

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ TEKNOLOJİLERİ

Muhammed Sefa ÇETİN¹, Muhsin Tunay GENÇOĞLU²

^{1,2} Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi,
Elazığ, Türkiye

¹ mscetin@firat.edu.tr, ² mtgencoglu@firat.edu.tr

Özet — Günümüzde içten yanmalı motorlu araçlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu araçlar motor tahriki ve araç hareketi için fosil yakıt kullandıkları için zararlı emisyonlara sebep olurlar. Bu durumu önleyebilmek için elektrikli araçlar bir çözüm olarak düşünülmüştür. Elektrikli araçlarda, geleneksel içten yanmalı motor yerine elektrikli motor kullanılmaktadır. Elektrik motorunun çalışması için gerekli olan elektrik enerjisi ise batarya paketlerinden sağlanmaktadır. Batarya paketleri, şarj edilebilen Li-iyon batarya gruplarından oluşmaktadır. Elektrikli araç şarj istasyonları için gerekli enerji yenilenebilir enerji sistemlerinden sağlanırsa, elektrikli araçlar sıfır emisyona sahip araçlar olacaktır. Yakın gelecekte elektrikli araçlar, geleneksel içten yanmalı motorlu araçların yerini alacaktır. Bu çalışmada, geleceğin ulaşım tercihi olan elektrikli araçlar, elektrikli araç şarj istasyonlarında kullanılan standartlar ve teknolojiler incelenmiştir. Ayrıca MATLAB/Simscape kullanılarak bir elektrikli araç sistemi tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler — Elektrikli araçlar, şarj istasyonları, şarj teknolojileri.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ile birlikte araç kullanımı da artmaktadır. İçten yanmalı motorların kullanımı CO₂ salınımına sebep olmaktadır. Ulaşım sektörünün CO₂ salınımında büyük bir paya sahip olması, üzerinde durulması gereken önemli bir konudur [1]. Dünya genelinde bu konuya çözüm önerisi olarak ortak düşünce elektrikli araçlar (EA) şeklinde gelişmiştir. EA, yakıt olarak kullanılan elektrik enerjisiyle daha sessiz, daha çevreci ve daha ekonomik bir ulaşım sağlamaktadır. Elektrikli otomobillerin, otomotiv endüstrisinde ileride önemli bir etkisinin

olacağı aşikârdır. EA'nın yakıt tasarrufu yanında çevre kirliliğini ve karbon emisyonunu azaltacağı da düşünülmektedir.

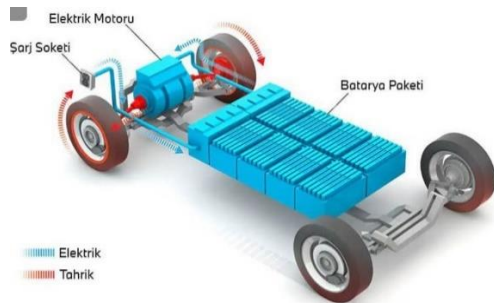
Başlangıçta yüksek üretim maliyetleri nedeniyle yaygınlaşamayan EA, batarya teknolojisindeki ve şarj istasyonu altyapısındaki ilerlemeler sayesinde yeniden gündeme gelmiştir. Ancak EA'nın yaygın bir şekilde kullanımının ve geleneksel içten yanmalı araçların yerini alabilmesinin önünde hâlâ tam olarak çözülememiş problemler vardır. Batarya maliyetleri, tam şarj menzili, şarj dolum süresi, mevcut şebeke altyapısının hazır olmaması ve EA'nın gerek çevresel gerekse ekonomik etkileri bu teknolojinin ilerlemesini yavaşlatmaktadır. Bu yüzden, EA ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu batarya grupları ve şarj teknolojileri ile ilgilidir.

Bu çalışmada, EA'nın çalışma prensibi, etkileri ve EA için şarj teknolojileri incelenmiştir. Ayrıca, ülkemizdeki mevcut şarj istasyonu altyapısının yeterliliği ve EA'nın dağıtım şebekesi üzerindeki olumsuz etkileri tartışılmış, EA şarj istasyonlarının standartları ve araç şarj teknolojileri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Örnek bir EA tasarlanmış ve ilgili parametreler verilmiştir. MATLAB/Simscape ortamında bulunan hazır projeler yardımıyla tasarlanan EA modellenmiştir.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

EA, geleneksel içten yanmalı motor ile elektrikli motorun bir arada kullanılmadığı, sadece elektrik motorunun kullanıldığı araç türleridir. Araç hareketini sadece elektrikli motor sağlamaktadır.

Bir EA sistemi elektrik motoru, yüksek kapasiteli batarya, güç elektroniği elemanları ve şarj cihazından oluşmaktadır. Araç hareketi, yüksek kapasiteli bataryalardan alınan elektrik enerjisi ile sağlanır. EA bataryaları hem harici olarak şebekeden hem de sürüş esnasında faydalı frenleme ile şarj edilebilirler. EA batarya paketleri Li-iyon bataryalardan oluşmaktadır. Günümüzdeki teknolojiyle birlikte birim hücre başına en yüksek hücre gerilimi ve birim kütle başına en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olan batarya çeşidi Li-iyon bataryalardır. Bu bataryalar; hafıza etkisine sahip olmaması, çok düşük oranda kendi kendine deşarja sahip olması ve yüksek çevrim ömürleri sayesinde diğer batarya türlerine göre daha fazla tercih edilmektedir [2]. Bu avantajlarından dolayı Li-iyon bataryalar, EA'da da yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Şekil 1'de bir EA'nın yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. EA yapısı [4]

EA'da, çalışma prensibi gereği, bataryalarda depolanan enerji ile elektrik motorları beslenerek araç hareketi

sağlanır. Mekanik parçaların az olmasından dolayı arıza ve bakım ihtiyacının sık olmaması, sessiz çalışması, elektrik motorunun geleneksel içten yanmalı motorlara göre daha ucuz ve basit yapıda olması, yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenebilmesi, hibrit çalışabilme özelliği vb. EA'nın avantajları arasında sayılabilir.

