

Derleme makale

Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri

Furkan Said Durmuş¹, Habib Kaymaz^{2*}

¹ Elektrik Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

² Mercedes Benz Türk AŞ, Otobüs Geliştirme, Esenyurt, Türkiye

*Correspondence: habib.kaymaz@daimler.com

Özet: Elektrikli araç teknolojileri yakın bir geçmişe sahip görünse de yıllardan beri hayatımızda yer almaktadır. Elektrikli araçlar 20. yüzyılın başında büyük bir talep görmüş fakat içten yanmalı araçlar o dönemlerde farklı avantajlar sağladıkları için sayıları giderek azalmış, içten yanmalı araç sayıları çok büyük rakamlara ulaşarak araç piyasasını adeta ele geçirmiştir. Günümüzde fosil yakıt kaynaklarının azalması ve fiyatlarının her geçen gün artış göstermesi elektrikli araçları daha avantajlı konuma getirmiştir. Elektrikli araçların çevreci ve sessiz olması da kullanıcılar için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ancak batarya teknolojilerinin yeni ve pahalı olması araç maliyetlerini artırmaktadır. Buna ek olarak batarya ömürleri, şarj istasyon sayısının azlığı ve uzun şarj süreleri potansiyel kullanıcıları düşündürmektedir. Zorluklara rağmen, bu konuların hepsi ilerleyen dönemlerde hızla çözülebilecek problemlerdir. Batarya ve şarj teknolojileri ilerlemektedir. Dünya genelinde şarj istasyonu sayıları da artış göstermektedir. Her geçen gün bu teknolojilere yatırımlar artmaktadır. Elektrikli araçlar geleceğin teknolojisi olarak görülmektedir. Bu teknolojilere adapte olabilen ülkelere gelecekte avantajlı bir konuma gelecektir. Bu çalışmada, elektrikli araç ve bataryaları incelendikten sonra temassız ve temassız şarj yöntemleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araçlar, Elektrikli Araç Bataryaları, Elektrikli Araçlarda Şarj Yöntemleri, Elektrik Dolum İstasyonları, Elektrikli Araç Şarj Standartları

Electric Vehicle Charging Methods

Abstract: Although electric vehicle technologies seem to have a recent history, they have been in our lives for years. At the beginning of 20th century, electric vehicles have been in great demand but the number of electric vehicles has gradually decreased since internal combustion vehicles provided different advantages in those times. The number of internal combustion vehicles has reached enormous numbers and has almost conquered the vehicle market. Today, the decrease in fossil fuel resources and the increase in prices have made electric vehicles more advantageous. The fact that electric vehicles are environmentally friendly and silent also provides an important advantage for users. The fact that battery technologies are new and expensive increases vehicle costs. In addition, battery life poses a question mark in mind. Likewise, the scarcity of charging stations and charging times make potential users think. But all of these issues are problems that can be solved quickly in the future. Battery and charging technologies are advancing. The number of charging stations is also increasing around the world. Investments in these technologies are increasing day by day. Electric vehicles are seen as the technology of the future. Countries that can adapt to these technologies will come to an advantageous position in the future. In this study, detailed information is given about contact and non-contact charging methods after examining electric vehicles and batteries.

Key words: Electric Vehicles, Electric Vehicle Batteries, Charging Methods in Electric Vehicles, Electric Charging Stations, Electric Vehicle Charging Standards

* Corresponding author. Tel.: +0-000-000-0000 ; fax: +0-000-000-0000.

E-mail address: habib.kaymaz@daimler.com

ORCID: 0000-0002-6838-4501, 0000-0002-8338-004X (in hierarchical order)

Received 25 May 2020; accepted 20 October 2020

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Elektrikli araçların, yakın bir zamanda hayatımıza girdiği düşünülse de temelleri çok eski yıllara dayanmaktadır. Üç tekerlekli araç ile başlayan elektrikli araçlar son yıllarda daha fazla talep görmekte ve içten yanmalı araçlara göre daha fazla ilgi çekmektedir. Yakıt konusundaki avantajları ve çevreci olması bu ilginin artmasına sebep olmaktadır.

Elektrikli araçlar, hareketi sağlayan motorları için yoğun bir enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Eğer araç enerjisini içerisinde yer alan aküden alıyorsa akülü araç (Battery Electrical Vehicle, BEV) olarak adlandırılır (Kaymaz, 2018). Elektrikli araçlar kendi enerjisini kendisi de üretebilir. Bunlar da seri hibrid ve yakıt hücreli olarak ikiye ayrılmaktadır. Seri hibrid elektrikli araçlardaki içten yanmalı motor direkt olarak araç tahriğine katkı sağlamaz. Yakıt hücreli elektrikli araçlarda sadece elektrik motoru yer almaktadır. Harici enerji beslemeli elektrikli araçlar ise ihtiyaç olan enerjiyi dışarıdan temaslı veya temassız olacak şekilde alabilmektedir (Wang ve Dorell, 2013).

Elektrikli araçlarda pil teknolojileri büyük önem arz etmektedir. Günümüzde farklı anma voltajı ve enerji yoğunluğuna sahip pil çeşitleri üretilmekte ve her geçen gün geliştirilmektedir (Muratoğlu ve Akkaya, 2016). Elektrikli araçların pillerini şarj etmesi bir ihtiyaç doğurmaktadır. Elektrikli araçlarda şarj ihtiyacı istasyonlardan karşılanmaktadır. Şarj istasyonu sistemleri, elektrik enerjisi alt yapısı, tesisatı, üniteler ve bunların haberleşme alt yapıları ile komple bir sistemden oluşmaktadır (Birleştirici ve diğ, 2015). Bu sistemler elektrikli araçların uluslararası şarj standartlarını sağlamalıdır. Bu standartlar, CHAdeMO, SAE J1772 ve IEC 62196 olarak belirlenmiştir. Bu standartlar da anma gerilimi, Maksimum akım değeri ve maksimum güç gibi farklılıklar mevcuttur (Polat ve diğ, 2015). IEC 62196 standardında dört farklı şarj modu bulunmaktadır. Mod 1, Mod2 ve Mod 3 de şarj istasyonundan gelen alternatif akım, doğru akıma araç üzerinde dönüştürülmektedir. Mod 4 ise bu dönüşüm istasyon içerisinde gerçekleşmektedir (Şarj modları, 2020).

V2G (Vehicle to Grid), elektrikli araçlar ile şebeke arasındaki iletişimi ifade etmektedir.

V2G şebekedeki enerji için bir köprü görevi görür, Enerjinin şebekeden araca veya araçtan şebekeye aktarılmasını sağlar (V2G, 2020; Lindeman, 2018). Araçların şarj işlemi sadece temaslı değil aynı zamanda temassız olarak da gerçekleştirilebilir. Temassız gerçekleştirilen bu sistem, bağlı indüktif güç transferi mantığıyla çalışmaktadır (Terzi ve diğ, 2020). Özellikle kablosuz şarj sisteminde insan sağlığı ve güvenliği çok önemlidir. Bunun üzerine önemli çalışmalar yapılmaktadır.

