus gövde uzunluklarında piyasada bulunan birkaç elektrikli otobüsü göstermektedir [16,17].

Çizelge 2.1: Farklı Otobüs Gövde Uzunluklarında Ticari Olarak Temin Edilebilen Elektrikli Otobüsler

Orijinal Ekipman Üreticisi	Model	Otobüs uzunluğu	Batary kapasitesi	Tahmini menzil
BYD	K11M	18.5	578	354
BYD	K9	12.2	324	251
Proterra	ZX 5 40	12.2	660	529
Proterra	ZX 5 35	10.7	440	386
Volvo	7900 E.A.	18.7	396	-
Volvo	7900 E.	12	76	-
Mercedes-Benz	ECitaro	12.1	396	-
Mercedes-Benz	Ecitaro G	18.1	396	-
Temsa	Avenue E.	12	-	350
Solaris	Urbino 18	18	553	300

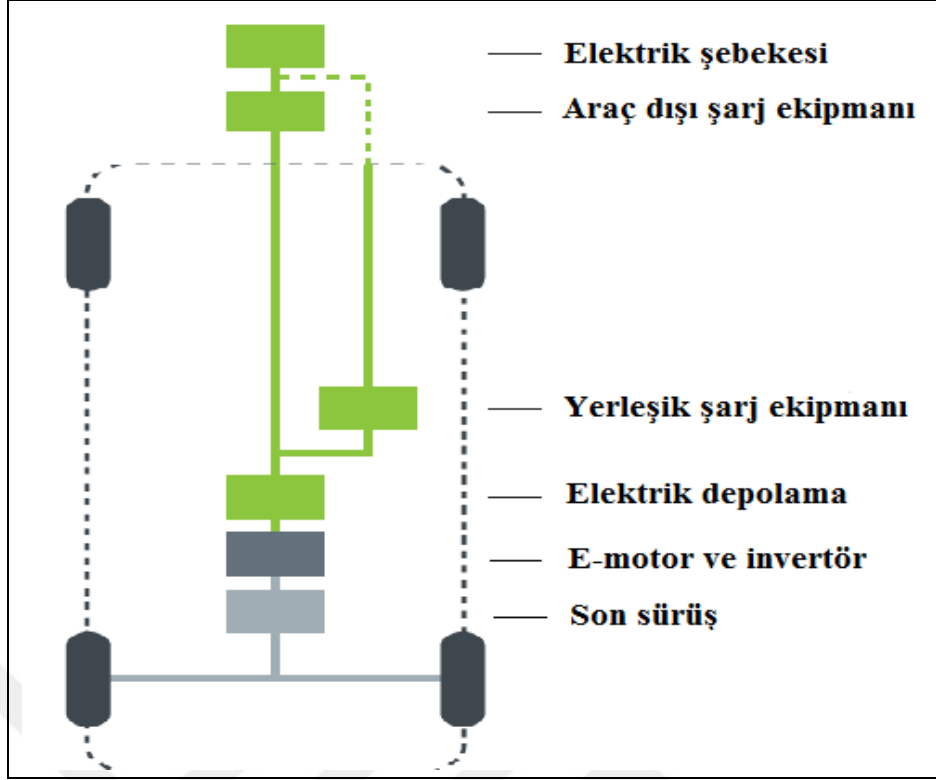
Ebusco	3.0	12.5	-	500
Bozankaya	SILEO	12	650	400
New Flyer	Xcelsior	18.5	818	-
Iveco	BRT	18.5	440	380



Şekil 2.5: Piyasada bulunan 18 metre mafsallı elektrikli otobüs[16]

2.5. Elektrikli Otobüs Aktarma Organları ve Gövde Tipleri

Genel olarak, bir elektrikli otobüs güç aktarma organı, akü, kontrolörlü çekiş motoru, dişli kutusu ve nihai tahrik ünitesinden oluşur. Alternatif güç aktarma organları, çekiş motorlarının sayısı ve bunların otobüs aktarma organı içindeki konumlarıyla oluşturulur. Birden çok hareketli motora sahip bir güç aktarma sisteminde, tork dağılımı ve rejeneratif frenleme, aktarma organının ile donatılmıştır. Otobüs hareket motorunun gücü 100 kW ile 480 kW arasında değişmektedir[14]. Bir akülü elektrik otobüs tipik olarak entegre bir soğutma sistemine sahip bir otomotiv yüksek voltajlı akü paketi, yerleşik şarj cihazı, şarj fişi, otomotiv düşük voltajlı akü paketi, elektrikli makineler, invertör, DA/DA dönüştürücü, klima ve yardımcı cihazlar içeren bir otomotiv yüksek voltajlı akü paketi içerir. Şekil 2.6'da bir elektrikli veri yolunun ana bileşenlerini göstermektedir [11]. Bir elektrikli otobüs ana gövdesi, tipik olarak geleneksel bir otobüs ana gövdesi ile aynı yapıya sahiptir. Elektrikli otobüs pazarına 12 metrelik otobüsler ve 18 metrelik körüklü otobüsler hakimdir.



Şekil 2.1: Elektrikli Bir Otobüsün Ana Bileşenler [11]

Çizelge 2.2’de AB yönetmelikleri tarafından tanımlanan total araç ağırlığı verileri ve geleneksel otobüslerin tipik boş ağırlığı dahil olmak üzere yaygın olarak kullanılan otobüs gövde tiplerini listeler [18].

Çizelge 2.2: Yaygın Olarak Kullanılan Otobüs Gövde Tipleri ve Özellikleri [18]

Otobüs gövde tipi	Uzunluk (m)	Brüt araç ağırlığı (t)	Boş ağırlık (t)
12 metrelik tek katlı	12	19.5	11.6
18 metre mafsallı	18 – 18.75	28 – 29	17.3
25 metre çift mafsallı	24.8	36	22.3
2 akslı çift katlı	10.5 – 12	19.5	12.5
3 akslı çift katlı	12 – 13.7	26	17.3

3. ELEKTRİKLİ OTOBÜS ŞARJ STRATEJİLERİ

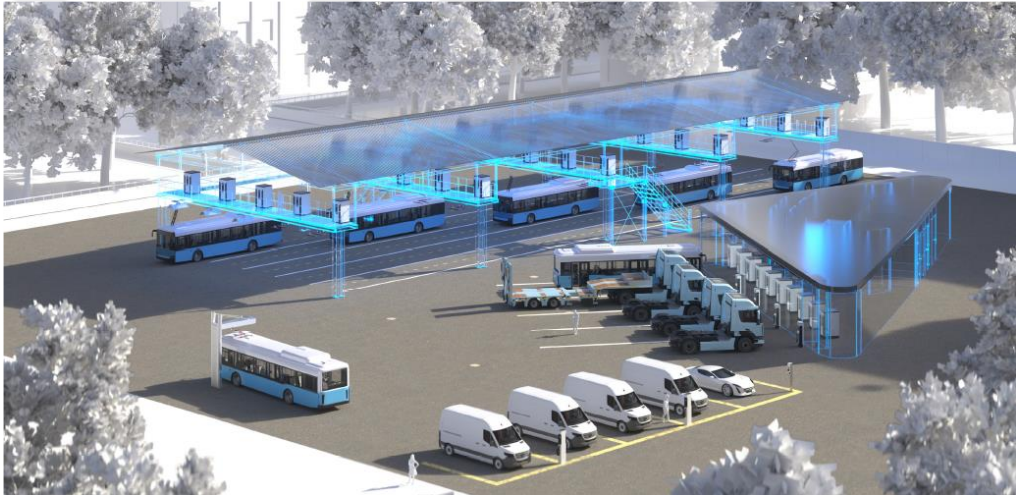
Toplu taşımada elektrikli otobüs filosu, filo operasyon koşullarına bağlı olarak özel bir şarj stratejisi ile desteklenmelidir. Filo, depoda, uç istasyonlarda, otobüs duraklarında, rotada veya özel şarj duraklarında şarj edilebilir. Şarj altyapısı, toplu taşıma elektrifikasyonunun en önemli tasarım parametrelerinden biridir. Şarj cihazının konumu, türü ve boyutu, boyut, çevrim ömrü ve toplam maliyet dahil olmak üzere veri yolu pil sistemini önemli ölçüde etkiler. Fırsat şarjı, depo şarjı, rota şarjı ve son istasyon şarjı gibi farklı E-Bus şarj stratejileri vardır. Fırsat şarjı, otobüs duraklarında çok sınırlı bir süre, örneğin 30 saniye boyunca hızlı şarj anlamına gelir. Şekil 3.1 fırsat şarj stratejisi için bir flaş şarj cihazı örneğini sunar [19].



Şekil 3.2: Fırsat Şarjı İçin ABB Tarafından Sunulan Bir Flaş Şarj Cihazı [19]

Depo şarjı, filonun günlük operasyonunu tamamladıktan sonra otobüs deposunda yavaş şarj edilmesidir. Şekil 3.2’de depo şarjı için bir çizim sunar [20] . Otobüs hareket halindeyken, kablosuz şarj veya trolleyler ve havai kablolar ile rota içi şarj uygulanır. Filonun yolculuğunu yüksek pil enerjisi ile tamamlamasını sağlar. Şekil 3.3’de Güney Kore’deki çevrimiçi elektrikli araç sistemini kablosuz endüktif şarj sistemi ile elektrikli otobüs işletimine bir örnek olarak sunmaktadır [41]. Son olarak,

son istasyon şarjı, bir otobüsün iki ardışık yolculuk arasında ilk veya son istasyonda şarj edilmesini ifade eder. Şarj senaryosu, enerji depolama sisteminin boyutu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin, şarj sadece depoda planlandığında, enerji depolama sistemi filonun günlük rotayı tamamlayabilmesi için yeterli büyüklükte olmalıdır. Öte yandan, otobüs daha sık şarj edilerek daha küçük enerji depolama sistemleri kullanılabilir. Böyle bir sistemin bir örneği, elektrikli otobüs enerji depolama sisteminin otobüs duraklarında tipik olarak bir dakikadan daha kısa bir süre için hızlı şarj edildiği fırsat şarjı olarak adlandırılır. Çizelge 3.1'de karşılaştırıldığında, her şarj stratejisinin altyapı maliyeti, şarj enerjisi, pilin düşük [22] Boşalma derinliği kullanma durumu, pil boyutu, pil maliyeti ve karmaşıklığı açısından artıları ve eksileri vardır. Boşalma derinliği, tam olarak şarj edilmiş pilden çıkarılan pil kapasitesinin yüzdesidir.