Bu avantajların yanında EA'nın araçların yaygınlaşmasını engelleyen bazı dezavantajlar da mevcuttur. Bu dezavantajlar batarya grubu ve şebeke ile ilgilidir. Ancak son yıllarda EA üzerinde yoğunlaşan çalışmalar sonucu bu dezavantajlar yavaş yavaş ortadan kaldırılmaktadır. Böylece, geleneksel araçlar yerine EA'nın kullanımının artması beklenmektedir. Örneğin, başlangıçta en büyük sorun olan menzil, artık bir sorun olmaktan çıkmıştır. Yeni araçlarda menzil değerleri, sadece şehir içi değil aynı zamanda uzun yolculuklarda da sorunsuz sürüş yapılabilmesini sağlayacak kadar yüksektir. Ayrıca artan şarj istasyonu sayısı da uzun mesafe yolculuklarının yapılabilmesini mümkün kılmıştır.

Dünya'nın en büyük EA üreticisi olan Tesla, 2020 yılında yaklaşık 500.000 EA satıldığını duyurmuştur. Bu rakam 2021 yılında 936.172 iken, 2022 yılında da 1.31 milyona çıkmıştır. Ayrıca Tesla, Berlin ve ABD'de yeni fabrikalar inşa etmeye başladığını duyurmuştur [5].

Dünya'nın önde gelen otomobil üreticilerinin çoğu EA üretmeye başlayacaklarını ve yakın gelecekte içten yanmalı motorlu araçların üretimini durduracaklarını açıklamışlardır.

Ülkemizde de EA çalışmaları bulunmaktadır. 2019 yılının sonunda yerli EA olan TOGG'un suv ve sedan modelleri tanıtılmıştır. 2023 yılının mart ayında ise geliştirilen T10X modeli siparişe açılmıştır. 2023 Nisan ayından

itibaren TOGG şehir içi ve şehir dışı yollarda bireysel ve kamu hizmetinde kullanılmaya başlanmıştır. 218 ps beygir gücünde motora sahip olan TOGG, DC şarj ile %80'e kadar 28 dakikada şarj olabilmektedir ve 523 kilometre menzile çıkabilmektedir [6].

2.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ETKİLERİ

İçten yanmalı motorlu araçlarda olduğu gibi, EA'nın da yaygın olarak kullanılmaya başlanmasıyla ortaya çıkacak bazı etkiler vardır. Bu etkiler ekonomiye, çevreye ve şebekeye olan etkileri olarak üç başlıkta incelenebilir.

EA'nın ekonomik etkilerini iki farklı pencereyle incelemek, sistemin anlaşılması için daha doğru olacaktır. İlk olarak sisteme şebeke açısından bakılırsa, EA'nın kullanımının artmasıyla şarj istasyonu ihtiyacı doğacaktır. EA şarj edilebilir batarya sistemlerine sahip olduklarından ve hızlı şarj parametresi EA'nın en önemli gereksinimlerinden biri olduğu için şebekeden yüksek güç ve akım değerleri çekilmesi söz konusudur. Ancak ülkemizin mevcut şebeke altyapısı bu yükü karşılamaya hazır değildir. Mevcut şebekenin hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Bu durum yeni yatırım maliyetlerini ortaya çıkarmaktadır.

EA, daha verimli elektrikli motor yapısı sayesinde daha düşük işletme maliyetine sahiptir. Fakat ilk aşamada yani yatırım ve üretim aşamasındaki maliyetlerinin yüksek olması ve ayrıca yatırım yapıldıktan sonra geri kazanım süresinin de uzun olması, EA'nın yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biri olarak gösterilebilir. Seri üretimin yaygınlaşması, kullanılan teknolojilerin gelişimi ve üretim maliyetlerinin düşmesi gibi gelişmelerle birlikte EA artık daha erişilebilir hale

gelir ve kullanımının yaygınlaşmasının önü açılır [1].

Ekonomik etkiler iki pencereden de incelendiği zaman, şarj istasyonu altyapısının geliştirilmesi gerekliliği negatif bir ekonomik etki oluştururken, uzun vadede EA'nın kullanıcılarına sağlayacağı düşük kullanım maliyetleri de pozitif bir etki oluşturmaktadır. Sonuç olarak uzun vadede EA'nın pozitif ekonomik etkileri olacağı söylenebilir.