İnsanlar aldığı araçları daha rahat kullanabilmek adına şarj istasyonlarının yaşadıkları bölgede ne kadar bulunduğu bakmaktadır. Şarj ve araç teknolojileri geliştikçe bu sayı artmaktadır. Türkiye’de yaklaşık olarak her iki otomobile bir şarj ünitesi düşmektedir (Bayram, 2019). Türkiye’de birçok firma şarj konusunda yatırım planlamakta ve Arge hizmetleri her geçen gün gelişmektedir. Sadece şarj ve araç konusunda değil aynı zamanda araç bataryalarının yerli üretim üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

2. Elektrikli araçlar

İlk elektrikli araç, 1881 yılında Fransız Gustave Trouve tarafından gerçekleştirilen üç tekerlekli araç olarak kabul edilmiştir. Bu araçta 0,1 beygir gücünde DC motor kullanılmıştır. Aracı kurşun-asit batarya beslemektedir. Bunun yanı sıra elektrikli araçlar ticari olarak kullanılmıştır. 1894 yılında Henry G. Morris ve Pedro G. Salom geliştirilmiş olan Electroboat aracı ilk elektrikli ticari taksi olarak kullanılmıştır (Üstkoyuncu, 2018). 1900-1912 yılları arası elektrikli araçların altın çağı olarak kabul edilmektedir. Türkiye’nin ilk aracı 1888 yılında II. Abdülhamit tarafından İngiltere’de Messrs Immisch & Co Şirketine sipariş edilen araçtır (Üstkoyuncu, 2018). 1909 yılında Ford firması tarafından üretilmeye başlanan Model T içten yanmalı motorlu aracı uygun fiyatından dolayı ciddi satış rakamlarına ulaşmıştır. 1912 yılında Amerika’daki elektrikli araç sayısı 30 000 ile en üst seviyeye ulaşırken içten yanmalı motorlu araç sayısı 900 000’dir. 1912 yılında elektrikli Century Electric Roadster 1750\$ fiyatında iken, Model T 550\$ satış fiyatına sahipti. Bu da ilk tercihin içten yanmalı araçlar olmasına sebep olmuştur. Elektrikli araçlar içten yanmalı araçlarla rekabet edememiştir. İçten yanmalı araçların daha güçlü olması, elektrikli araçların yüksek fiyatı, elektrikli

araçların sınırlı menzili gibi sebeplerden içten yanmalı araçlar elektrikli araçlardan daha çok satılmaya başlamıştır (Üstkoynucu, 2018). Elektrikli araçlar için 1925-1960 yılları arası karanlık çağ olarak tanımlanabilir. 1960'lı yıllardan itibaren özellikle 1947 yılında Bell Laboratuvarın da transistörün keşfedilmesinin de etkisiyle GM ve Ford gibi birçok firma tarafından elektrikli araçların geliştirilmesine yönelik çalışmalar başlatılmıştır (Üstkoynucu, 2018).

Elektrikli araçlar sürüşe direk katkı yapan içten yanmalı bir motora sahip değildir. Hareketi sağlayabilmek için içerisinde bir veya daha çok sayıda elektrik motorunu barındırır. Elektrik motorunu çalıştırabilmek için bataryada depolanan enerji kullanır. İçten yanmalı araçlar gibi çalışma esnasında çevreyi kirletmediğinden sıfır emisyonlu araç (Zero Emmision Vehicle, ZEV) olarak da adlandırılır. Elektrikli araçları birçok kritere göre tasnif etmek mümkündür. Fakat en iyi sınıflandırma enerjiyi elde etme yöntemlerine göre yapılan sınıflandırma olacaktır. Bu sınıflandırmada elektrikli araçlar, depolanmış enerji kullanan, kendi enerjisini üreten ve harici enerji beslemeli araçlar olarak sıralanabilir (Kaymaz, 2018).

2.1. Depolanmış enerji kullanan elektrikli araçlar

Akülü araç (Battery Electrical Vehicle, BEV) olarak adlandırılan bu araçlar, tahrik için kullanılacak olan enerjiyi içerisinde yer alan bataryadan alır. BEV uygulamalarında hibrit elektrikli araçlar (Hibrid Electrical Vehicle, HEV) ve elektrikli araçlar (Electrical Vehicle, EV) da olduğu gibi sekonder aküler kullanılırken, şarj için gereken enerjiyi üreten araç üzerinde özel bir sistem yoktur (Kaymaz, 2018). Aküler belirli bir süre kullanıldıktan sonra deşarj olacak ve bir şarja ihtiyaç duyacaktır. Bu ihtiyaç genellikle araçlar park halindeyken şebekeden yapılabilmektedir. Bu araçlarda akünün tipi, özellikleri ve akü yönetim ünitesi (Battery Management System, BMS) önem kazanmaktadır. Kullanılan akünün verimini arttırmak için ultra kapasitör veya fly-whell gibi destek uygulamaları yapılır. Akülerin şarj-deşarj karakteristikleri sıcaklığa, çekilen/verilen akım miktarına ve yaşlanmaya bağlı olarak değişir (Kaymaz, 2018). Bu araçlarda kullanılan akülerin ömrü de kullanıcılar için önemli bir noktadır. Bu ömür

ise akü bakımı, kullanılan koşullar ve sürülen mesafeye bağlıdır. Kısa mesafe kullanılan araçlar da aküler daha çok yıpranmaktadır ve ömrü kısalmır. Bu parametrelere de dikkat edildiği takdirde daha verimli bir akü performansı alınabilir.

İlk elektrikli araçtan itibaren kullanılan batarya çeşitleri farklılık göstermektedir. Her firma tasarımına uygun şekilde bir batarya tercihinde bulunmuştur. Elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan ve halen araştırma aşamasında olan pil teknolojileri ve özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Batarya teknolojileri (Muratoğlu ve Akkaya, 2016)

Pil Çeşidi	Enerji Yoğunluğu	Çevrim Ömrü	Çalışma Sıcaklığı
Pb-acid	35	1000	-15,+50
NiCd	50-80	2000	-20,+50
NiMH	70-95	<3000	-20,+60
Zebra	90-120	>1200	-245,+350
Li-on	118-250	2000	-20,+60
LiPo	130-225	>1200	-20,+60
LiFePO ₄	120	>2000	-45,+70
Zn-air	460	200	-10,+55
Li-S	350-650	300	-60,+60
Li-air	1300-2000	100	-10,+70

Kurşun-asit piller birçok projede kullanılmakta olan eski ve yaygın bir teknolojidir. Yüksek deşarj akımı, düşük özboşalım, hafıza etkisinin bulunmaması ve ucuz olması gibi önemli avantajları bünyesinde barındırır. Dezavantajları ise düşük nominal voltaj ve enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır. Bunlara ek olarak kullanılmadıkları zaman pil ömürleri azalmaktadır (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ, 2015).

Nikel kadmiyum piller güvenli ve ucuz bir pil teknolojisine sahiptir. Yüksek deşarj akımı sağlayan bu piller kurşun-asit pillere göre daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Dezavantajları ise zayıf şarj/deşarj verimi,

yüksek özboşalım ve hafıza etkili olmasıdır (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

Nikel metal hidrat pil teknolojisi nikel kadmiyum pillerin dezavantajlarından dolayı alternatif bir sistem olarak geliştirilmiştir. Kadmiyum elektrotu yerine metal hidrat elektrotu kullanılmıştır. Nominal voltaj değerleri eşit iken nikel metal hidrat piller daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Fakat nikel metal hidrat piller nikel kadmiyum pillere göre daha yüksek özboşalım ve aşırı şarj durumunda daha düşük güvenliğe sahiptir (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

Lityum iyon pillerde pozitif elektrot olarak lityum metal oksitler kullanılmaktadır. Lityum metal oksitler diğer materyallere göre düşük toksit, yüksek kapasite ve maddi olarak ucuz olması sebebi ile avantajlıdır. Diğer pil gruplarına göre daha yüksek nominal voltaj ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Elektrikli araçlarda daha çok tercih edilen bataryalardır. Kullanımı oldukça yaygındır (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