Şekil 3.3: Depo Şarjı ve Depodaki Olası Şarj Sistemleri [19]



Şekil 3.4: Güney Kore Gumi Şehrindeki Kablosuz Şarj Sistemi [21]

Çizelge 3.1: Elektrikli otobüsler için farklı şarj stratejilerinin karşılaştırılması

Şarj stratejisi	Altyapı maliyeti	Şarj enerjisi	Düşük Deşarj Derinliği	Pil boyutu, maliyet	Zorluk
Fırsat Şarj	-*	-	+**	+	-
Depo şarjı	+	+	-	-	+
Yolda şarj	-	+	+	+	-
Son istasyon şarjı	+	-	+	+	-
Değiştirilebilir batarya	-	+	+	-	-

*Zayıf (-), **İyi (+)

3.1 Daha Çok Kullanılan Batarya Tipleri

Piller kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılır. Esas olarak iki farklı pil türü vardır: şarj edilebilir piller ve şarj edilemeyen piller. Birincil piller yalnızca tek kullanımlıdır, bir kez boşaldıktan sonra yeniden şarj edilemezler. Sekonder piller deşarj olduktan sonra tekrar şarj edilebildiği için çoklu kullanıma uygundur. İkincil pilin döngü sayısı pil tipine ve kimyasına bağlıdır [2].

İlk ikincil pil, kurşun asitli bir pil olan 1859'da Gaston Planté tarafından icat edildi. Tipik kurşun asitli bir pil pilinde, kurşun dioksit pozitif aktif malzemedir, kurşun negatif aktif malzemedir ve seyreltik sulu sülfürik asit elektrolittir, burada hücre voltajı nominal 2V civarındadır[25]. Tipik olarak, 35-40 Wh/kg özgül enerji yoğunluğu, 250 W/kg özgül güç yoğunluğu ve 1500 ila 5000 döngü, kurşun asitli bir pilleri için 150-200 \$/kWh maliyetle 15 yıllık hizmet ömrü elde edilebilir kurşun asitli pilleri, nispeten düşük maliyetlerle düşük bakım çalışmaları gerektirir. Bugün, LA pilleri tipik olarak otomotiv endüstrisinde düşük voltajlı (12V) enerji depolama sistemleri ve sabit uygulamalar için güç kaynağı olarak kullanılmaktadır [25].

Nikel bazlı piller de son iki yüzyılda yaygın olarak kullanılmaktadır. 1899'da Nikel Kadmiyum (NiCd), Ernst Waldemar Jungner tarafından ilk Ni bazlı pil olarak icat edildi [25]. NiCd için, pozitif elektrot nikel-demir olan ve negatif elektrot kadmiyumdur, hücre maksimum voltajı 1,3 V ve hücre nominal voltajı 1,2 V'dir [26]. Nikel-kadmiyum pillerin ana dezavantajı, kadmiyumun toksisitesidir. Bu, nikel-demir (NiFe), nikel-çinko (NiZn) ve nikel-metal hidrit (NiMH) gibi farklı nikel bazlı pillerin icadına yol açtı. Çizelge 3.2'de nikel bazlı pillerin temel özelliklerini sunar [27].

Çizelge 3.2: Nikel Bazlı Pillerin Ana Özellikleri [28]

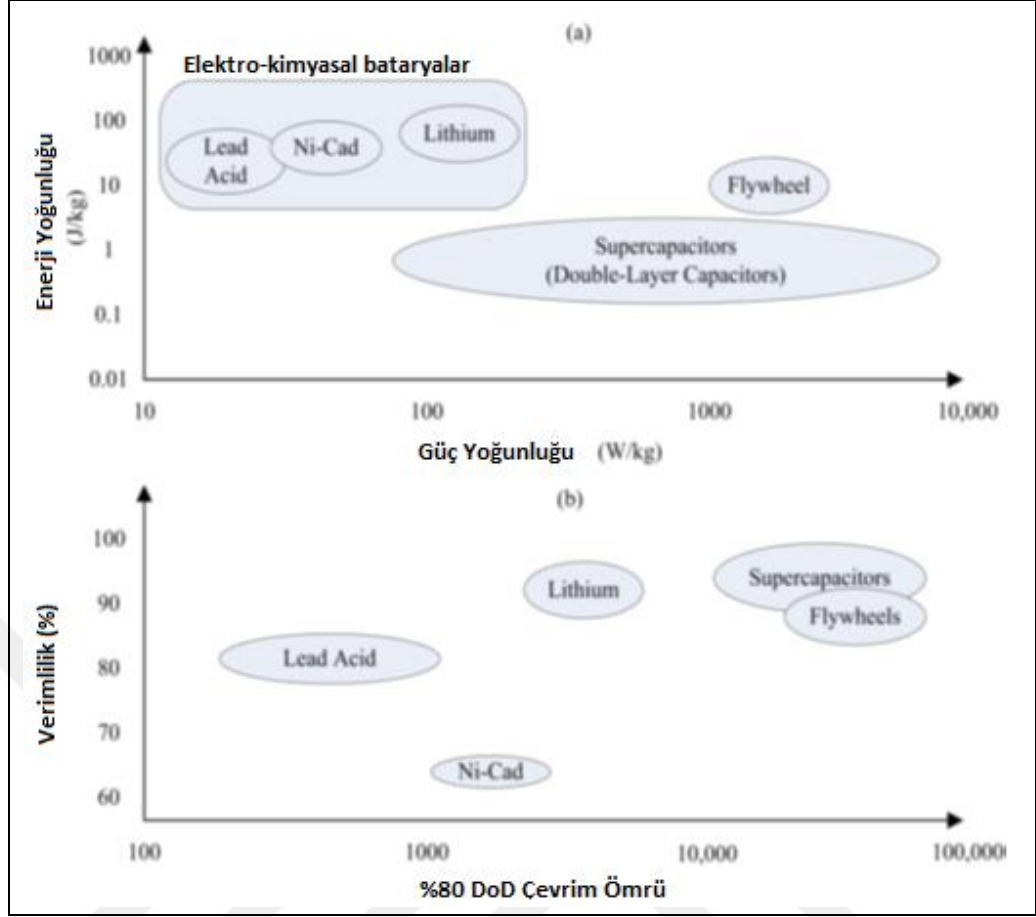
Batarya tipi	Nom sell voltajı (V)	Spesifik enerji (Wh/kg)	Spesifik güç (W/kg)	Enerji verimliliği (%)	Döngüsü
NiCd	1.2	50 – 60	200	70 – 75	>1500
NiFe	1.2	30 – 60	100	60 – 70	1500
NiZn	1.2	80 – 100	170 – 1000	70 – 80	<500
NiMH	1.2	60 – 170	170 – 1000	70 – 80	>1000

3.2 Li-ion Bataryaları

Günümüzde çoğu elektrikli araç, tek şarjla yüksek menzil, yüksek çalışma voltajı, yüksek kapasite ve sınırlı pil paketleme alanı için çevrim ömrü gibi elektrikli araçların zorlu gereksinimleri nedeniyle bir tür li-ion pil ile donatılmıştır. Li-ion piller, yüksek enerji ve güç yoğunlukları, düşük kendi kendine deşarj oranı, yüksek çevrim ömrü ve düşük güç kayıpları sunar. Şekil 3.4’de, farklı enerji depolama sistemlerinin özelliklerini göstermektedir [23].

Li-ion pil bir anot, katot, elektrolit ve ayırıcıdan oluşur. İyonlar elektrolit içinden anot ve katot arasında akar. Elektrolit, lityum heksaflorofosfat (LiPF₆), lityum-perklorat (LiClO₄) ve lityum-heksafloroarsenat (LiAsF₆) gibi organik çözücüler ve lityum tuzlarından oluşur. Hücrenin dahili kısa devresini önlemek için anot ve katot arasında ayırıcı duvar kullanılır. Ayırıcı duvar tipik olarak polipropilen ve polietilenden yapılır. Katot genellikle alüminyum akım toplayıcı ve katot aktif malzemelerden oluşur. Şekil 3.5’de, silindirik ve kese şeklindeki hücreler için li-ion pil yapısını göstermektedir.

Günümüzde li-ion piller genellikle 3 farklı şekilde bulunur: silindirik, torbalı ve prizmatik. Silindirik hücreler sert kasalara sahiptir ve tipik olarak şeritlerden yapılır.