Dünya çapında karbondioksit emisyonunun önemli bir kısmı ulaşım sektöründe kullanılan araçlar tarafından üretilmekte ve atmosfere salınmaktadır. İçten yanmalı motorlu araçlar bu noktada çevreye negatif etki etmektedirler. EA ise çevreci olarak bilinmektedir. Bu noktada emisyonu azalttığı ve neredeyse sıfır emisyonu sahip olduğu için EA çevresel olarak pozitif etki etmektedir. Ancak EA hâlâ sıfır emisyonlu teknoloji değildir. EA'da bulunan şarj edilebilir bataryalar şarj esnasında şebekeden beslenmektedir. Şebeke de farklı enerji kaynaklarından beslenmektedir. Beslendikleri kaynaklar arasında yenilenebilir enerji kaynakları bulursa da fosil yakıt kullanımı ile elektrik enerjisi üreten çok sayıda kaynak da kullanılmaktadır. Yani fosil yakıtla beslenen şebekelerden beslenerek bataryasını şarj eden EA'nın, sıfır emisyon değerine sahip olduğu söylenemez [7]. EA'nın sıfır emisyonlu olarak kabul edilebilmesi için, şarj istasyonlarının yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenmesi gerekmektedir [8].

Genel olarak EA'nın çevresel etkilerine bakıldığı zaman, geleneksel içten yanmalı motorlu fosil yakıt kullanan araçlarla kıyaslandığında emisyonu engellemek için en iyi çözüm yolu olduğu görülebilir. Gelişen yenilenebilir enerji sistemleriyle fosil yakıtlarla beslenen şarj istasyonu sorunu

ortadan kaldırılabilirse EA tam anlamıyla sıfır emisyonlu sayılabilir.

EA'nın kuşkusuz en önemli etkileri şebeke üzerinde olacaktır. EA'nın ülkemizde yaygınlaşmasının önüne geçen sorunlardan belki de en önemlisi, şebeke alt yapımızın tam anlamıyla EA'nın yaygın kullanımına hazır olmamasıdır. Şarj istasyonu kurulum sektörünün öncüsü olan Zorlu Holding'e ait 1600'den fazla şarj istasyonu vardır [9]. Başka firmalar ve bireysel aboneler de düşünüldüğü zaman çok fazla şarj istasyonunun mevcudiyeti söz konusudur [10]. EA'ya olan talep arttıkça şarj istasyonu ihtiyacı da artacaktır. Talebin artmasıyla beraber EA'nın şarjı şebeke üzerinde olumsuz etkiler oluşturacaktır. Ayrıca mevcut yönetmeliklerin yeni düzenlemelere uygun olmaması da bir sorun olarak ortaya çıkacaktır [11].

EA'nın sayısının artmasıyla birlikte, EA'nın şarj edilmesi için gereken elektrik miktarı da artacak ve güç şebekesine ek bir yük getirecektir. Bu durum, ani ve noktasal yüklenmeler, şebeke harmonikleri, faz dengesizlikleri, ekipmanların aşırı yüklenmesi, gerilim düşümleri vb. sorunları ortaya çıkarabilir.

Nüfusun artmasıyla birlikte büyük kapasiteli otoparklardaki EA yoğunluğu, şebekeden talep edilen birim alan başına düşen gücü yükselterek şebekenin performansını etkileyebilir. Bu durum, özellikle ana şebekeye yakın olan otoparklarda daha belirgin olabilir [12].

Akıllı şebeke konsepti, dağıtım şebekelerinin yönetimini optimize etmek için geliştirilmiştir ve bu konsept sayesinde dağıtım şirketleri, EA'nın şarj yükünü yönetmek için yeni yöntemler geliştirmiştir. Akıllı şebekeler, güç üretim ve tüketimini yönetirken, yüksek talep dönemlerinde kaynakların kullanımını optimize ederek dağıtım

şebekesinin üzerindeki yükü azaltır. EA gibi yeni nesil yüklerin kontrolü, akıllı şebekelerin yönetim algoritmaları kullanılarak yapılabilir. Bu sayede, EA'nın şarj yükü akıllı bir şekilde yönetilebilir ve negatif etkiler azaltılabilir [13].

EA şarj istasyonlarının kurulacağı bölgelerin seçilmesi, dağıtım şebekesi güvenilirliği ve enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir [14]. Ayrıca elektrik dağıtım şebekesinin dengesi de çok önemlidir ve tüm bileşenlerin birlikte çalışması gerekmektedir. Entegre bir şebeke sistemi, EA şarj istasyonlarından gelen yükü dengelemek için kullanılmalıdır [15]. Şebeke sistemine entegre edilen şarj istasyonları, şebeke güvenilirliği ve dengesi için uygun bir şekilde tasarlanmalıdır [16]. Akıllı şebeke sistemleri, şebeke yönetim yazılımları ve enerji depolama sistemleri kullanılarak şebeke istikrarı ve güvenilirliği artırılmalıdır [17]. Bu noktada tüm bu çözümler, EA'nın yaygınlaşması için kritik bir önem taşımaktadır.

2.2. ŞARJ TEKNOLOJİLERİ

Farklı bölgelerin elektrik şebekelerinin gerilim ve frekans değerleri de farklı olduğu için şarj istasyonlarının yapıları da farklı olacaktır. Buna bağlı olarak her istasyonda farklı şarj teknolojileri kullanılmaktadır. EA üreticilerinin araçlarını farklı ülkelere ve pazarlara uygun hale getirmeleri gerekmektedir. Bu yüzden EA teknolojisinde önde gelen ülkeler tarafından EA şarj standartları oluşturulmuştur. Bu standartların oluşturulma amacı, şarj esnasında bataryalarda oluşabilecek zararların önüne geçebilmek ve üreticilerin araçlarını farklı ülkelerde kullanıma uygun hale getirmesini sağlamaktır. Bu standartlar şunlardır:

- ABD’de kullanılan, SAE (Society of Automotive Engineers) Standardı
- Avrupa’da kullanılan, IEC (International Electromechanical Commission) Standardı
- Japonya’da kullanılan, CHAdeMO Standardı

Bu standartların yanı sıra, ISO da EA ile ilgili birçok standart yayımlamıştır.