Lityum iyon polimer piller, lityum iyon pillerle çok benzer özelliklere sahiptir. Bu pillerin arasındaki fark ise lityum iyon polimer pillerde elektrolit olarak adından da anlaşılacağı gibi polimer materyallerinin kullanılmasıdır. Bu piller daha kolay, daha hızlı ve farklı şekillerde üretilebilmektedir (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

Lityum demir fosfat piller, pozitif elektrot malzemesi lityum demir fosfat olan lityum tabanlı pillerdendir. Lityum demir fosfat piller, yüksek enerji yoğunluğu, yüksek çevrim oranı ve daha güvenilir kullanım gibi bazı avantajlara sahiptir. Fakat lityum iyon pillerle kıyaslandığında performansı daha düşüktür (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

Lityum sülfür piller, lityum tabanlı pil gruplarından. Bu pillerde katot malzemesi olarak sülfür kullanılır. Bu piller, yüksek enerji yoğunluğuna, yüksek şarj verimine, düşük hücre gerilimi ve ortalama bir çevrim ömrüne sahiptir (Muratoğlu ve Akkaya, 2016; Yong ve diğ., 2015).

2.2. Kendi enerjisini üreten elektrikli araçlar

Bazı elektrikli araçlar elektro-kimyasal dönüşüm yaparak kendi enerjilerini kendileri üretebilirler. Bu araçlar, seri hibrid elektrikli araçlar ve yakıt hücresel elektrikli araçlar olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.2.1. Seri hibrid elektrikli araçlar

Menzili arttırılmış elektrikli araç (Extended Range Electrical Vehicle, EREV) olarak da anılan seri hibrid elektrikli araçlarda hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru yer almaktadır. Bu araçlarda tahrik gücü elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Elektrik motoru, hibrid güç ünitesinden veya bataryalardan sağlanan elektriksel gücü mekanik enerjiye dönüştürmektedir. Hibrid güç ünitesi, bir içten yanmalı motordan ve bu motordan elde edilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bir jeneratörden meydana gelmektedir (Seri hibrid, 2020). Araçta yer alan fosil yakıt içten yanmalı motor ile mekanik enerji çevrilir. Bu elde edilen mekanik enerji ise jeneratör sayesinde elektrik enerjisine çevrilmektedir. Araçlarda bir motor kontrol ünitesi yer alır. Bu ünite karar verme becerisine sahiptir. Jeneratör tarafından elde edilen enerji, bu ünite tarafından en doğru yerde kullanılır. Bu enerji ya depolanmak üzere bataryalara ya da kullanılmak üzere elektrik motoruna iletilebilir (Seri hibrid, 2020). Motor kontrol ünitesi, içten yanmalı motor ve jeneratör grubunu kullanarak bataryaları optimum oranda (% 50 – 80) şarjlı durumda tutar. Eğer şarj oranı bu limitin altına düşerse içten yanmalı motor devreye girerek çalışmaya başlar. Benzer şekilde şarj oranı bu limitin üzerine çıkarsa, içten yanmalı motor çalışmaz. Bu sistemin en büyük avantajlarından biriside rejeneratif frenleme sistemidir. Rejeneratif frenleme sistemi, yokuş aşağı gidiş ve frenleme sırasında açığa çıkan enerjinin elektrik motoru tarafından aküleri şarj etmede kullanılabilmesidir. Seri hibrid elektrikli araçlar yapı olarak yakıt pilli elektrikli araçların sistemine en yakın olanıdır. Seri hibrid sistemler yakıt pilli sistemlere altyapı hazırladıkları için önemlidir (Seri hibrid, 2020).

Seri hibrid sistemin bazı dezavantajları da mevcuttur. Elektrik üretimi için kullanılan jeneratör hem ek ağırlık hem de ek maliyete sebep olmaktadır. Ayrıca sistemin verimi -

yüksek verimli jeneratör tasarımlarına rağmen enerji dönüşümü sebebiyle düşmektedir. Seri hibridler sadece “elektrik motoruyla tahrik prensibi” üzerine tasarlanmıştır. Şehir kullanımında elektrik motoru devrededir ve enerjisini içerisinde bulunan aküden almaktadır. Akü kapasitesi içten yanmalı motoru çalıştırmaksızın gidilebilecek menzil ihtiyacına göre değişmektedir. Azalan şarj seviyesi içten yanmalı motorun devreye girmesiyle doldurulur. Jeneratörü harekete geçiren içten yanmalı motor neredeyse sabit hızda çalışmaktadır. Bu da içten yanmalı motorun verimini yükseltmekte ve yakıt tüketimini azaltmaktadır (Seri hibrid, 2020).

2.2.2. Yakıt hücreli elektrikli araçlar

Kendi enerjisini kendisi üretebilen ve tahriğini sadece elektrik motordan sağlayan araçlara yakıt hücreli araçlar denir (Fuel Cell Electrical Vehicle, FEV). Temel prensibi kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektir. Hidrojen ve oksijenin tepkimeye girmesi sonucunda bir enerji elde edilir (Kaymaz, 2018).

Doğada en çok bulunan elementlerden biri olan hidrojen renksiz, kokusuz, hafif ve zehirli olmayan bir gazdır. Hidrojen yakıldığında sadece su buharı açığa çıkar. Hidrojen en hafif gaz olmasına rağmen enerji yoğunluğu en fazla yakıtlardandır. Aynı ağırlıktaki benzinden üç kat daha fazla enerji bünyesinde barındırır. Bu özellikler onu en temiz, en çok bulunan ve en faydalı enerji kaynağı yapmaya yetmektedir. Ancak yanıcı özelliğinden dolayı hidrojeni elde etmek, depo etmek ve elektrik enerjisine çevirmek kolay bir şekilde gerçekleşmez. Kömür ve doğal gaz kaynakları sınırlı olduğundan, bu kaynakların başka alanlarda da sıklıkla kullanılmasından ve karbon içerdiğinden hidrojen üretimi için pek uygun görülmemektedir. Hidrojen üretimi için en doğru kaynak su olarak düşünülmektedir (Kaymaz, 2018). Hidrojen konusunda birçok araştırma ve çalışma yapılmaktadır. Bunların en başında da otomotiv sektörü gelmektedir. Hidrojen içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilir. Fakat yakıt pillerinde kullanılabilir en iyi yakıtlardan birisidir ve bu alanda üstünlüğünü göstermektedir. Otomobillerde kullanılabilir olan yakıt pilleri firmalar için önemli bir araştırma ve geliştirme konusu olmuştur. Fakat henüz çok

yeni sayılabilecek bir teknoloji olmasından dolayı zamana ihtiyacı olduğu görülmektedir. (Kaymaz, 2018; Polat ve Kılınç, 2007).

Yakıt hücreleri sınıflandırılırken elektrolitlerine göre isim verilir. Kullanılan elektrolitler yakıt hücresinin özelliklerini, tipini, sıcaklık ve verimi belirleyen unsurlardandır (Kaymaz, 2018).