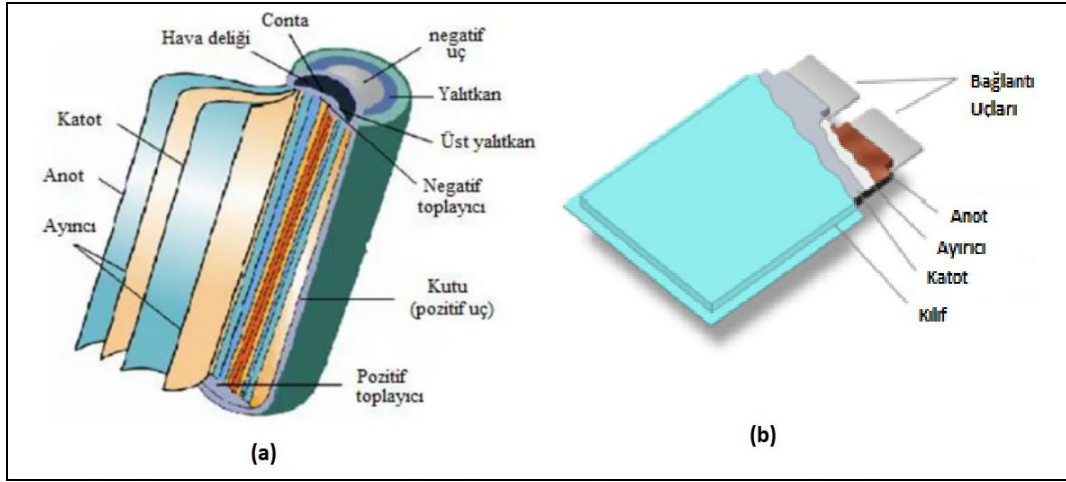
Şekil 3.5: Farklı Enerji Depolama Sistemlerinin Özellikleri [23]

Bu konfigürasyon birçok farklı uygulamada kullanıldığından, silindirik hücreler genellikle daha düşük maliyetle mevcuttur. Kесе hücresi, daha hafif olmasını sağlayan, ancak mekanik stabiliteyi azaltan bir folyo kese içinde kapsüllenmiştir. Prizmatik hücreler genellikle metal muhafazalıdır, bu da mekanik stabilitenin yanı sıra ağırlığı da arttırır. Daha verimli alan kullanımı sağladığı için bu çalışmada kese hücre tipi ele alınmıştır [29]. Çizelge 3.3’de yaygın olarak kullanılan E-bus lityum batarya kimyalarının güvenlik, enerji ve güç yoğunlukları, maliyet ve çevrim ömrü gibi değişkenler açısından karşılaştırılmasına yer verilmektedir.

Şarj edilebilir bir li-ion pilde, elektrik enerjisi ile kimyasal enerji arasındaki dönüşüm her iki yönde de gerçekleşir. Şarj sırasında, lityum iyonları elektrolit aracılığıyla katottan anoda taşınır. Deşarj sırasında lityum iyonları anottan katoda taşınır. Anotlarda ve katotlarda kullanılan aktif malzemeler, li-ion pil performansı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Şekil 3.6’da bir li-ion pilin deşarj ve şarj işlemlerini göstermektedir.

Piyasada farklı li-ion pil türleri mevcuttur. Lityum demir fosfat (LFP), lityum

titanyum oksit (LTO) ve lityum nikel manganez kobalt oksit (NMC), elektrikli otobüs pil paketlerinde kullanılan en yaygın li-ion pil türleridir.

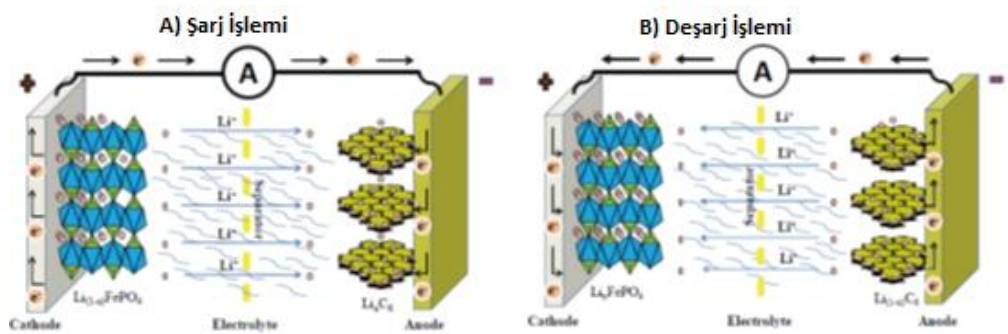


Şekil 3.6: Silindirik ve Kese Bir Li-ion Bataryanın PİL Yapısı [23]

Çizelge 3.3: Yaygın E-Bus li-ion Akü Kimyalarının Karşılaştırması

Li-iyon kimyası	Güvenlik	Spesifik enerji	Spesifik güç	Maliyet	Kabul edilebilir	Termal kaçak	Döngü numarası
Lityum Demir Fosfat	0	+	+	0	0	0	0
Lityum - Nikel Manganez – Kobalt - Oksit	+	0	0	+	-	+	0
Lityum Titanyum Oksit	+	-	-	-	+	+	+

İyi (+), Nötr (o), Zayıf (-)



Şekil 3.7: Li-ion Pil Şarj Etme (A) ve Boşaltma (B) İşlemleri [30]

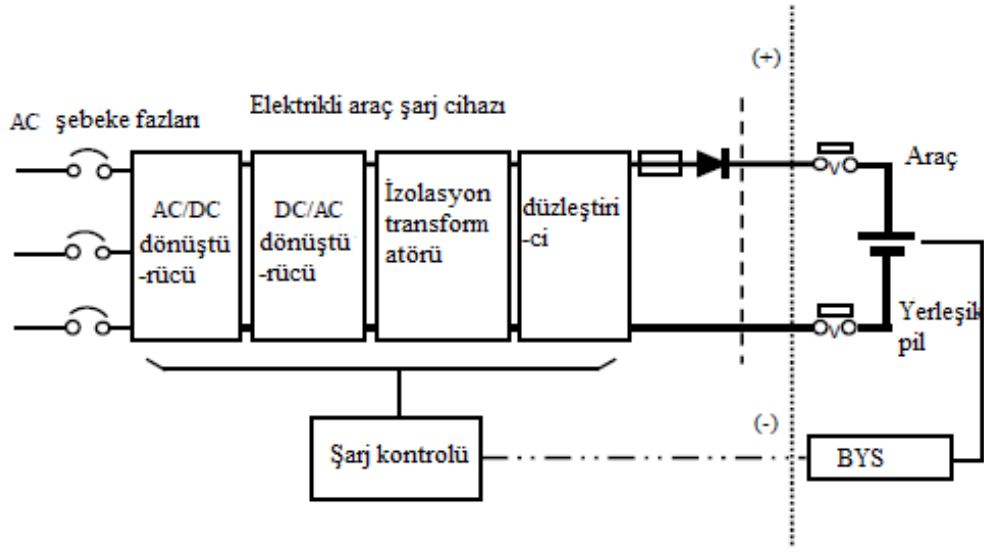
Anot malzemesi genellikle grafitten yapıldığından, farklı kimyalar tipik olarak katot malzemesi tarafından adlandırılır. LTO, farklı bir anot malzemesiyle bir istisnadır. Çizelge 3.3 yaygın E-Bus li-ion pil kimyaları arasındaki karşılaştırmayı sunar. LFP, NMC ve LTO'nun teknik detayları bölüm 4.1 ve 4.2'de sunulmaktadır [31].

3.3 Hızlı ve Ultra Hızlı Şarj

Akülü Elektrikli Araçların menzil mesafesi arttıkça, şarj sürelerini azaltmak için sektör paralel çalışıyor. Bu amaç için kullanılan teknoloji, 120 kW'a kadar güç seviyelerini içeren Hızlı, Hızlı veya Ultra Hızlı şarj olarak adlandırılmıştır. Son zamanlarda, 350 kW civarında güç seviyelerine ulaşan aşırı hızlı şarj piyasaya sürülmüştür [42]. Ana amacı, belirli pil kapasitesine bağlı olarak, bitmiş bir pil grubunu 15 dakika veya daha kısa sürede %80'e kadar yeniden şarj etmektir. Pili Elektrikli Araçların uzun mesafeli yolculuklarda kullanımını daha rahat hale getirir[43].

Elektrikli araç şarj cihazının amacı şebekeden gelen enerjiyi kontrollü bir şekilde aküye aktarmaktır. Bu işlem, aracın içinde, düşük güçle sınırlayan yerleşik bir şarj cihazı kullanılarak veya harici olarak DC şarj cihazı olarak da bilinen yerleşik bir şarj cihazı aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Yerleşik şarj cihazlarının gücü, alan, kütle ve maliyet kısıtlamaları nedeniyle sınırlıdır. Bu ekipman, DC çıkış akımını ve voltajını kontrol eden bir AC/DC dönüştürücü kullanarak aracın geleneksel 1 fazlı veya 3 fazlı AC sistemlerinden doğrudan şarj edilmesini sağlar. Bu arada, yerleşik şarj cihazları genellikle alan veya kütle ile sınırlı değildir, bu da güç seviyelerinin yüzlerce kilowatt'a ulaşmasını sağlar. Şekil 3.7, bir AC/DC dönüştürücü, bir DC/AC dönüştürücü, bir yüksek frekans dönüştürücü ve bir düzleştiriciden oluşan geleneksel bir hızlı şarj topolojisini göstermektedir. Gösterildiği gibi, şarj cihazının çıkışı, şarj sürecini ve güvenlik prosedürlerini kontrol etmek için şarj cihazı ile Batarya Yönetim Sistemi(BYS) arasında bir iletişim bağlantısı sağlayarak, doğrudan elektrikli araç yerleşik bataryasına bağlanır[44,46]. Çizelge 3.4'de sık görülen bazı elektrikli araçların batarya kapasitesi, gerilimi, menzili, şarj gücü değerleri görülmektedir[44].

Doğru akım şarjı veya DC hızlı şarj cihazları için teknik özellikler, uluslararası elektroteknik komisyonu tarafından IEC 61851-1.61851-21-2 61851-23, 61851-24 standartları ve Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü tarafından IEEE 20130.1.1. TM-2015. standart aracılığıyla tanımlanmıştır[45].



Şekil 3.3: Geleneksel bir hızlı şarj topolojisi [42].

Çizelge 3.4: Bazı elektrikli araçların batarya kapasitesi, gerilimi, menzili, şarj gücü değerleri [44].

Elektrikli araç	Batarya kapasitesi (kWh)	Batrya gerilimi (V)	Mesafe Aralığı (km)	Hızlı Şarj Gücü (kW)
Tesla Model S	100	350	539	120
Tesla Model X	100	350	475	120
Chevy Bolt	60	N/A	383	N/A
Renault Zoe	41	400	281	43
Nissan Leaf	40	350	270	50
Hyundai IONIQ	28	360	200	100
KIA Soul EV	30	375	174	50- 120
Audi E-tron	95	400	400	150
Jaguar I-PACE	90	390	470	100
Rapide E ^a	65	800	N/A	100
Porsche Taycan ^a	95	800	500	350

4. E-BUS BATARYA PAKETİNİN ELEKTRİKSEL TASARIMI ve YERLEŞİMİ

Elektrikli araç akü tasarımı, kimya mühendisliği, imalat mühendisliği, makine mühendisliği ve elektrik mühendisliği gibi farklı disiplinlerin katkısını gerektiren karmaşık bir süreçtir.