Şarj edilme hızı bakımından AC ve DC şarj olmak üzere iki şarj teknolojisi bulunmaktadır. AC şarj, aracın bataryasını daha yavaş şarj eder. DC şarj ise daha yüksek güçte şarj edebilir ve genellikle otobanlarda ve trafiğin yoğun olduğu bölgelerde kullanılır. DC şarj, AC şarja göre daha hızlıdır ve yaklaşık 30-45 dakika içinde bataryanın %80’ini şarj edebilir. Ancak, DC şarj istasyonlarının maliyeti AC şarj istasyonlarından daha fazladır [9].

DC şarj yöntemi off-board şarj cihazı kullanılarak gerçekleştirilir ve bu yöntem AC şebekeden alınan gücün doğrudan DC’ye çevrilmesini sağlar. Bu sayede ekstra bir ekipman kullanılmadan AC güç DC güce çevrilir. Ancak, DC şarj istasyonları yüksek gerilim ve akım değerlerine sahip olduğundan, yatırım maliyetleri daha yüksektir [1].

EA’da şarj işlemi şarjın bitimine yaklaştıkça daha yavaş gerçekleşir. Bu durum, aracın batarya yönetim sistemi tarafından kontrollü bir şekilde gerçekleştirilir. Batarya yönetim sistemi, bataryanın ömrünü korumak için bataryanın tamamen dolmasından kaçınır ve şarj işlemini yavaşlatır. DC şarj cihazlarında, %80 seviyesine ulaşmak için gereken süre oldukça kısadır, ancak sonrasında bataryanın korunması için şarj işlemi daha yavaş gerçekleşir. AC şarj cihazlarında da sonlara doğru güç alımı düşer, ancak DC şarj cihazlarındaki kadar büyük bir farklılık yoktur [9].

3. ŞARJ İSTASYONLARI

Şarj istasyonları, EA’nın bataryalarını harici kaynaklardan şarj edebilmesi için gerekli altyapıyı sağlamaktadır [18]. Şarj işlemi şarj ekipmanları veya şarj istasyonları ile gerçekleştirilir. Bataryaların şarj edilme şekilleri, şarj hızı, şarj sıklığı vb. faktörler bataryanın güvenilirliği, dayanıklılığı ve performansı üzerinde etkilidir. Bu nedenle bataryaların doğru şarj edilmesi için doğru şarj cihazı ve doğru şarj yöntemi seçimi oldukça önemlidir [1].

EA kullanımının artması, EA sahiplerinin daha fazla şarj ihtiyacı duymalarına neden olur. Bu nedenle, daha fazla şarj istasyonu kurulumu gereklidir. Şarj istasyonlarının kurulumu ve EA’nın kullanımı birbirine bağlı iki sistemdir. Bu nedenle, ülkelerin ve şirketlerin, EA’nın daha fazla kullanımı için gerekli olan şarj istasyonlarına yatırım yapması gerekmektedir [18].

Gelişmiş ülkelerin EA ve şarj istasyonu sayıları diğer ülkelere göre daha yüksektir. Bu ülkelerdeki EA kullanıcılarına daha fazla hizmet vermek amacıyla hızlı şarj istasyonları da kurulmaktadır. Çin ve Amerika, Dünya genelindeki en yüksek EA kullanıcı sayısına sahip olan ülkelerdir ve sayıca en fazla bu ülkelerde yavaş/hızlı şarj istasyonu bulunmaktadır. Japonya, Almanya, İngiltere, Fransa ve Norveç de EA kullanımı ve şarj istasyonu sayıları açısından öne çıkan ülkelerdir [7].

Ülkemizde EA şarj istasyonlarının dağılımı özellikle büyük şehirlerde artış göstermektedir. Bu artışta belediyelerin ve özel şirketlerin yatırımları etkili olmaktadır. Ayrıca avm, havalimanları, oteller ve akaryakıt istasyonları gibi alanlarda hızlı şarj istasyonları da bulunmaktadır.

EA sayısı arttıkça şarj istasyonu sayısı da artacak ve mevcut şebeke üzerinde

şarj yükü oluşacaktır. Bu şarj yükü harmoniklere, kayıplara, dengesizliklere ve transformatörler üzerinde negatif etkilere sebep olacaktır. Ülkemizdeki mevcut şebeke altyapısı henüz bu duruma hazır değildir. Bu yüzden şebekemiz, geleceğin ulaşım tercihi olan EA'nın yaygın kullanımına hazır hale getirilmelidir.

Ülkemizde, Avrupa'da olduğu gibi IEC standartlı şarj istasyonları bulunmaktadır. Ayrıca bazı şirketler tarafından CHAdeMO standartlı prizlere de şarj istasyonlarında yer verilmektedir. Ancak farklı ülkelerde farklı standartlara sahip şarj istasyonları bulunmaktadır. Bunlar SAE, IEC ve CHAdeMO standartlı şarj istasyonlarıdır.