PEM (Proton Değişim Membranlı) yakıt hücresi elektrikli araçlar için kullanılabilen en uygun yakıt hücresidir. Çalışma sıcaklıkları, güç miktarı ve yüksek verimi göz önüne alınarak bu tercih yapılmıştır. İlk PEM General Electric tarafından 1960’lı yıllarda NASA için geliştirilmiştir. Bu teknolojiye bir katı polimer elektrolit membran iki platin katalizörlü elektrolit arasına yerleştirilmektedir. Diğer yakıt pillerine göre daha fazla güç yoğunluğu, düşük hacim ve düşük ağırlığa sahip olması gibi bazı avantajları mevcuttur. Yakıt pilinde elektrolit olarak ince polimer zar tercih edilir. Mikron kalınlığa sahip olan membran, protonun geçebileceği bir yapıya sahiptir. Yakıt pilinin çalışma sıcaklığı 100°C’in altında olması gerekir. Bu sıcaklık değeri genellikle 60-80°C aralığındadır. Katalizör olarak soy metallerin kullanılması gerekir. En çok tercih edilen ise platinyumdur. Bu da maliyeti artırmaktadır. Yakıtta yer alan karbon monoksitin ayrıştırılması gerekir. Bu da ilave proses ve maliyeti beraberinde getirmektedir. Bu maliyeti azaltmak için farklı katalizörler kullanılabilir. Karbon monoksit duyarlılığı daha az olan katalizörler tercih edilebilir (Kaymaz, 2018).

Elektrikli araçların mevcut sorunlarına sahip olmayan yakıt hücreli elektrikli araçların ideal çözüm olma yolundaki en büyük engel yüksek maliyettir. Gelişen teknoloji sayesinde ilerleyen dönemlerin en çok tercih edilen aracı olacağı düşünülmektedir.

2.3. Harici enerji beslemeli elektrikli araçlar

Harici enerji beslemeli elektrikli araçlar ihtiyaç olan asli enerjiyi dışarıdan temaslı veya temassız olacak şekilde temin ederler (Kaymaz, 2018; Wang ve Dorell, 2013).

Trolleybüs sistemi olarak isimlendirilebileceğimiz bu sistem, geçmiş yıllarda toplu taşıma araçlarında sık kullanıma sahiptir. Günümüzde ise elektrikli araç teknolojilerinin gelişimi ile birlikte üzerine tekrar çalışmalar

yapılmaktadır. Trolleybüs, gücünü güzergahı boyunca üzerinde yer alan elektrik hattından (kataner sistem) alır. Bu hatta iki kablo ile bağlanmaktadır. Tramvay gibi tek kablo ile devresini tamamlayamaz. Çünkü otobüs gibi trolleybüs araçları da ray yerine yalıtkan tekerlekler üzerinde ilerler.

Birçok trolleybüs modeli hem elektrikli hem de içten yanmalı motoru içerisinde barındırır. Bunun sebebi ise sadece belirli bir güzergâh da değil aynı zamanda normal bir otobüs gibi ulaşım sağlayabilmek içindir. Buna ek olarak elektrik kesintilerinden veya arızalarından etkilenmemesi içinde içten yanmalı motoru mevcuttur. Bu sistem kendisini elektrikli seri hibrid bir araç yapar. Dünyada halen kullanılan birçok trolleybüs hattı mevcuttur. Türkiye’de de geçmiş yıllarda Ankara, İstanbul ve İzmir gibi şehirlerimiz de kullanılmıştır. Trolleybüsleri ilerleyen dönemlerde daha farklı teknolojiler ile yeniden sokaklarda görebiliriz. Türkiye’de kamu kurum ve kuruluşlarının vereceği vizyon ve destek ile bu tip elektrikli toplu taşıma araçlarının gelişimi sağlanabilir.

Trolleybüslerin enerjilerini temassız olarak alabilmeleri için çalışmalar yürütülmektedir. Tıpkı cep telefonlarını şarj etmekte kullanılmaya başlanan temassız şarj sistemi (WET, WPT veya IPT) trolleybüsler için de denenmektedir (Kaymaz, 2018).

3. Elektrikli araç şarj yöntemleri

Mevcut alteantifler içinde en fazla pratiğe dönüşen uygulama bataryalı sistemlerdir. Batarya kullanılan araçlar için en büyük problem şüphesiz şarj konusu olmuştur. Şarj konusundaki en önemli ayırım temaslı ve temassız (kablosuz) şarj olarak yapılmaktadır. Farklı güçlerde şarj istasyonları ve farklı tipte soket yapıları mevcuttur.

Mude temaslı (plug-in) bağlantıdan yolda temassız şarja değin EV farklı şarj altyapıları üzerine çalışmış ve her iki, statik ile yolda temassız, şarjı derinlemesine incelemiştir (Mude, 2018). Bunlarla birlikte elektrikli araçlar için birçok şarj metodu ve altyapısı bulunmaktadır. Csonka ve arkadaşları EV şarj için operasyonel bir metod üzerine çalışmışlar ve halk otobüsü hizmetlerinde çalışan elektrikli otobüsler ve arabalar için şarj altyapısının konuşturulmasını ve enerji yönetimini destekleyen yeni operasyonel yöntemler

geliştirmişlerdir. Şarj altyapısının konuşturulmasında “şarj seanslarının esnekliği ve öngörülebilirliği” otomobiller ve otobüsler arasındaki temel şarj farkları olarak belirlenmiştir (Csonka ve diğ., 2020). Yağcıtekin ve arkadaşları elektrikli araç şarj altyapısı için yeni bir yerleşim yöntemi üzerine çalışmışlar ve sürücülerin bir üniversite kampüsü içindeki alışkanlıklarını yansıtan anket verilerini değerlendirerek, önerilen model sayesinde en uygun yeri ve uygun şarj istasyonu sayısını bulmak için vaka çalışması yapmışlardır (Yağcıtekin ve diğ., 2013). Liu ve arkadaşları dağıtım sistemlerinde elektrikli araç şarj istasyonlarının optimal planlaması üzerine çalışmışlar ve elektrikli araç şarj istasyonlarının en uygun yerleri, öncelikle çevresel faktörler dikkate alınarak elektrikli araç şarj istasyonlarının hizmet yarıçapı ile iki aşamalı bir tarama yöntemi belirlenmiştir. EV şarj istasyonlarıyla ilişkili toplam maliyetin en aza indirilmesi ve modifiye edilmiş yeni bir algoritma (MPDIPA) ile çözülmesi sayesinde EV şarj istasyonlarının optimum boyutlandırılması için matematiksel bir model geliştirilmiştir (Liu ve diğ., 2012). Sivasankar ve Raathy elektrikli araçlarda şarj altyapısı ve hızlı şarj topolojileri üzerine çalışmışlardır (Sivasankar ve Raathy, 2020). Kumar ve Sharmila elektrikli araçların kablosuz şarjı, Marinescu ve arkadaşları EV/HEV için temassız batarya şarjı, Subudhi ve Krithiga elektrikli araç bataryalarının statik ve dinamik şarjında kablosuz güç aktarım topolojilerinin kullanımı konusunda çalışma yapmışlardır (Sivasankar ve Raathy, 2020; Kumar ve Sharmila, 2019; Marinescu ve diğ., 2016; Subudhi ve Krithiga, 2020). Batarya teknolojilerinin yanı sıra uygun şarj istasyonlarının belirlenmesi de önemlidir. Elghitani ve El-Saadany elektrikli araçların uygun bir şarj istasyonuna atanması üzerine çalışmışlar ve buna olanak sağlayan kullanıcı odaklı bir EV kontrol şeması oluşturmuşlardır. Temel performans göstergesi, kullanıcının hizmeti talep etmesinden erişimine kadar harcadığı ortalama süre olan bu kontrol şeması, en yakın istasyon ve en kısa kuyruğa katılma ilkesi olan diğer iki dinamik atama şemasıyla karşılaştırılmıştır (Elghitani ve El-Saadany, 2020). Rajendran ve arkadaşları ise elektrikli araç şarj istasyonları için enerji tasarruflu dönüştürücüler üzerine çalışarak farklı AC / DC