Bu Bölümde, maliyet optimizasyonundan elde edilen kurulu akü enerjisi sonucuna dayalı olarak eklemli bus HV aküsünün elektriksel konsept tasarımı sunulmaktadır. Bu amaçla gerekli hücre sayısı, modül ve paket konfigürasyonu, akü voltaj ve akım seviyeleri, akü paketi konumu, elektrik mimarisi, elektrik güvenliği, kısa devre arızası, elektrik/elektronik (E/E) bileşenleri, kapatma konsepti, eş potansiyel bağlama kavramı ve pil yönetim sistemi kavramı analiz edilir. [33].

Pil hücreleri, modülleri oluşturmak için, hücreleri mekanik etkilerden korumak için yapısal bir çerçevede kullanılır. Pil takımı, seri veya paralel bağlanabilen modüllerden oluşur. Bir pil paketinde modüllere ek olarak koruma elemanları ve kontrol sistemleri, örneğin BMS vardır. Hücreden paket yapısına bir örnek Şekil 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1: Akü Sisteminin Elektriksel Konfigürasyonu [33]

Hücrelerin veya modüllerin seri bağlanması ile akü voltajı artırılabilir. Öte yandan, paralel bağlantılarla pil kapasitesi artırılır.

Seçilen hücrenin parametreleri Çizelge 4.1'de, hücre resmi ise Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2: Seçilen LFP hücresi [33]

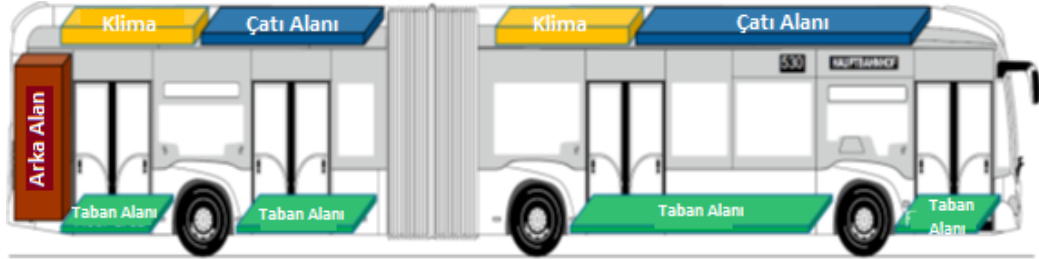
Çizelge 4.1: Hücre parametreleri [33]

Parametre	Değer	Birim
Anma gerilimi	3,2	V
Üst voltaj sınırı	3,65	V
Alt voltaj sınırı	2,5	V
Kapasite	45	Ah
DC dahili empedans	< 2	mW
Kütle	0,99	Kg
Genişlik	165	mm
Yükseklik	275	mm
Kalınlık	13	mm
Hacim	0.59	L

Ayrıca, mevcut pil paketi alanı göz önünde bulundurularak hücrelerin konfigürasyonu E-Bus ana gövdesinde dikkate alınmalıdır. Modüler pil paketi konsepti, bu çalışmada, birkaç özdeş pil paketinin veri yolu şasisi üzerinde dağılımını açıklayan ele alınmıştır. Bu, farklı hatlarda/uygulamalarda farklı pil boyutlarının gerekliliği göz önünde bulundurularak genel pilin ölçeklenebilirliğini sağlar. Her modüler paket, alt paket olarak adlandırılır. Alt paketler, genel pil sistemini oluşturur. Bu çalışmada, alt paketlerden biri servis dışı olduğunda bile otobüsün sürülebilirliğini sağlayan alt paketler paralel olarak bağlanmıştır.

4.1. Pil Paketinin Yerleştirilmesi ve Pil Soğutma Yöntemi

Otobüs ana gövdesindeki pil alt paketi konumları tanımlanmalıdır. 18 metrelik mafsallı bus olası akü konumları Şekil 4.3’de işaretlenmiştir ve aşağıdaki listede değerlendirilmiştir [32]:



Şekil 4.3: 18 Metrelik Mafsallı Otobüs İçin Olası Akü Konumları

4.1.1 Zemin Alanı

Zemin alanındaki kullanılabilir alan sınırlıdır. Özel bir merdiven gerekmediğinden servis kolaylığı çatı alanından daha kolay olabilir. Yüksek vücut modifikasyon çabaları gerektirir ancak daha düşük bir ağırlık merkezi (CoG) noktası sağlar. Hücrelerin termal yönetimi göz önüne alındığında, soğutma sıvısı boruları için sınırlı alan vardır. Ayrıca zemin alanındaki li-ion pil, alttan izinsiz girişin meydana geldiği çarpışma senaryoları için risklidir. Yüksek YG ve AG ayrılması gereken optimum kablo tesisatı yönlendirmesi için kullanılabilir alan da sınırlıdır.

4.1.2 Tavan Alanı

Tavan alanı, otobüsün zemin ve arka alanlarına kıyasla pil takımının yerleştirilmesi için en büyük hacmi sağlar. Uzunluktaki hacim sınırlaması tipik olarak klima (A/C) ünitesidir. Modüler paket yaklaşımı, A/C ünitesi orta çatı konumunda olsa bile çatı alanının yüksek oranda kullanılmasını sağlar. Çatıda alt paketlerin erişilebilirliği için servis alanında özel bir bakım ortamı sağlanmalıdır. Üst çerçeve bu amaç için özel olmalıdır. Çatı alanı, ağırlık merkezinin yüksekliğini artırır ve devrilme riskinin spesifik otobüs yapısı içinde ayrıntılı olarak analiz edilmesi gerekir. Çatı alanında optimum termal koşullandırma ve YG ve AG kablo tesisatı yönlendirmesi için yeterli alan vardır.

4.1.3 Arka Alan

Arka alan, geleneksel otobüsler için motor bloğu alanı olarak bilinir. E-otobüslerde pil alanı olarak kullanılabilir. Kullanılabilir alan, motor bölmesi hacmine bağlıdır ve tipik olarak zemin alanından daha büyüktür. Montaj ve servis kolaylığı, çatı alanına kıyasla arka alan için daha kolay olabilir. Ancak arka aksa ekstra yük bindirir, kalkış açısını azaltır ve arkadan çarpışma durumunda daha fazla tehlike getirir. Vücutta gerekli modifikasyon nispeten düşüktür; ancak, termal yönetim ve kablo demeti yönlendirme için mevcut alan, çatı alanından daha küçüktür.

Yukarıda sayılan noktalara ek olarak düşük açılı eğimli toplu taşıma otobüslerinde tekerlekli sandalye rampası sağlanacaktır. Bu, toplu taşıma otobüsleri için yaklaşık 100 mm olan taban alanındaki mevcut pil alanının yüksekliğini büyük ölçüde sınırlar. E-Bus LFP pil takımının hacim yoğunluğu için, hücreden modüle ve hücreden pakete sırasıyla 0,8 ve 0,5 olarak piyasa temel değerleri dikkate alınır. Bu, hücreden pakete %40 hacim verimliliği sağlar. Alt paket konfigürasyonu ve seçilen hücre hacmi göz önüne alındığında, her bir alt paket yaklaşık 1.035 m³'ü kapsıyor. 18 metre körüklü otobüs teorik olarak akü yerleştirme hacminin tavan ve arka alan için sırasıyla 5,4 m³ ve 4 m³ olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle çatı ve arka alanlara 6 adet alt paket yerleştirilebilir.

4.1.4 Soğutma Yöntemleri

Çeşitli soğutma yöntemleri içinde, 18 metrelik bir veriyolu hacminde soğutma borularını yerleştirmek için yeterli alan olduğundan sıvı soğutma, bir e-bus uygulaması için en uygun çözümdür. Daldırılmalı soğutma, aküyü soğutmak için daha da iyidir, ancak ticari bir otobüs aküsü için, soğutma yağının getirdiği muazzam ek ağırlık ve maliyet düşünüldüğünde bu uygun bir seçenek değildir. Pasif (hava) soğutma, daldırma ve sıvı soğutmadan daha basit ve daha ucuz bir seçenektir, ancak soğutma performansı nispeten düşüktür. Ayrıca, LFP hücrelerini istenen sıcaklık aralığında tutmak, hücre döngüsü ömrünü en üst düzeye çıkarmak için çok önemlidir. Detaylı termal ve mekanik tasarım konsepti bu çalışmanın bir parçası değildir.

5. REJENERATİF FRENLEME

Hibrit elektrikli araçlar, yakıt tüketimini ve emisyonu azalttıkları için son yıllarda oldukça ilgi görmektedir Hibrit elektrikli araçların (HEA) önemli bir sistemi rejeneratif fren sistemidir (RFS). RBS, hibrit elektrikli araçlara frenleme sırasında önemli miktarda enerjiyi geri kazanma yeteneği sağlar. Bu amaçla, EV'lerde ve HEA'lerde bulunan elektrik motoru, aracın kinetik ve potansiyel enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için bir jeneratör olarak çalışacak şekilde kontrol edilebilir. Geri kazanılan elektrik enerjisi, ileride kullanılmak üzere pillerde depolanır [34].

Genel olarak, aracı yavaşlatmak için gereken frenleme torku, bir elektrik motorunun sağlayabileceği torktan çok daha büyüktür. Çoğu HEA, bir RFS'ye ek olarak geleneksel fren sistemini kullanır. Bu nedenle, hem mekanik hem de elektrikli fren sistemlerinin uygun tasarımı ve kontrolü büyük endişe kaynağıdır. HEA'lerde rejeneratif frenleme alanında, bazı çalışmalar rejeneratif modeller , rejeneratif sistem modellerinin simülasyonu ve motor kontrolü üzerine odaklanmıştır [35].