3.1. SAE STANDARTLI ŞARJ İSTASYONLARI

SAE (Society of Automotive Engineers), otomotiv endüstrisi için standartlar belirleyen ve geliştiren bir organizasyondur. ABD'de kurulmuş olsa da, dünya genelinde otomotiv sektöründe faaliyet göstermektedir. SAE tarafından oluşturulmuş pek çok standart mevcut olsa da, EA için SAE J1772 standardı öne çıkmaktadır [7]. Bu standarda göre, şarj hızı belirli seviyelerle ifade edilmektedir. Her seviyenin belirli bir şarj hızı limiti vardır ve araçların şarj portları da bu standarda uygun şekilde tasarlanmaktadır [18]. Tablo 1'de SAE J1772 standardına ait elektriksel büyüklükler gösterilmiştir.

Tablo 1. SAE J1772 standardı elektriksel büyüklükler [19]

Şarj Yöntemi	Şarj Seviyesi	Anma Gerilim (V)	Maksimum Akım (A)	Maksimum Güç (kW)
AC	Seviye 1	120	12	1,44
		120	16	1,92
	Seviye 2	208-240	>20 ≤80	19,2
DC	Seviye 1	200-500	80	40
	Seviye 2	200-500	200	100

AC Seviye 1 şarj işlemi, araç üzerinde bulunan ekipmanlar vasıtasıyla gerçekleştirilen en düşük seviye şarj işlemidir ve genellikle ev tipi prizlerden alınan düşük güçlü elektriklerle gerçekleştirilir. Bu nedenle yavaş şarj işlemi olarak adlandırılmaktadır. Şarj işlemi uzun süreceğinden ve gün içinde EA'nın kullanılabileceği de varsayılarak bu seviye ile aracın gece şarj edilmesi daha uygun olacaktır. AC Seviye 2 şarj işlemi, daha yüksek gerilim ve akım değerleri kullanarak AC Seviye 1'e göre daha hızlı şarjı mümkün kılmaktadır [1]. DC şarj seviyeleri ise hızlı şarj olarak bilinmektedir.

3.2. IEC STANDARTLI ŞARJ İSTASYONLARI

IEC (International Electromechanical Commission) Uluslararası Elektronik Komisyonu olarak 1906 yılında kurulmuştur [7]. IEC 61851, uluslararası bir standarttır ve Dünya genelindeki EA şarj altyapısının iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır. Avrupa ve Çin'de kullanılmakta olan bu standart, J1772 standardı ile benzer gereksinimlere sahiptir. SAE standardında kullanılan "seviyeler" ifadesi yerine, IEC standardında "modlar" kullanılmaktadır. [18]. Tablo 2'de IEC 61851 standardına ait elektriksel büyüklükler gösterilmiştir.

Tablo 2. IEC 61851 standardı elektriksel büyüklükler [19]

Şarj Yöntemi	Şarj Seviyesi	Faz Sayısı	Anma Gerilim (V)	Maksimum Akım (A)
AC	Mod 1	1	≤250	≤16
		3	≤480	
	Mod 2	1	≤250	≤32
		3	≤480	
	Mod 3	1	≤250	≤32
		3	≤480	
DC	Mod 4	-	≤1000	≤400

AC ve DC olmak üzere toplam dört adet şarj modu mevcuttur [20]. AC Mod 1'de, araç, ev prizine veya standart bir duvar soketine takılan bir kabloyla şarj edilebilir. Bu mod yavaş şarj olarak kabul

edilir. AC Mod 2, 1 şarj moduna benzer, ancak şarj cihazı üzerinde bir arıza koruma cihazı bulunur. Kontrol pilot fonksiyonu sayesinde kaynaktan araca enerji akışını kontrol eder. AC Mod 3'te, şarj cihazı aracın içinde yer alır ve harici bir şarj noktasına bağlanır. Bu mod, Mod 1 ve Mod 2'ye göre daha hızlı şarj sağlar. Mod 4 ise DC şarj modudur. Araç yüksek gerilimle şarj edilir. Bu modda EA'nın şarj işlemi, AC şarj modlarına göre çok daha hızlı gerçekleşir. Bu yüzden Mod 4 şarj istasyonu ekipmanları, Mod 3 ekipmanlarına göre oldukça pahalıdır [18].

Çalışma modları arasında en hızlı şarj modu DC Mod 4'tür [21]. Mesela, 100 kWh batarya kapasitesine sahip bir EA, AC Mod 1 ile 16 saatte, Mod 2 ile 8 saatte ve Mod 3 ile 1 saatte şarj olmaktadır. Ancak DC Mod 4 ile yaklaşık 20 dakikada tam şarj olmaktadır [1].

3.3. CHAdeMO STANDARTLI ŞARJ İSTASYONLARI

CHAdeMO, Japon otomotiv şirketleri tarafından geliştirilen bir hızlı şarj standardıdır. Genellikle Japonya'da kullanılmaktadır [22]. CHAdeMO standardı, DC hızlı şarjı sağlamak için kullanılmaktadır ve Dünya genelinde birçok hızlı şarj istasyonu bu standardı desteklemektedir [18]. Tablo 3'te CHAdeMO standardına ait elektriksel büyüklükler gösterilmiştir.

Tablo 3. CHAdeMO standardı elektriksel büyüklükler [19]

Şarj Yöntemi	Anma Gerilim (V)	Maksimum Akım (A)	Maksimum Güç (kW)
CHAdeMO	500	125	62,5

3.4. ŞARJ İSTASYONLARINDA KULLANILAN PRİZ ÇEŞİTLERİ

Dünya çapında kullanılmakta olan üç adet EA şarj istasyon yapısı bulunmaktadır. EA'nın şarj edileceği istasyonun yapısı, kullanılacak

konnektörün tipini belirlemektedir. Şarj istasyonunun yapısı değiştiği zaman kullanılan ekipmanlar da değişir. EA şarjı esnasında kullanılan temel ekipmanlar fiş, konnektör (kaynaktan araca giden kablo üzerinde), giriş (aracın üzerinde) ve sokettir.