dönüştürücü topolojilerinin mevcut tasarımını ve hızlı DC şarj altyapıları için gelecekteki uygulama planlarını gözden geçirmişlerdir. Çalışma, elektrikli araç şarj istasyonlarında daha az CO₂ emisyonuna üreten ve böylece sürdürülebilir iklimsel kalkınma hedeflerine katkıda bulunan Viyana DC hızlı şarj istasyonlarındaki doğrultucu topolojilerine odaklanmıştır (Rajendran ve diğ., 2018). Elektrikli araçlarda şarj ile ilgili birçok belirsizlikte bulunmaktadır. Bu belirsizlikleri ortadan kaldırmak için birçok çalışma yürütülmüştür. Li ve arkadaşları belirsizlikleri dikkate alınarak elektrikli araçlar için bir hibrit güç şarj istasyonunun optimum tasarımı ve analizi üzerine çalışmışlar ve elektrikli araç şarj istasyonlarının boyutlandırması için optimum karar değişkeni elde etmişlerdir (Li ve diğ., 2018). Şarj istasyonları kompleks bir sistemdir. Bu sebepten dağıtım şebekeleri de büyük önem arz etmektedir. Liao ve Yang üç fazlı dağıtım şebekesinde dengesizliğe neden olabilecek tek fazlı güç hattı üzerine çalışmışlar ve bir faz kontrol koordine şarj yöntemini bu sorunu çözmek için ortaya koymuşlardır. Bunun için ilk olarak, şarj yükünün dağıtım şebekesine etkileri eşdeğer devre bazında analiz edilmiş ve daha sonra kontrol yönteminin bir mimarisi ve buna karşılık gelen optimal kontrol model tanıtılmıştır (Liao ve Yang, 2018). Fernandez ve arkadaşları bir elektrikli araç şarj istasyonunun kontrolü üzerine çalışmışlar ve elektrikli araçlar için şarj cihazına uygulanan ağırlıklı ortalama akım kontrolü sunulmuştur. Önerilen kontrol, dönüştürücü akımlarının iki yönlü kontrolüne izin verir. Böylece hem bataryanın kontrollü bir şekilde yüklenmesine hem de şebekede düşük distorsiyonla akım çekilmesine izin verir (Fernandez ve diğ., 2020).

Mroczek ve Kołodyńska kestirimci bir model ile V2G prosesi üzerine çalışmışlar ve V2G hizmetinde elektrik kullanımını optimize etmek için bu modeli kullanmışlardır. Model, belirli bir araç modelinin karakteristik parametrelerini, süspansiyon yapısını ve aerodinamiğini hesaba katarak, aracın aşamalı hareketle ilgili enerji talebinin çok hassas bir şekilde belirlenmesine izin verir (Mroczek ve Kołodyńska, 2020). Mouli ve arkadaşları Chademo ve CCS / Combo DC şarj standardı kullanılarak dinamik şarj ve V2G'nin uygulanması üzerine çalışmışlar ve dinamik şarj ve araç uygulamasındaki şarj standartlarını şebeke (V2X) ile karşılaştırıp şarj

sistemi tasarımı, yanıt süresi, yenilenebilir kaynaklardan şarj etme esnekliği ve gerekli tampon kapasitesi üzerindeki etkisini ortaya çıkarmışlardır. Çalışmada, Chademo ve CCS / COMBO kullanılarak dinamik şarjın deneysel sonuçları, iki standart arasındaki temel farkı gösteren farklı uyumlu EV'ler için sunulmuştur (Mouli ve diğ., 2016).

Halen araştırma aşamasında olan kablosuz şarj teknolojileri hakkında birçok çalışma yapılmaktadır. Chen ve arkadaşları elektrikli araçların kablosuz şarjı için elektromanyetik ortam ve güvenlik değerlendirmesi üzerine çalışmışlar ve güvenlik marjı, ilgili standartlar, parametrik değişimler, elektromanyetik ortam ve bunların insan vücudu üzerindeki karşılık gelen etkilerini analiz etmek için simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarını doğrulamak için deneysel bir platform oluşturulup, 3,5 kW gücünde bir EV'nin kablosuz şarjı gerçekleştirilmiştir (Chen ve diğ., 2015).

3.1. Temaslı (kablolu) şarj

Elektrikli araçlar genellikle temaslı bir şekilde şarj olmaktadır. Şarj istasyonları ve araç teknolojileri temaslı şarjı desteklemektedir. Bu durumun oluşmasında temassız şarjın çok daha yeni bir teknoloji olmasının da etkisi büyüktür. Temaslı şarj, bir kablo vasıtası ile aracın şarj istasyonuna veya şebekeye bağlanması ile gerçekleşir.

Temaslı şarj sistemleri, elektrik enerjisi alt yapısı ve tesisatı ile başlayan, araçlara enerji akışını ve kontrolünü gerçekleştiren üniteler ve bunların haberleşme alt yapısı ile devam eden komple bir sistemdir. Bu sistem içerisinde, enerji alt yapısı, şarj kapasitesini karşılayabilir seviyede alçak gerilim tesisatını içerisine almaktadır. Bunlara ek olarak, enerji kalitesi şartlarını yerine getirebilmek için kompanzasyon ve harmonik filtreleme üniteleri de bu tesisat içerisinde yer almaktadır. Bu sistem içerisinde elektrikli araçlara enerji akışını şarj üniteleri sağlamaktadır. Bu üniteler IEC 62196 gibi uluslararası şarj istasyon standartlarına uygun olarak üretilir. Kullanıcı güvenliğinin sağlanması en önemli unsurlardandır. Bu ünitelerde tüketim bedeli kullanıcılara yansıtılır (Birleştirici ve diğ., 2015).

Temaslı şarj ünitesi, enerjinin elektrikli araca akışını insan ve teknik alt yapı açısından en güvenli bir şekilde gerçekleştiren ekipmanlardır. Şarj üniteleri Avrupa, Amerika ve Japonya gibi dünyanın çeşitli bölgelerinde farklılık gösteren yapılarda bulunmaktadır. Bunların ücretlendirilmesi de ülkelere göre değişmektedir. Bu şarj ünitelerinde ki farklılıklardan en önemlisi de DC ve AC şarj türleridir. Japonya CHAdeMO standardını kullanmaktadır. Japon kullanıcılar araçlarını doğru akım ile şarj eden üniteler geliştirmiş ve kullanıma sunmuşlardır. Bu standart ile araçlara 62.5 kW'a kadar enerji aktarımı yapabilmektedir. Bu standarda ait elektriksel büyüklükler Tablo 2 de gösterilmiştir (Birleştirici ve diğ, 2015; TEPCO, 2010).

Tablo 2. CHAdeMO büyüklükleri (Polat ve diğ, 2015)

Şarj Yöntemi	Anma Gerilimi (VDC)	Maks. Akım (A)	Maks. Güç (kW)
CHAdeMO	500	125	62,5

Amerika ise SAE J1772 standardı ile 19.2kW'a kadar elektrikli araçlarına şarj yapabilmektedir. Bu standarda ait elektriksel büyüklükler Tablo 3 de yer almaktadır (Birleştirici ve diğ, 2015; SAE International, 2010).