Rejeneratif fren sisteminde karmaşık bir kontrol fonksiyonları montajı geliştirmek için aracın davranışını dinamik bir ortamda modellemek gerekir. Her bir fren stratejisini kullanarak araç performansını ve yakıt ekonomisini değerlendirmek için AVL/CRUISE yazılımı kullanılır. Bu faydalı yazılım, düşük emisyonlu motorlar, güvenilir güç aktarma organları ve motorların, soğutma, şanzıman ve fren sistemlerinin karmaşık kontrol sistemlerini geliştirmek ve optimize etmek için kullanılır. Hibrit elektrikli araçlarda rejeneratif fren sistemi tasarlamak geleneksel fren sistemleri tasarlamaya göre daha karmaşıktır. Gerekli frenleme kuvvetinin rejeneratif fren sistemi ile mekanik sürtünmeli fren sistemi arasında dağıtılma şekli. gerekli fren performansını kaybetmeden aracın kinetik enerjisini mümkün olduğunca geri kazanmak temel sorundur. birçok farklı frenleme stratejisiyle tasarımcının karşısına çıkıyor [4].

Rejeneratif fren sisteminin tasarımında iki önemli problem vardır. İlk olarak, aracın kinetik enerjisini mümkün olduğunca geri kazanmak için gerekli toplam frenleme kuvvetlerinin rejeneratif fren ile mekanik fren arasında nasıl dağıtılacağı; İkincisi,

durma mesafesini en aza indirmek ve araç dengesini korumak için toplam frenleme kuvvetlerinin ön ve arka akslara nasıl dağıtılacağı. Genellikle rejeneratif frenleme sadece bu çalışmada arka aks olan tahrikli aks için etkilidir. Çekiş motoru, kinetik enerjiyi mümkün olduğunca geri kazanmak için uygun miktarda frenleme kuvveti üretecek şekilde kontrol edilmeli ve aynı zamanda sürücünden gelen fren kuvveti komutunu karşılamak için mekanik fren kontrol edilmelidir. Temel olarak, üç farklı fren kontrol stratejisi vardır: optimal frenleme hissi ile seri frenleme, optimal enerji geri kazanımı ile seri frenleme; ve paralel frenleme [36].

Bizim durumumuzda, arka tekerleklerdeki (tahrikli aks) fren kuvveti iki kısımdan oluşur: rejeneratif fren kuvveti ve mekanik olarak sürtünmeli fren kuvveti. Arka dingil için talep edilen frenleme kuvveti, elektrik motorunun üretebileceği maksimum frenleme kuvvetinden daha az olduğunda, sadece elektriksel olarak rejeneratif frenleme uygulanacaktır. Ancak komut verilen gerileme kuvveti, mevcut rejeneratif fren kuvvetinden daha büyük olduğunda, elektrik motoru maksimum frenleme torkunu çalıştıracak ve kalan frenleme kuvveti mekanik fren sistemi tarafından sağlanacak.

Paralel fren sistemi, hem elektrikli (rejeneratif) bir fren hem de paralel ve aynı anda frenleme kuvvetleri üreten mekanik bir fren içerir. Paralel fren sistem, ön ve arka tekerleklerde sabit bir fren kuvveti dağılımı oranına sahip geleneksel bir mekanik frenlemeye sahiptir. Rejeneratif frenleme, arka tekerleklere ilave fren kuvveti ekleyerek toplam fren kuvveti dağılım eğrisini oluşturur. Ön ve arka akslardaki mekanik frenleme kuvvetleri, ana silindirdeki hidrolik basınçla orantılıdır. Mevcut rejeneratif frenleme kuvveti motor hızının bir fonksiyonu olduğundan ve neredeyse hiçbir kinetik enerji düşük motor hızında geri kazanılması durumunda, yüksek araç yavaşlamasında (örn. $j/g=0,8$) rejeneratif frenleme kuvveti, fren dengesini korumak için sıfır olacak şekilde tasarlanmıştır. Talep edilen yavaşlama bu yavaşlamadan daha az olduğunda rejeneratif frenleme etkindir [36].

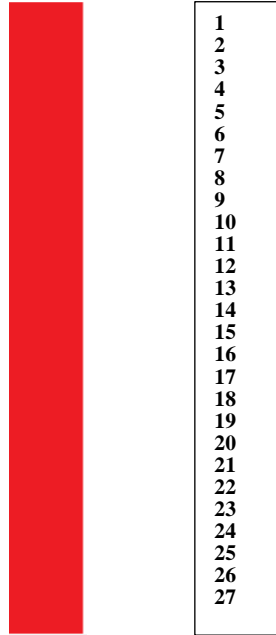
6. METROBÜS İÇİN ÖNERİLEN E-BUS KONSEPTİ

Çalışmanın yürütüldüğü otobüs hattı Baku'dadır. Pirşağıdan Nizami metrosuna çalışan bu otobüs 450 bin yolcu taşıma kapasitesindedir. 27 istasyonlu otobüs güzergahında 1 hat bulunuyor. Bu hattın ilk durağı Pirşağı son durağı Nizami metrosudur. Ayrıca bu hatta çalışan otobüs sayısı günlük olarak değişmektedir. Çizelge 8.1 metrobüs hattının sayısal verilerini göstermektedir. Hat boyunca hareket eden toplam 27 otobüs bulunmaktadır. M1 hatı için hat ve güzergah bilgileri Çizelge 6.1'de verilmiştir. Güzergah haritası Şekil 6.1 de görülmektedir [3].

Çizelge 6.1: M1 Hattı İçin Hat ve Güzergah Bilgileri

Rota numarası	Araç sayısı	Geri dönüş süresi (bir döngü)	Parkur uzunluğu (km)	Durak sayısı	Ortalama araç hızı (km/s)	Ortalama geri dönüş süresi (s)	Araç başına toplam menzil (km)
M1	27	160	50	27	35	690	260

M1 hattı rotası

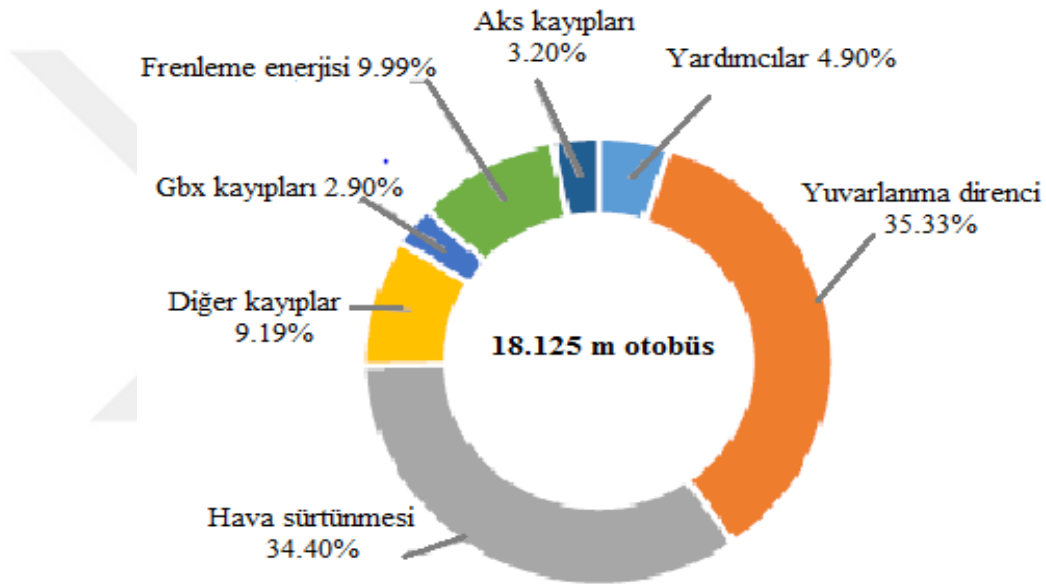


Şekil 6.1: M1 Hattı Güzergah Haritası [3]

Gerekli akü kapasite değerleri hesaplanırken bir otobüsün en uzun hattı iki kez kat

etme kapasitesine sahip olduğu kabul edilir. Enerji tüketim değeri 19.725 metrelik otobüs için 250 kWh / 100 km ve 18.125 metrelik otobüs için 239 kWh / 100 km'dir. Bu tüketim değerleri, hava sürtünme kuvveti, yuvarlanma direnci, vites kutusu kayıpları, aks kayıpları vb. araç dinamikleri dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Şekil 6.2'de bir araca ait enerji kayıpları pasta grafikte verilmektedir.

Analizlerde diğerinden daha büyük olan enerji tüketim değeri dikkate alınmıştır. Bunun avantajlarından biri de tek tip pil kullanmanın üretim bazlı fiyat avantajıdır. Şekil 6.2'de araç dinamiği ve yardımcı yüklerden kaynaklanan enerji kayıplarının yüzdesini vermektedir.



Şekil 6.2: Enerji Kayıpları

Otobüsler için ayrıntılı tüketim verileri Çizelge 6.2'de gösterilmektedir. Hesaplamalarda otobüslerin ortalama hız değeri 40 km/h olarak alınmıştır. Otobüslerin yolcu taşıma kapasitesi toplam ağırlığı etkileyen bir faktördür. Her otobüs de toplam 160 yolcu taşıyabilir. Hesaplamalarda resmi veriler kullanılarak ortalama doluluk oranı %60 olarak alınmıştır.