Tip 1: Amerika'da ve Japonya'da kullanılan, SAE J1772 standardına göre tasarlanmış bir AC şarj bağlantı noktasıdır. Bu priz, genellikle 120 V ve 240 V AC şarj seviyelerini destekler. Tip 1 prizler, AC Seviye 1 şarj için kullanılmaktadır ve yavaş şarj işlemi için tasarlanmıştır [18]. Şekil 2'de Tip 1 şarj kablosu konnektörü gösterilmiştir.



Şekil 2. Tip 1 Konnektör

Tip 2: Bu tip şarj kablosu konnektörleri Mennekes adıyla da bilinmektedir. Avrupa'daki AC şarj istasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu şarj portu, IEC standardına uygun olarak tasarlanmıştır. AC Seviye 2 şarj cihazlarının çoğu bu prizi kullanır. Tip 1 prizinden farklı olarak burada EA ve şarj cihazı arasında iletişim kurulmasını sağlayan kontrol ve güvenlik pinleri bulunmaktadır [18]. Şekil 3'te Tip 2 şarj kablosu konnektörü gösterilmiştir.



Şekil 3. Tip 2 Konnektör

GB Konnektörü: Çin’de oluşturulan GB/T 20234 standartları tarafından tanımlanan ve sadece Çin’de kullanılan konnektör tipidir. GB konnektör tipi IEC standardında bahsedilen Tip 2 konnektörüyle benzerlik göstermektedir. Tek fazda 16/32 A akım ve 250 V çıkış gerilimine sahip şarjı desteklemektedir. Görüntü ve yapısal olarak Tip 2 konnektörlere benzemektedir. Ancak bu iki konnektör işlevsel olarak örtüşmemektedir [18]. Şekil 4’te GB şarj kablosu konnektörü gösterilmiştir.



Şekil 4. GB Konnektör

Kombo Konnektör: İlk DC hızlı şarj standardı Japonya tarafından ortaya çıkarılan CHAdeMO standardıdır. Ancak sekiz büyük otomotiv üreticisi (Audi, BMW, Chrysler, Daimler, Ford, General Motors, Porsche ve Volkswagen) IEC ve SAE standartlarında tanımlanan AC ve DC şarjı tek bir konnektör/giriş ikilisinde birleştiren kombo prizi destekleme kararı almıştır. CHAdeMO standartlı prizler sadece DC şarjı desteklemektedir. Bu sebeple CHAdeMO standardını kullanan araçlar her zaman AC ve DC şarj için ayrı olmak üzere iki konnektör giriş ikilisine ihtiyaç duyacaklardır. Bu durum ise aracın üretim maliyetini artıran negatif bir durumdur. CHAdeMO standartlı konnektörler, kombo uyumlu olmadıkları için gelecekte Japonya’nın dışındaki ülkelerde yerlerini kombo konnektörlere bırakacaklardır [18]. Kombo konnektör, hızlı şarj eklentisi ile birlikte tip 2 konnektörün geliştirilmiş versiyonudur. Ayrıca 170 kW’a kadar

AC ve DC şarjı destekler [23]. Şekil 5’de kombo konnektör gösterilmiştir.



Şekil 5. Kombo Konnektör

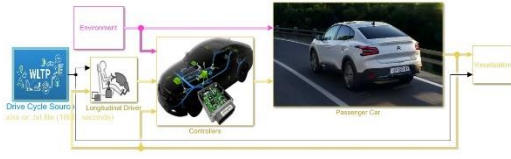
Tesla Supercharger: Yalnızca Tesla marka EA’da kullanılmaktadır. Bu teknoloji sayesinde araç 30 dakika içerisinde %80 şarj edilebilmektedir [24].

Şarj istasyonlarına ait standartlar ve kullanılan priz tiplerinde farklılıklarının fazla olması, EA şarj istasyonlarına erişilebilirlik oranını düşürmektedir. Bu yüzden EA teknolojisinin gelişimine paralel olarak güncel priz tipleri sayısının azaltılarak tek bir priz tipine indirgenmesi gerçekleştirilmelidir [18].

4. MODELLEME

Li-iyon bataryalar, pek çok açıdan diğer bataryalara göre avantajlı oldukları için EA’da en yaygın kullanılan batarya türüdür.

Bu makalede, EA’nın şarj mekanizmasının ve bataryasının incelenmesi için bir modelleme yapılmıştır. Modellemede kullanılmak üzere EA’ya ait parametreler hesaplanarak bulunmuştur. Hesaplanan bu değerlerin EA’ya uygulanabilmesi için MATLAB/Simscape ortamında çalıştırılabilen örnek bir proje kullanılmıştır. Bu referans model; motor, generatör, batarya, tahrik, şanzıman ve diğer aktarma organlarını içermektedir ve tam anlamıyla bir EA’yı temsil etmektedir [25]. Şekil 6’da MATLAB/Simscape modeli gösterilmiştir.