Tablo 3. SAE J1772 Elektriksel büyüklükleri (Polat ve diğ, 2015)

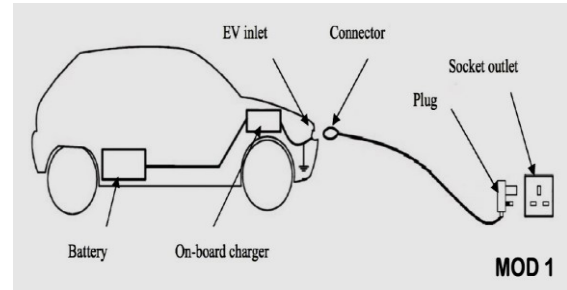
	Şarj Yöntemi	Anma Gerilimi (V)	Maks. Akım (A)	Maks. Güç (kW)
AC	Seviye 1	120	12	1,44
		120	16	1,92
	Seviye 2	208-240	>20	19,2
			≤80	
DC	Seviye 1	200-500	80	40
	Seviye 2	200-500	200	100

Avrupa'da benimsenen IEC 62196 standardı ise AC şarj gerçekleştirmektedir. Bu standartta 3 faz 43.5 kW'a kadar şarj yapabilmektedir. Şarj işlemi için farklı modlar mevcuttur (Birleştirici ve diğ, 2015; Lazzaro, 2010).

3.1.1. Şarj modları

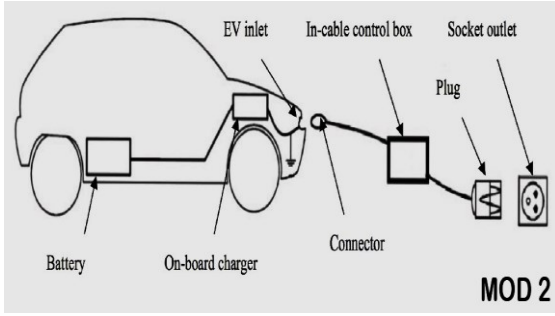
Elektrikli araçların şarj olması ve şarj modları üzerinde belirli bir standart vardır. Bu standartlar IEC 62196 de belirlenmiştir. Elektrikli araç bataryalarının yapıları gereği doğru akımla (DC) şarj olmaları gerekmektedir. Mod 1, 2, ve 3 şarj işlemlerinde, şebekeden gelen alternatif akım (AC), DC'ye araç üzerinde (onboard charger) dönüştürülmektedir. Mod 4 şarj işlemi ise bu dönüşüm istasyon içerisinde gerçekleştirilmektedir (Şarj modları, 2020).

mod 1: Elektrikli aracın direkt olarak AC bir prize bağlanarak şarj edildiği moddur. Şekil 1 de gösterilmiştir (Bayram, 2017). Akım 16 A, Gerilim ise tek fazda 250V ile üç fazda ise 480V ile sınırlandırılmıştır. Topraklama gerekmektedir. Birçok ülke de Mod 1 tipi şarj güvenlik nedeniyle yasaklanmıştır. Bu durumu çözebilmek için Mod 2 geliştirilmiştir (Şarj modları, 2020).



Şekil 1. Mod 1 şarj modu gösterimi

mod 2: Bu şarj modu da yine mod 1 de olduğu gibi direkt olarak AC prize bağlanarak şarj edilmeyi içerir. Farklı olarak kablo üzerinde bir haberleşme adaptörü kullanımı zorunludur. Şekil 2 de gösterilmiştir (Bayram, 2017). Bu adaptör, akımı ancak priz tarafında topraklama varsa iletmektedir. Mod 1 de yer almayan bu özellik ile güvenlik düşünülmüştür. Enerjinin alındığı tarafta bir kontrol pini bulunmamaktadır. Akım 32 A, Gerilim ise tek fazda 250V ile sınırlandırılırken bu değer üç fazda 480V ile sınırlandırılmıştır (Şarj modları, 2020).



Şekil 2. Mod 2 şarj modu gösterimi

mod 3: Bu şarj modunda, diğer modlarda olan standart AC priz yerine aşağıda Şekil 3 de görülen Mennekes tipi bir konektörle bağlantı yapılmaktadır. Bununla birlikte şarj istasyonuna bağlantı sağlanmaktadır (Şarj modları, 2020).



Şekil 3. Mennekes tipi konektör

Şekil 3 de görülmekte olan bu 7 pinin farklı fonksiyonları bulunmaktadır. Bu 7 pin aşağıda sıralanmıştır;

- Üç ayrı fazı (L1, L2, L3),
- Nötr bağlantısını (N)
- Topraklama bağlantısını
- Kontrol ve Haberleşme Pinleri

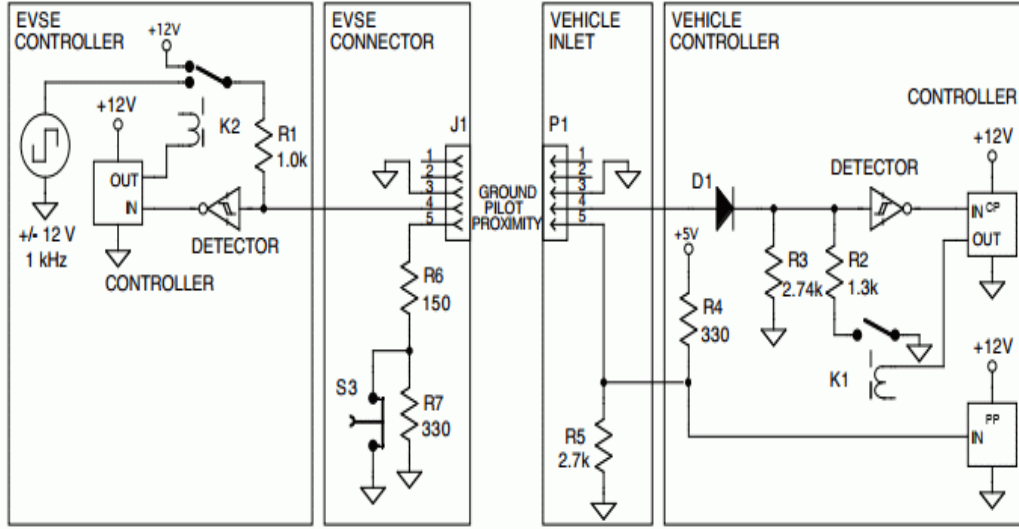
Kontrol pini (mod): Şarj istasyonu , kontrol pini üzerinde, bir direnç ve bir diyot (voltaj aralığı $\pm 12.0 \pm 0.4$ V) ile araç tarafındaki korumalı toprağa geri bağlanan 1 kHz kare dalga gönderir . CP-PE (Koruyucu Topraklama) devresi açıksa, genel şarj istasyonlarının canlı kabloları her zaman ölüdür , ancak standart Mod 1'deki gibi bir şarj akımına izin verir (maksimum 16 A). Devre kapalıysa, şarj istasyonu koruyucu toprağın işlevsel olduğunu da test edebilir. Araç, bir direnç ile ayarlayarak şarj talep edebilir (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020).

SAE J1772:2001'deki Kontrol Pilot hattı devre örnekleri, mevcut döngü CP-PE'nin araç tarafına kalıcı olarak 2.74 k Ω direnç üzerinden bağlandığını gösterir. Dalga jeneratörünü aktive eden şarj istasyonuna bir kablo bağlandığında +12 V'den +9 V'a voltaj düşüşü olur. Şarj, araç tarafından paralel 1.3 k direnç eklenerek +6 V'a kadar bir voltaj düşüşü ile veya paralel 270 Ω direnç eklenerek +3 V'a kadar bir voltaj düşüşü ile etkinleştirilir. Bu düşüşler sadece pozitif aralıkla olacaktır. CP-PE devresindeki herhangi bir negatif voltaj, ölümcül bir hata olarak kabul edildiğinden akımı kesilir (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020; SAE International, 2001).