Elektrikli otobüslerde kullanılan akü gruplarının enerji ve güç yoğunlukları, araç menzilini doğrudan etkileyen önemli bir rol oynamaktadır. Gün içerisinde tam zamanlı çalışmayı gerektirdiğinden, otobüslerin ağırlığı ve gün boyunca sürekli yolcu taşınması göz önünde bulundurularak batarya tasarımı yapılmalıdır. Bu tip uygulamalarda akü sisteminden talep edilen devir sayısını yüksek vermesi istenmektedir. Bu talep, yüksek çevrim ömrüne uygun LFP tipi hücre ile

sağlanmaktadır. Buna göre ortalama çevrim sayısı 6000 olarak kabul edilmiştir. Her hatta yolcu taşıyan otobüslerin enerji tüketim değerleri Çizelge 6.3’de verilmiştir. Toplam istenen enerji değeri, otobüslerin akü kapasitesinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Otobüslerin bu hat üzerinde (50 km) iki tur yapabilmesi için gerekli enerji yaklaşık 520 kWh'dir. Ancak bu değer otobüsün ihtiyaç duyduğu kullanılabilir enerjidir. Piller %0 ile %100 SoC (Şarj Durumu) değerleri arasında şarj ve deşarj olmamalıdır. Bu noktada, SoC penceresi kavramı tanımlanır. Burada verilen enerji değeri kullanılabilir enerjiyi temsil etmektedir. Pillerin ömrünü uzatmak için SoC pencere değeri %5-92 olarak belirlenmiştir. Bu durumda kurulu akü kapasite değeri 600 kWh olarak hesaplanır.

Çizelge 6.2’de elde edilen enerji değerlerine göre Çizelge 8.3’de araç başına günlük şarj hesaplanmıştır. Bu hesaplamanın amacı 600 kWh akü kapasiteli otobüsün günde kaç kez şarj edilmesi gerektiğini belirlemektir. Hesaplamalar tüm hatlar için ayrı ayrı yapılır.

Çizelge 6.2: Bir Çevirim İçin Enerji Tüketim Değeri

Otobüs	M1
Mesafe (km)	50 km
Enerji tüketimi (kWh) IVECO	124.2 kWh

Çizelge 6.3: Araç Başına Günlük Şarj Değerleri

Hat Güzergahı	Günlük otobüs seferleri sayısı	Otobüs başına yolculuklar	Günlük şarj sayısı	Toplam otobüs/şarj sayısı	Pil EOL (yıl)	Fizibilite e-otobüs için	Gerekli Şarj Cihazı
M1	108	5	1.25	32	7	-	34

Elde edilen verilere göre M1 hattına çalışan otobüslerin günde 34 kez edilmesi gerekiyor. Bu hatta hizmet vermeye başlayan otobüsler düşünüldüğünde her otobüsün günde en az 1 defa şarj edilmesi gerekiyor. Bu değerler, Çizelge 8.3’de verilmiştir. Bu metrobüs hattı için toplam istenen Otobüs/Şarjsayısı 34’dır. Bu değer, hat boyunca kurulan toplam şarj cihazlarının günde 34 aracı şarj etmesi gerektiğini gösterir. 600 kWh pil kapasiteli bir otobüs ortalama 3 ile 6 saat arasında şarj olacaktır. Bir aracın şarj süresinin yaklaşık 4 saat olduğu varsayıldığında, bir şarj cihazı 24 saatte 6 pil takımını şarj edebilir.

Metrobüs hattında, otobüslerin gerekli şarj süresi boyunca park edebileceği 3 istasyon bulunmaktadır. Referans alınan istasyon numaraları 1, 8 ve 27'dir. Bu nedenle şarj cihazları bu 3 durakta olacaktır. Ancak şehir merkezinde bulunan istasyonlarda yer darlığı nedeniyle bu sayıda şarj cihazı kurmak mümkün değildir.

Şarj istasyonuna uygun yerler incelendiğinde, mevcut otobüs park yeri dikkate alındığında toplamda 3'den fazla şarj cihazı yerleştirmek mümkün değildir. Bu sonuçlara göre 24 saatte toplam 18 - 20 arası otobüs şarj etmek mümkün. Bu varsayım ile Çizelge 6.3'de günlük araç/şarj sayısı sütununda elektrikli otobüslerin çalışmasına uygun olmadığı gösterilmiştir. Elektrifikasyona uygun olmadığı işaretlenmiştir.

Öte yandan, pil ömrü de değerlendirilir. Uygulanan hücrelerin maksimum şarj-deşarj döngüsü 6000 olarak kabul edilmiştir. Bu değerlere göre M1 hattına çalışan otobüsün pil ömrü Çizelge 6.3'de verilmiştir. TMS (Toplam Maliyet Sahipliği) açısından 7-8 yıldan az olan pil ömrü içten yanmalı motora göre etkin değildir.

Bu varsayıma göre, Çizelge 8.3'deki Pil (Ömrünün Sonu) sütunundaki M1 hattı için elektrifikasyon uyumlu değildir. Her iki kolon (Toplam otobüs/şarj sayısı ve Batarya ömrü) birlikte incelendiğinde bu hattın ulaşımın elektriksel dönüşümü için uygun olmadığı görülmektedir.

7. DEĞİŞTİRİLEBİLİR BATARYALAR

Pil değişimi veya hizmet olarak pil, elektrikli araç sahiplerinin takas istasyonlarında boşalmış pilleri şarjlı pillerle değiştirmesine olanak tanır. Pil boşaldığında, sahibi tam şarjlı bir pil ile değiştirebilir. Bu, şarj istasyonları kurma sorununu çözecek ve ayrıca sürücülerin menzil kaygısını azaltacaktır. Ayrıca, pil kiralama, elektrikli araç sahiplerinin pil satın alma maliyetinden tasarruf etmesine yardımcı olabilir. Servis daha az zaman alır ve saatler sürebilen bir pil istasyonunda şarj etmeye kıyasla yalnızca birkaç dakika sürer. Ayrıca minimum altyapı gerektirir [38].

Bir değiştirilebilir batarya stasyonu, tipik olarak, bitmiş elektrikli araçların pillerini çıkarmak ve değiştirmek için robotik kollar kullanır. Şekil 9.1’de gösterilen yan değiştirme yöntemi esas olarak elektrikli otobüsler ve kamyonlar gibi büyük araçlar için geçerlidir. Tüm değiştirme işlemi, büyük bir ICE aracına yakıt ikmali için gereken süreden çok daha kısa olan 4 dakika içinde tamamlanabilir [39]. Şekil 7.1’de örnek bir batarya değiştirme senaryosu verilmektedir.

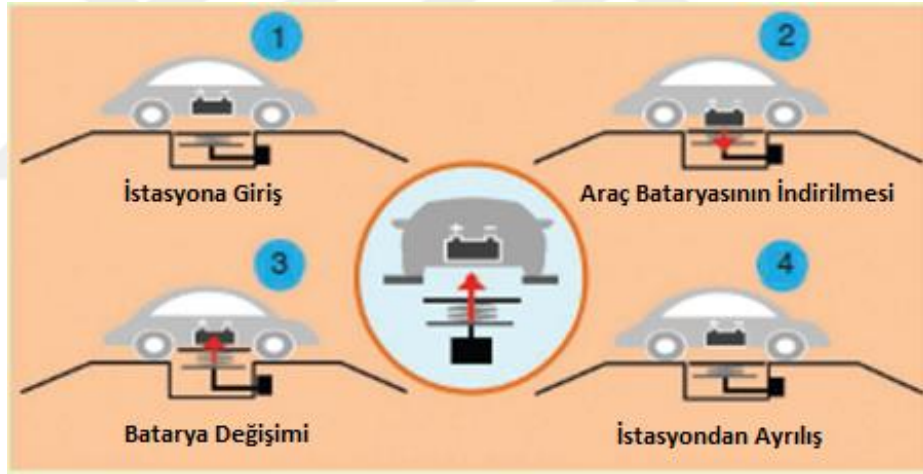


Şekil 7.1: Elektrikli Bir Kamyon İçin Pil Değiştirme İşleminin Altı Adımlı Bir Çizimi

- Adım 1: Bir elektrikli araç, Değiştirilebilir batarya stasyonuna girer.
- Adım 2: elektrikli araçlar pil bölmesini açar.

- c. Adım 3: Otomatik mekanik kolları bitmiş pilleri elektrikli araçlardan çıkarın.
- d. Adım 4: Bir çift AMA bitmiş pilleri alırken, diğer bir çift tam şarjlı pilleri geri alır.
- e. Adım 5: Biten piller bir depolama rafına konurken, şarjlı piller elektrikli araçlara yerleştirilir.
- f. Adım 6: elektrikli araçlar, pillerinin doğru şekilde takıldığını onaylar, pil bölmesini kapatır ve hareket eder [39].

Şekil 7.2'de gösterilen alt değiştirme yöntemi, esas olarak pilleri araç gövdesinin altında bulunan hafif hizmet tipi elektrikli araçlara uygulanır. Hafif hizmet tipi bir elektrikli araçların değiştirilebilir batarya stasyonuna girmesi, pillerinin değiştirilmesi ve ayrılması sürecinin tamamı 3 dakika içinde tamamlanabilir. Son on yılda, Şekil 7.2 (a)'daki benzer bir pil değiştirme sistemi, Amerika Birleşik Devletleri'nde Tesla ve İsrail'de Better Place gibi elektrikli araç odaklı yenilikçi şirketler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır.