Şekil 6. EA sisteminin MATLAB/Simscape modeli

Batarya ağının gerilimini hesaplamak için aşağıda verilen denklemler kullanılmıştır [25].

$$V_T = E_m - I_{bat}R_o - \sum_1^n V_n$$

$$V_n = \int_0^t \left[\frac{I_{bat}}{C_n} - \frac{V_n}{R_n C_n} \right] dt$$

$$BDO = \frac{-1}{C_{bat}} \int_0^t I_{bat} dt$$

$$I_{bat} = \frac{I_i}{N_p}$$

$$V_o = N_s V_T$$

$$P_{BK} = I_{bat}^2 R_o + \sum_1^n \frac{V_n^2}{R_n}$$

$$Ld_{Ah} = \int_0^t I_{bat} dt$$

Denklemlerde kullanılan değişkenler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Denklemlerde kullanılan değişkenler

Değişkenler	
BDO	Batarya Doluluk Oranı
E_m	Batarya Açık Devre Gerilimi
I_{bat}	Batarya Modülünün Akımı
I_i	Batarya Ağından Akan Birleştirilmiş Akım
R_o	Seri Direnç
N_p	Paralel Kol Sayısı
N_s	Serideki RC Çifti Sayısı
V_o, V_T	Batarya Ağının Birleştirilmiş Gerilimi
V_n	RC ikilisi n -th Gerilimi
R_n	RC ikilisi n -th Direnci
C_n	RC ikilisi n -th Kapasitesi
C_{bat}	Batarya Kapasitesi
P_{BK}	Batarya Ağı Güç Kaybı

Batarya paketi modellenirken piyasada hâlihazırda bulunan NCR18650BD kodlu Li-iyon NCA tipi pil referans olarak kullanılmıştır. Günümüzde birçok uygulama alanında kendine yer bulan bu batarya özellikle EA'da ve güç ünitelerinde yaygın olarak tercih edilmektedir [26].

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan ve ulaşılabilir olan EA'nın özellikleri dikkate alınarak modellemede kullanılmak üzere bir tasarım yapılmıştır [27]. Tasarlanan EA'ya ait hesaplanan değerler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Tasarlanan araca ait hesaplanan değerler

Özellik	Değer
Pil Gerilimi	3,73 V
Pil Kapasitesi	3037,3 mAh
Pil Sayısı (108seri x 41paralel)	4428
Batarya Paket Gerilimi (25 °C'de, %60 Doluluk Oranı)	402,84 V
Batarya Paket Kapasitesi (25 °C'de)	124,53 Ah
Batarya Paketi Enerjisi	~50 kWh
Sürekli Deşarj Akımı	125 A
Şarj Akımı (Nominal 1C- Maksimum 2C)	125A - 250A
Elektrikli Motor Gücü	100 kW
Maksimum Tork (3600d/d)	265 Nm
Maksimum Gücün Sağlanabildiği Devir Sayısı	10000 d/d
Azaltıcı Dişli Oranı	8
Azami Hız	~149 km/h

Tasarlanan araç için ayrı ayrı hesaplanan bu parametreler, MATLAB/Simscape bloklarında bulunan Workspace'lere veri olarak girilmiştir. Hem hesaplanmış olan bu değerlerin doğruluğu test edilmiş hem de MATLAB/Simscape ortamında bulunan uygulamaların kullanılması sonraki çalışmalar için referans olmuştur.

5. SONUÇLAR

EA, içten yanmalı motorlu araçlara göre avantajlarından dolayı geleceğin ulaşım tercihi olarak görülmektedirler. Ancak henüz çözülememiş sorunlar nedeniyle EA geleneksel araçların yerini henüz tam olarak alamamışlardır. Ülkemizdeki mevcut dağıtım şebekesinin EA şarj yükünü kaldırabilmesi için akıllı şebeke sistemleri kullanılarak hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Hem kısa hem de uzun yolculukların rahatlıkla yapılabilmesi için hızlı şarj teknolojileri bulunan istasyon sayılarının artırılması gerekmektedir. Böylelikle şarj dolma süresi problemi çözülebilir. Çok fazla şarj teknolojisi bulunması şarj istasyonlarına erişilebilirliği düşürmektedir. Bu yüzden şarj teknolojileri tek bir tipe indirgenmelidir. Ayrıca EA şarj istasyonlarının sadece yenilenebilir enerji kaynakları tarafından beslenmesi, EA'nın sıfır emisyonlu olması için önemlidir. Bu sorunların çözülmesi için ciddi yatırım maliyetleri gerekmektedir.

EA ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında, batarya ve şarj teknolojilerine ağırlık verildiği görülmektedir. Çünkü EA'nın yaygınlaşmasının önündeki en büyük engeller bu parametrelerle ilgilidir. Özellikle ülkemizin şebeke altyapısının EA'nın getireceği şarj yüküne hazır olmaması bu konuyu üzerinde durulması gereken önemli bir konu haline getirmektedir. Bu çalışmada da kısaca bahsedilen bu sorunlar çözüme kavuşursa, EA'nın geleneksel araçların yerini almasının önündeki engeller ortadan kaldırılacaktır.

Bu çalışmada elektrikli araç tasarımı yapılırken, referans olarak alınan araçların değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Referans alınan bu araçlar

ise ülkemizde rahat ulaşılabilen ve ortalama düzeydeki elektrikli araçlardır.