Kontrol pini (akım sınırı): Şarj istasyonu, darbe sinyali modülasyonu yardımıyla mevcut olan maksimum akımı tanımlamak için dalga sinyalini kullanabilir. %16 PWM maksimum 10 A, %25 PWM maksimum 16 A, %50 PWM maksimum 32 A ve %90 PWM hızlı şarj seçeneğini işaret eder (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020; Mathoy, 2008).

1 kHz kontrol pini sinyalinin PWM görev döngüsü, izin verilen maksimum şebeke akımını gösterir. SAE'ye göre priz, kablo ve araç girişini içerir. ABD'de, sürekli ve kısa süreli çalışma için ampacity (amper kapasitesi veya akım kapasitesi) tanımı kullanılmaktadır. SAE, 1 ms'lik tam döngüye (1 kHz sinyal) dayalı bir formülle türetilen ampacity değerini tanımlar. Maksimum sürekli amper değeri 10 μ s başına 0.6 A'dir (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020; Mathoy, 2008).

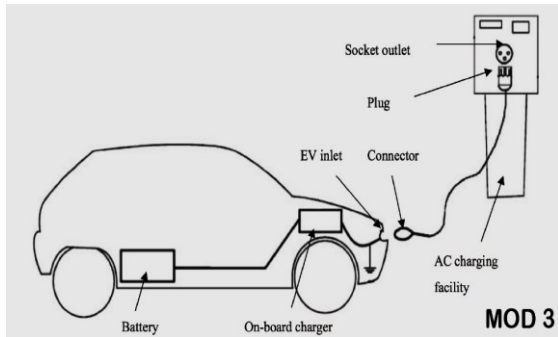
Haberleşme pini: Şekil 4 de gösterildiği gibi haberleşme pini (PP) S3 anahtarını, konektör mandal serbest bırakma aktüatörüne mekanik olarak bağlı olacak şekilde tanımlar. Şarj sırasında, şarj istasyonu tarafı PP-PE döngüsünü S3 ve 150 Ω (R6) ile bağlar. Serbest bırakma aktüatörünü açarken, şarj istasyonu tarafındaki PP-PE döngüsüne 330 Ω (R7) eklenir, bu da elektrikli aracın şarj güç pinlerinin fiili olarak kesilmesinden önce kontrollü bir kapanma başlatmasına izin vermek için hat üzerinde bir voltaj kayması sağlar. Bununla birlikte, birçok düşük güç adaptör kablosu, haberleşme pini üzerinde kilitleme aktüatör durum tespitini sağlayamaz. IEC 62196'da haberleşme pini, kablo kapasitesini belirtmek için de kullanılabilir (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020).



Şekil 4. SAE J1772 çıkış pinleri (Terzi ve diğ., 2020).

Direnç, kablo grubunun maksimum akım kapasitesine göre kodlanmıştır. Kablonun akım kapasitesi, önerilen yorum aralığı değerleriyle tanımlandığı gibi RC ölçümü tarafından aşıldığı tespit edilirse şarj istasyonu akım beslemesini keser (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020). Rc, sökülebilir kablo grubu içinde haberleşme ve kontrol pinleri arasına yerleştirilir (Kontrol ve haberleşme pinleri, 2020).

Mod 3 şarj modu Şekil 5'de gösterilmiştir (Bayram, 2017). Araç kabul edebileceği akım seviyesini şarj istasyonuna Mennekes sokette yer alan pimler ile iletir. İstasyon ise kendi içerisinde akımı ayarlayarak araca enerjiyi aktarır (Şarj modları, 2020).



Şekil 5. Mod 3 şarj modu gösterimi

Mod 2'den farklı olarak yapılan bu karşılıklı haberleşmeye ek olarak mod 3 de enerji kaynağı tarafında da sistem korumaları (aşırı akım, kaçak akım vb) mevcuttur. Ayrıca, şarj istasyonu kurulurken istasyonu besleyen kablunun kesiti, mutlaka gerekli gücü sağlayabilecek şekilde ayarlanmalıdır. Sıralanan bu sebeplerden dolayı Mod 3, Mod

2'ye göre çok daha güvenli ve hızlı bir şarj imkânı sunmaktadır (Şarj modları, 2020).

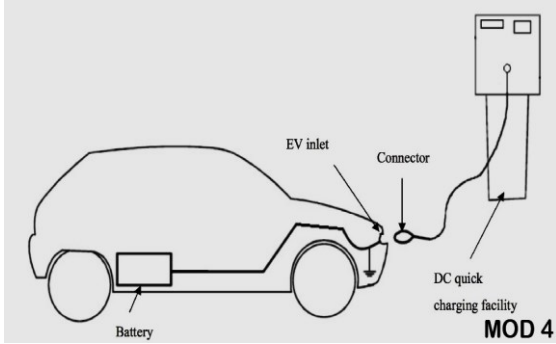
Şarj istasyonunun gücü ile araç üzerinde yer alan onboard charger'ın gücü kıyaslanır ve en küçük değer, şarj işleminin gücünü göstermektedir. Şarj işlemi gücü arttıkça, araç içerisinde yer alan bataryayı doldurmak için gerekli şarj süresi azalmaktadır. Mod 3'te, şarj gücüne göre (akım ve faz sayısı) 4 adet şarj sınıfı bulunmaktadır (Şarj modları, 2020). Bu sınıflar aşağıda sıralanmıştır;

- 3.7 kVA (16A, Tek Faz – 230V AC)
- 7.4 kVA (32A, Tek Faz – 230V AC)
- 11 kVA (16A, Üç Faz – 400V AC)
- 22 kVA (32 A, Üç Faz – 400V AC)

Batarya kapasitesi arttıkça, şarj süresi artar. Bataryalar yaklaşık %90 doluluk seviyesine kadar lineer şarj olurken, %90 seviyesi üzerinde daha yavaş şarj olmaktadır (Şarj modları, 2020).

mod 4, Bu mod hızlı şarja yönelik düzenlenmiştir. DC güç veren istasyonlardan 400A'e kadar olan şarj edilebilme kapasitesine sahiptir. Elektrikli araçlar olarak şebekeden aldıkları AC kaynağı redresör (onboard charger) üzerinden DC'ye çevirmeleri gerekmektedir. DC sinyale çevrildikten sonra elektrikli araç bataryaları şarj olurlar. Bu redresöre yönelik hem termal sınırlamalar hem de maliyet unsurları göz önüne alınarak 75A'e kadar (Mod 3 tipi) izin verilmektedir. Mod 4 ise şebekeden çekilen AC kaynağın bir hızlı şarj istasyonu içerisinde yer alan inverter üzerinden

DC'ye çevrilerek elektrikli aracın batarya grubuna direkt (redresöre girmeden) verilmesini sağlamaktadır. Bu da yüksek akımlara ve dolayısıyla elektrikli araçları hızlı şarj edebilmeye imkân tanımaktadır. Mod 4 şarj modu Şekil 6 da görülmektedir (Şarj modları, 2020).