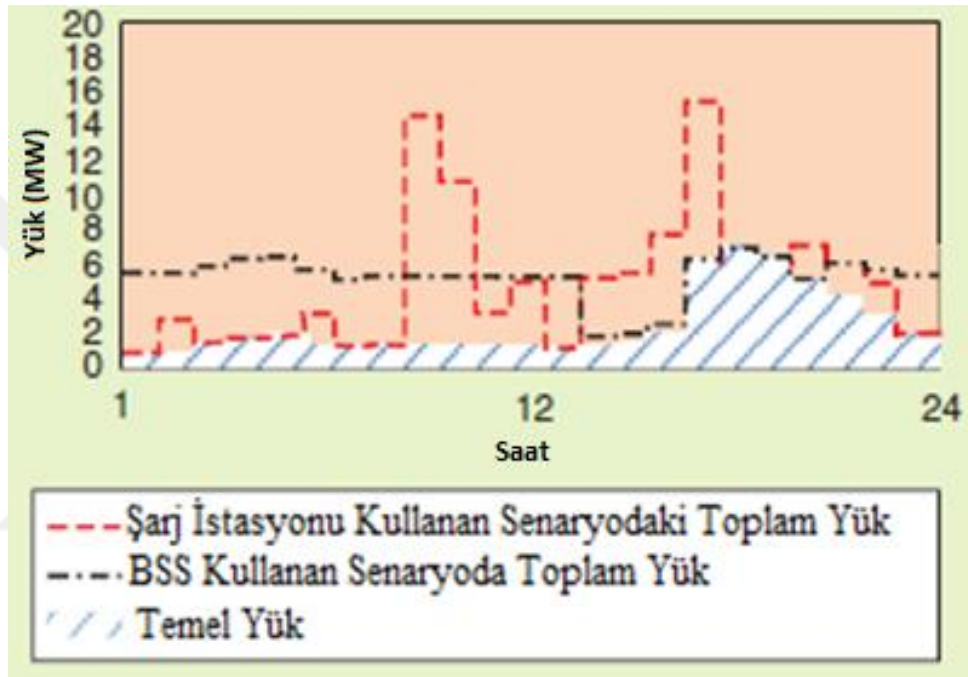


Şekil 7.2: Better Place ve Tesla Sistemleriyle Hafif Hizmet Tipi Bir E Elektrikli Araçlar İçin Pil Değiştirme Süreci [39]

7.1 Pil Değiştirme Avantajları

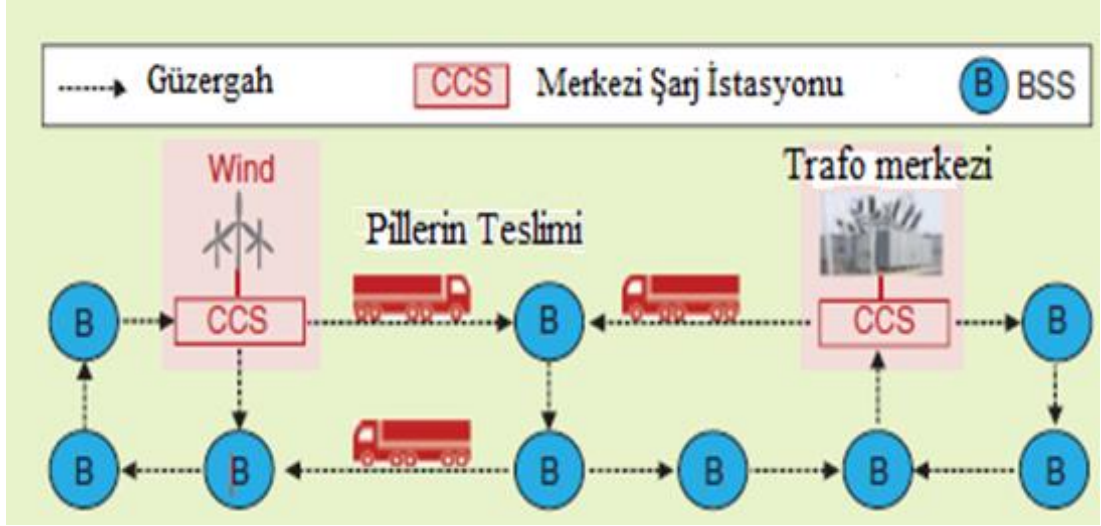
Güç sistemi operatörünün bakış açısından, bir değiştirilebilir batarya stasyonu, bir şarj istasyonundan daha uygundur. Bir Değiştirilebilir batarya stasyonlarının planlanması ve yönetimi, yerel arazi kullanımı kısıtlamaları ve elektrik şebekesi operasyonları tarafından önemli ölçüde daha az sınırlamaya tabidir. Ayrıca, bir değiştirilebilir batarya stasyonları, dinamik güç şebekesi çalışma koşulları altında şarj programını proaktif olarak optimize etme yeteneğine sahiptir. Toplu bir tüketici

olarak, bir BSS'nin toptan elektrik piyasasına açık erişim yoluyla doğrudan jeneratörlerden elektrik alması muhtemeldir, bu nedenle yenilenebilir enerji üretiminin fazla olduğu zamanlarda daha ucuz elektrik fiyatlarından yararlanmasına izin verilecektir. Ek olarak, bir değiştirilebilir batarya stasyonları, temel yükün üzerinde daha esnek ve dağıtılabilir bir yük olarak hareket ederek yerel şebeke operasyonlarındaki stresi azaltmak için bir şarj istasyonundan daha fazla potansiyele sahiptir [40]. Şekil 7.3'de değiştirilebilir batarya istasyonları ve bir şarj istasyonu için elektrik şebekesi yük profillerinin karşılaştırılması görülmektedir.



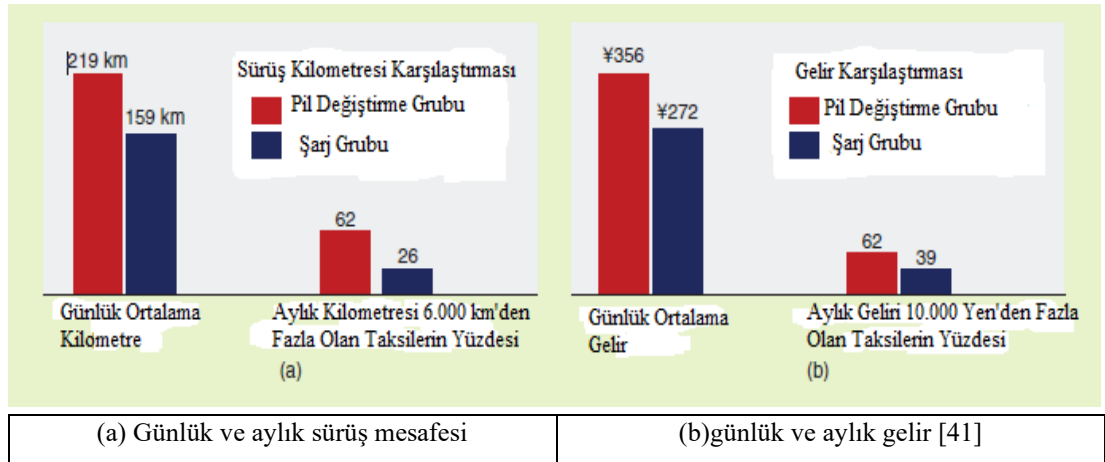
Şekil 7.3: Bir Değiştirilebilir Batarya Stasyonları ve Bir Şarj İstasyonu İçin Elektrik Şebekesi Yük Profillerinin Karşılaştırılması[41].

Elektrikli araçlar pillerinin yerel yönetimine ek olarak, bir değiştirilebilir batarya stasyonları ayrıca şarj amacıyla bitmiş pilleri merkezi bir istasyona gönderebilir. Şekil 7.3'deki elektrikli araçlar pil değiştirme/şarj sistemi, yalnızca mevcut elektrik ve ulaşım sistemlerindeki teknolojik gelişmelerden tam olarak yararlanmakla kalmaz, aynı zamanda elektrikli araçlar için bir şarj ağının maliyetli genişlemesini geciktirebilir veya ortadan kaldırabilir. Şekil 7.4'deki merkezi şarj istasyonu, yerel dağıtım şebekesi üzerinde çok az etkisi olan bir trafo merkezinin yakınına inşa edilebilir. Ayrıca, merkezi bir şarj istasyonunun büyük ölçekli rüzgar çiftlikleri ile entegrasyonu, hem elektrikli araçları hem de yenilenebilir enerjileri barındırmak için umut verici bir çözümdür.



Şekil 7.4: Elektrikli Araçlar Pil Değişirme/Şarj Sistemi İçin Bir Çerçeve [41]

Müşterinin bakış açısından, pil değişimi de daha faydalı bir çözümdür. Pil değerini elektrikli araçlar'dan ayırarak tüketiciler, pil veya araç şirketlerinden pil kiralarak tasarruf edebilirler. Akülerin mülkiyet haklarını elinde bulunduran kiralama şirketleri, boş üniteler için profesyonel testler ve düzenli bakımlar yaparak akü zayıflamasını hafifletebilir ve akü ömrünü uzatabilir. Ayrıca, takas, elektrikli araçlar'lardan kaynaklanan çevresel sorunları yönetmek için giderek daha önemli hale gelen pillerin geri dönüşümünü kolaylaştırır. Pil değiştirmenin diğer ana faydaları arasında menzil kaygısının hafifletilmesi, sabit park yerlerine gerek olmaması ve elektrikli araçlar'ların artan artık değeri yer alıyor. Yakın zamanda yapılan bir anket, pil değiştirmenin elektrikli taksilerin sürüş mesafesini ve gelirini artırabileceğini gösteriyor (Şekil 7.5).



(a) Günlük ve aylık sürüş mesafesi

(b) günlük ve aylık gelir [41]

Şekil 7.5: Şarj istasyonlarını ve Değiştirilebilir Batarya Stasyonlarında Kullanan Elektrikli Taksiler İçin Temel İstatistikleri Karşılaştıran Grafikler

Avrupa ülkelerinde ve Amerika Birleşik Devletleri'nde elektrikli araçlar'lari erken benimseyenler, şarj için uygun koşullara sahiptir, çünkü çoğu hane elektrikli araçlar'lari park etmek için bolca alana ve elektrik dağıtım şebekesinden elektrikli araçlar'lari şarj etmek için yeterli enerji kaynağına sahiptir. Örneğin Norveç'te, elektrikli araçlar sahiplerinin %95'i kendi evlerinde yerinde şarj tesislerine erişime sahiptir. Bununla birlikte, bazı yüksek nüfuslu gelişmekte olan ülkelerde, öncelikle yetersiz park yeri ve zayıf dağıtım şebekeleri nedeniyle, şarj prizlerinin yaygın bir şekilde konuşlandırılması pratik olmayacaktır.