Menzili ortalama 300 kilometre olan ve hızlı şarj teknolojisi ile yaklaşık 30 dakikada şarj edilebilen bir araç tasarlanmıştır. Kullanılan Simscape modelinde WLTP (Uluslararası Uyumlu Hale Getirilmiş Hafif Araç Test Prosedürü) sürüş çevrimi kullanılmıştır. Bu çevrimde kilometre başlı tüketim yaklaşık 160 wh'dir [27]. Aracımızın batarya paket enerjisi değeri ile bu değer oranlanırsa, tasarlanan bu aracın yaklaşık 300 kilometre menzile sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca nominal şarj akım değeri göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık 100 kW hızlı şarj gücü değeri ortaya çıkmaktadır. Bu değer hızlı şarja uygundur ve bu kapasiteye sahip bir elektrikli araç hızlı şarj opsiyonu ile yaklaşık 30 dakikada şarj edilebilmektedir.

Benzetim ve modelleme çalışmaları, tüm sistemlerin tasarımını kolaylaştırmaktadır. Bu sayede EA'nın performansı ve durumu ile ilgili tahminler yapılabilmektedir. Ayrıca modelleme çalışmaları maliyet ve zaman açısından da çok önemlidir. Bu çalışmada tasarlanan araçla ilgili parametreler ve MATLAB/Simscape ortamında bulunan hazır projeler sonraki çalışmalarda referans olarak kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Muhammed Sefa ÇETİN, Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- 1) Bora, Y. (2017). *Elektrikli Araç Sistemlerinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 2) Turğut, M. (2018). *Elektrikli Araçlar için Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- 3) Çetin, M.S., Karakaya, B., Gençoğlu, M.T., (2021). Elektrikli Araçlar İçin Lityum İyon Bataryaların Modellenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33(2), 755-763. doi: 10.35234/fumbd.953296.
- 4) Erişim: 19.04.2023, <https://www.bmw.com.tr/tr/topics/fascination-bmw/bmw-i-ve-e-mobilite/elektrikli-otomobil-turleri.html>
- 5) Erişim: 19.04.2023, <https://www.indyurk.com/>
- 6) Erişim: 19.04.2023, <https://www.togg.com.tr/>
- 7) Özcan, M.E. (2019). *Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Entegrasyonu* (Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 8) Sahin, H., Esen, H. (2022). The usage of renewable energy sources and its effect on GHG emission intensity of electricity generation in Turkey. *Renewable Energy*, (192), 859-869. doi: doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.141
- 9) Erişim: 19.04.2023, <https://zes.net/>
- 10) Erişim: 19.04.2023, <https://esarj.com/>
- 11) Rigan, M. (2020). *Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- 12) Yıldızhan, D., Erenoğlu, A.K., Erdiñç, O. (2022). Elektrikli Araç Entegrasyonunun Dağıtım Sistemine Etkilerinin İncelenmesi ve Şarj İstasyonu Altyapısının Tayin Edilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(4), 1232-1242. doi: 10.21923/jesd.1113644.
- 13) Şengör, İ. (2019). *Elektrik Dağıtım Sisteminde Elektrikli Araç Park Bölgelerinin Talep Tarafı Esnekliği Dikkate Alınarak Optimum İşletimi* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 14) Ahmad, F., Iqbal, A., Ashraf, I., Marzband, M., Khan, I. (2022, January). Placement of Electric Vehicle Fast Charging Stations using Grey Wolf Optimization in Electrical Distribution Network. In *2022 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE)* (pp. 1-6). IEEE.
- 15) Das, H. S., Rahman, M.M., Li, S., Tan, C.W. (2020). Electric Vehicles Standards, Charging Infrastructure, and Impact on Grid Integration: A Technological Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109618.
- 16) Liu, Y., Li, X., Liang, Y., Zeng, S., Li, M. (2021, February). Assessment of Impacts on Integration of Disorderly EV Charging Load to Flexible Distribution Network. In *2021 11th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE)* (pp. 139-142). IEEE.
- 17) Araújo, A.V., Araujo, D.N., Vasconcelos, A.S., Júnior, W.D.A.S., Rosas, P.A.C., de Medeiros, L.H., Ji, T. (2021). A Proposal for Technical and Economic Sizing of Energy Storage System And PV for EV Charger Stations With Reduced Impacts on The

Distribution Network. *CIREC 2021 Conference*.

18) Polat, Ö. (2015). *Elektrikli Araç Şarj Yüklerinin Raslantısal Benzetimi ve Alçak Gerilim Dağıtım Şebekesine Etkisi* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

19) Zoroğlu, B., Yapıcı, A.T., Kurt, Ü.G. (2020). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Standartları ve Türkiye'deki Elektrikli Araç Durumu. *International Marmara Sciences Congress*, (p. 301).

20) Kılıç, E. (2022). *Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Enerji Yönetimi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

21) Kerem, A., Gürbak, H. (2020). Elektrikli Araçlar İçin Hızlı Şarj İstasyonu Teknolojileri. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 8(3), 644-661. doi: 10.29109/gujsc.713085.

22) Durmuş, F.S., Kaymaz, H. (2020). Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(2), 123-139.

23) Erişim: 19.04.2023,
https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/charging-cable-and-plug-types

24) İpek, B. (2022). *Elektrikli Araçlar, Elektrikli Araç Şarj İstasyonları ve Türkiye İçin Gelecek Dönem Elektrikli Araç Miktarı Tahmini* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

25) Erişim: 23.08.2023,
https://ch.mathworks.com/help/autoblks/ug/electric-vehicle-reference-application.html?s_tid=srchtitle_Reference%20Application_4

26) Şahin, H. (2022). *Yakıt Pili-Batarya Hibrit Güç Kaynağından Beslenen Elektrikli Araç Geliştirilmesi* (Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

27) Erişim: 23.08.2023,
<https://ev-database.org/>