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde elektrikli araçlara olan talep bazı parametrelerin devreye girmesiyle sınırlandırılmaktadır. Bu bağlamda özellikle sürekli kullanımda olan ticari araçlarda akülerin maliyeti esastır. İlerleyen yıllarda pil maliyetlerinin düşmesiyle birlikte elektrikli araçlara olan talebin artması bekleniyor.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde, özellikle elektrikli otobüs uygulamalarında çalışma süresi (mesafe) oldukça önemlidir. Elektrikli otobüs, özellikle pil ömrü çok çabuk bittiği için çalışma mesafesi belirli bir değerin üzerinde olduğu için Toplam Maliyet Sahipliği değeri açısından avantajlı değildir.

Sonuç olarak çalışmada elde edilen değerler dikkate alınmış olup Metrobüs hattının tamamen elektrikleştirilmesi mümkün değildir. Ancak emisyon değerlerini azaltmak için bazı güzergahların elektrikli otobüslere dönüştürülmesi mantıklıdır. Tam dönüştürmek için ihtiyaç duyulan yeni şarj istasyonları inşa etmek adına otobüs güzergahını değiştirmek, bundan ilave değiştirilebilir bataryalar kullanılması, dar güzergahlarda değiştirilebilir batarya istasyonlarının kurulması daha mantığa uygun olmaktadır.

Sonuç olarak her şeyi hesaba katarak, Azerbaycan/Baku'deki bir ulaşım ağı için elektrikli otobüslerin yeniden şarj zamanlamasını belirlemek için optimizasyon tekniklerine ve doğrusal programlamaya odaklanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Azerbaycan Baku Ulaşım Ajansı
- [2] Azerbaycan Baku bus Mehdud Mehsuliyətli Cemiyet
- [3] Mustafa Nicem Tanyeri, “İstanbul Metrobüs Hattı İçin Bir Elektrikli Araç Çözümü”, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2019.
- [4] Hemidov Mustafa, Mirzeyeva Sevinc “Hibrid ve Elektrikli Maşınlar”, 2004.
- [5] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (2017). Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3), Revision 6.
- [6] Lajunen, A. and Lipman, T. (2016). Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses, *Energy*, 106, 329–342.
- [7] Rogge, M., Wollny, S., Sauer, D. U., 2015, Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport – A Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements. *Energies*, Volume 8. Pages 4587-4606. doi:10.3390/en8054587
- [8] Barbosa, F.C. (2018). Bus’ system electrification review—A technological operational comparative assessment (No. 2018-36-0095). SAE Technical.
- [9] Barbosa, F.C. (2012). *Hybrid Transit Bus Technology Assessment - A Feasibility Approach*, SAE Technical Paper.
- [10] Volvo 7900 HYBRID, Available: https://www.volvobuses.co.uk/content/dam/volvo/volvo_buses/markets/uk/our-offering/buses/7900-hybrid/documents/7900_HYBRID%20brochure.pdf, Access date: May 2020.
- [11] Civitas Policy Note: Smart choices for cities. Alternative Fuel Buses, Available: http://civitas.eu/sites/default/files/civ_pol-08_m_web.pdf, Access date: October 2020.
- [12] Flixbus Hydrogen Buses, Available: <https://www.sustainable-bus.com/news/>, Access date: June 2020.
- [13] Mars, R., Bouzidi, B. and Yangui, A. (2016). On the comparison of two hybrid energy storage systems: Parallel connection of battery-RC ultracapacitor/multibranch ultracapacitor circuits, *2016 Eleventh International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, IEEE, pp.1–8.82
- [14] ZeEUS eBus Report, Available: <https://zeus.eu/uploads/publications/documents/zeus-ebus-report-internet.pdf>, Access date: September 2020.
- [15] <https://www.iveco.com/ivecobus/en-us>

- [16] BYD 18m Articulated, Available: <https://bydeurope.com/pdp-bus-model-18>, Access date: July 2020.
- [17] <https://www.sustainable-bus.com/news/eway-range-the-electric-bus-ivecos>
- [18] D. Göhlich, T.-A. Fay, D. Jefferies, E. Lauth, A. Kunitz and X. Zhang, "Design of urban electric bus systems," *Design Science*, no. 4, 2018.
- [19] ABB's flash-charging technology, Available: <https://new.abb.com/news/detail/2694/ABBs-innovative-flash-charging-technology-goes-live>, Accessdate: August 2020.
- [20] Siemens depot solutions, Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/medium-voltage/solutions/emobility/ebus-depot.html>, Accessdate: September 2020.
- [21] Jeong, S., Jang, Y.J. and Kum, D. (2015). Economic analysis of the dynamic charging electric vehicle, *IEEE Transactions on Power Electronics*,30(11), 6368–6377.
- [22] Rothgang, S., Rogge, M., Becker, J. and Sauer, D.U. (2015). Battery design for successful electrification in public transport, *Energies*, 8(7), 6715–6737.
- [23] Gee, A. (2012). *Design and Assessment of a Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage System for Remote Area Wind Power Systems*. (Ph.D.thesis). University of Bath, UK.
- [24] Plante, G. (1887). *The Storage of Electrical Energy: And Researches in the Effects Created by Currents Combining Quantity with High Tension*, Whittaker.
- [25] May, G.J., Davidson, A. and Monahov, B. (2018). Lead batteries for utility energy storage: A review, *Journal of Energy Storage*, 15, 145–157.
- [26] Scott, K., (2009). RECYCLING | Nickel–Metal Hydride Batteries, J. Garche, editor, *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Elsevier,Amsterdam, pp.199 – 208, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444527455004019>.
- [27] Omar, N., Firouz, Y., Monem, M., Samba, A., Gualous, H., Coosemans,T., Van den Bossche, P. and Van Mierlo, J., (2014). Analysis of Nickel-Based Battery Technologies for Hybrid and Electric Vehicles, Reference Module in Chemistry, *Molecular Sciences and Chemical Engineering*, Elsevier, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095472107401>.
- [28] Zubi, G, Dufó-López, R., Carvalho, M. and Pasaoglu, G. (2018). The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 292–308.
- [29] http://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries
- [30] Toprakci, O., Toprakci, H.A., Ji, L. and Zhang, X. (2010). Fabrication and electrochemical characteristics of LiFePO₄ powders for lithium-ion batteries, *KONA Powder and Particle Journal*, 28, 50–73.
- [31] Aylor, J.H., Thieme, A. and Johnso, B. (1992). A battery state-of-charge indicator for electric wheelchairs, *IEEE transactions on industrial electronics*, 39(5), 398–409.84

- [32] Mercedes-Benz, The new eCitaro, Available: https://www.mercedes-benz-bus.com/en_DE/models/ecitaro/facts/technical-data.html, Access date: May2020.
- [33] SuperLIB Project Office – Cell Specification with Cell Data, Available: https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20140122_144927_31958_SUPERLIB_Deliverable__Cell_Specification_with_Cell_Data.pdf, Access date: September 2020.
- [34] Yeo H, Kim H, “Hardware in the Loop Simulation of regenerative Braking for a Hybrid Electric Vehicle,” in *Proc. Inst. Mech. Eng.* Vol. 216, 2002, pp. 855-864.
- [35] Gao H, Gao Y, Ehsani M, “Design issues of the switched reluctance motor drive for propulsion and regenerative braking in EV and HEV,” *IEEE Electric Mach. Drives. Conf.*, (2001), 571-575.
- [36] Ehsani M., Gao Y., Gay S., Emadi A., Modern electric hybrid, and fuel cell vehicles, *CRC press*, 2005, Washington, D.C., USA, pp. 338-343.
- [37] Zheng, Y., Dong, Z.Y., Xu, Y., Meng, K., Zhao, J.H., Qiu, J., 2014. Electric vehicle battery charging/swap stations in distribution systems: comparison study and optimal planning. *IEEE Trans. Power Syst.* 29, 221–229.
- [38] A. Pesaran, "Battery Thermal Management in EVs and HEVs: Issues and Solutions," in *Advanced Automotive Battery Conference*, Las Vegas, 2001.
- [39] J. Kim, J. Oh and H. Lee, "Review on battery thermal management system for electric vehicles," *Applied Thermal Engineering*, pp. 192-212, 2019.
- [40] T. Toksoz, J. Reddingy, M. Michiniz, B. Michinix and P. Jonathan. “Automated Battery Swap and Recharge to Enable Persistent UAV Missions”. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139
- [41] Liang, Y., Cai, H., Zou, G., 2021. Configuration and system operation for battery swapping stations in Beijing. *Energy*, 214, 118883. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118883>.
- [42] CHAdeMO “CHAdeMO releases the latest version of the protocol enabling up to 400 kW” CHAdeMO 2018 [Online]. Available <https://www.chademo.com/chademo-releases-the-latest-version-of-the-protocol-enabling-up-to-400kw/> [Accessed:22-Dec-2018].
- [43] J. Jaguemont, M. Abdel-Monem, N. Omar, J. van Mierlo and P. van den Bossche, "Thermal Effect of Fast-Charging Profiles on Lithium-Ion Batteries," 2018, *21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Jeju, 2018, pp. 2127-2132.
- [44] Tazdin Amietszajew, Euan McTurk, Joe Fleming, Rohit Bhagat, “Understanding the limits of rapid charging using instrumented commercial 18650 high-energy Li-ion cells,” *Electrochimica Acta*, Volume 263, 2018, Pages 346-352.
- [45] *IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles*, in IEEE Std 2030.1.1-2015, vol., no., pp.1-97, 5 Feb. 2016.

- [46] J. Lopez, M. Gonzalez, J. C. Viera and C. Blanco, "Fast-charge in lithium-ion batteries for portable applications," INTELEC 2004. *26th Annual International Telecommunications Energy Conference*, Chicago, IL, USA, 2004, pp. 19-24



ÖZGEÇMİŞ

Öğrenim Durumu:

- Lisans: 2020, Azerbaycan Devlet Petrol ve Senayi Üniversitesi, Elektroenerjia Mühendisliği
- Yükseklisans: 2022, İstanbul Gedik Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği