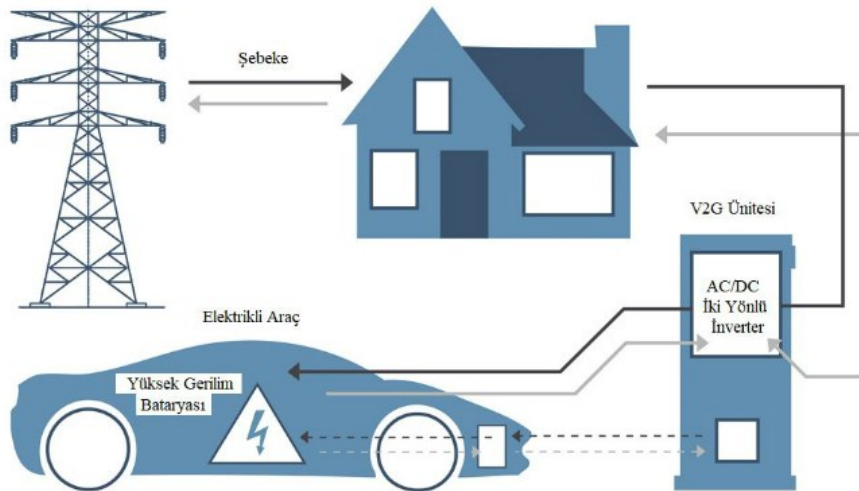
Şekil 6. Mod 4 şarj modu gösterimi

3.1.2. Araç-şebeke iletişimi

V2G (Vehicle to Grid), bataryalı elektrikli araçlar (BEV), plug-in hibridler (PHEV) veya hidrojen yakıt hücresel elektrikli araçlar (FCEV) gibi elektrikli araçların, şebeke ile araç arasındaki iletişimini ifade eder. Bir V2G kurulumu şebekedeki enerji için bir köprü görevi görür, yoğun olmayan saatlerde enerjiyi saklarken yoğun saatlerde ise şebekeye geri döndürür. V2G döngüsü, elektrikli araçların güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriği, hava ve günün saatine bağlı olarak depolamasına veya boşaltmasına imkân tanımaktadır. Bu teknolojinin elektrik şebekeleri için fırsat olabileceği düşünülmektedir (V2G, 2020; Lindeman, 2018).

Şebeke ile araç döngüsü Şekil 7 de gösterilmiştir. Bu teknoloji elektrikli araç sahiplerinin araçlarını kullanmadıklarında şarjda takılı bırakmalarını ve elektrik faturalarını azaltmalarını sağlayabilir. Buna örnek verilecek olursa, herhangi bir zamanda otomobillerin %95'i park edildiğinden, elektrikli araçlardaki pillerden şebekeye enerji akışı sağlanabilir. V2G ile birlikte potansiyel kazançlarla ilgili 2015 yılında bir rapor yayınlanmıştır. Bu raporda uygun şartlarda araç sahiplerinin ortalama günlük sürüşlerinin 20 mil, 40 mil ve 60 mil olduğunda 454 dolar, 394 dolar ve 318 dolarlık kazanç sağlayabileceklerini ortaya koymuştur (V2G, 2020; He ve diğ, 2015).

Aküler, sınırlı bir şarj/deşarj döngüsüne ve raf ömrüne sahiptir, bu nedenle araçların şebekeye depolama olarak kullanılması pil ömrünü azaltabilmektedir. Pilleri günde iki veya daha fazla kez şarj/deşarj olması, kapasitede büyük düşümlere sebep olabilir, ömürlerini kısaltabilir. Ancak, pil kapasitesi pil kimyası, şarj vedeşarj oranı, sıcaklık, şarj durumu ve yaş gibi faktörlerin etkisi ile değişebilmektedir (V2G, 2020; Uddin ve diğ, 2017). V2G teknolojileri, yeni nesil elektrikli araçlarda güç hattı iletişim protokolleri ve çift yönlü şarj cihazları kullanılarak geliştirilmektedir (V2G, 2020; Kubat, 2019). Uygulama alanları maksimum yük dengeleme ve yedek güç olarak iki bölüme ele alınır.



Şekil 7. V2G döngüsü (Kubat, 2019).

Maksimum yük dengeleme, V2G elektrikli araçlar tarafından talep düşük olduğunda geceleri şarj etme ve talep yüksek olduğunda şebekeye güç gönderme ile yükleri dengelemeye yardımcı olmak için güç sağlanmasına izin verir.

Kamu hizmetleri için voltaj ve frekansı sabit tutmayı sağlayabilir. Ani güç taleplerini karşılamak için yeni yollar geliştirebilir. "Akıllı sayaçlar" ile birleştirilmiş bu hizmetler, V2G araçlarının şebekeye geri güç vermesine ve karşılığında şebekeye ne kadar güç verildiğine bağlı olarak maddi faydalar elde etmesine olanak tanımaktadır. Elektrikli araçların bu şekilde kullanımının, rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir güç kaynaklarını rüzgârlı dönemlerde üretilen fazla enerjiyi depolayarak ve yüksek yük dönemlerinde şebekeye geri vererek etkili bir şekilde stabilize olabileceğini ortaya koymaktadır. Böylece rüzgâr enerjisinin sürekliliği sağlanabilir (V2G, 2020).

Bu teknoloji ile birlikte kamu hizmetlerinin, yüksek talebi karşılamak için çok fazla doğal gaz veya kömür yakıtlı enerji santrali inşa etmesi gerekmeyeceği öne sürülmüştür (V2G, 2020).

Yedek güç, modern elektrikli araçlar genellikle akülerinde ortalama bir evin günlük enerji ihtiyacından daha fazlasını depolayabilir. PHEV'in gaz üretme kabiliyeti olmadan bile, böyle bir araç birkaç gün boyunca acil durum gücü için kullanılabilir (örneğin, aydınlatma, ev aletleri vb). Bu, araçtan eve iletim teknolojisi (V2H) için bir örnek olacaktır. Bu nedenle, rüzgâr veya güneş enerjisi gibi aralıklı yenilenebilir güç kaynakları için tamamlayıcı bir sistem olarak görülebilirler. 5,6 kg'a kadar hidrojen içeren tanklara sahip hidrojen yakıt hücreli araçlar (FCV) 90 kWh'den fazla elektrik sağlayabilir (V2G, 2020; Wassink, 2016). Bu da kamu kurum ve kuruluşları için çok ciddi bir avantaj sağlamaktadır. Tek yönlü V2G veya V1G, çift yönlü yerel V2G (V2H, V2B, V2X), çift yönlü V2G olarak 3 çeşit V2G vardır.

V2G teknolojisinin şebeke avantajlarının çoğu, V1G veya "akıllı şarj" olarak da bilinen tek yönlü V2G ile gerçekleştirilebilir. Kaliforniya Bağımsız Sistem Operatörü (CAISO), "tek yönlü yönetilen şarj hizmetleri" olarak V1G'yi tanımlar. AGH şebeke hizmetlerinin sağlayabileceği tüm yolları kapsar. Araç-şebeke Arabirimi (VGI), dört seviye olarak

tanımlanmaktadır (V2G, 2020; California ISO, 2014). Bunlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Tek bir kaynak ve birleşik aktörlerle tek yönlü güç akışı (V1G)
- Toplu kaynaklara sahip V1G
- Parçalanmış aktör hedefleri olan V1G
- Çift yönlü güç akışı (V2G)

V1G, şebekeye yardımcı hizmetler sağlamak için elektrikli bir aracın şarj edildiği süreyi veya hızı değiştirmeyi sağlarken, V2G ayrıca ters güç akışı sağlayabilir. V1G, şebeke ile sürekli haberleşme halindedir. Şebeke uygun olduğu zamanda şarj işlemi gerçekleşebilir. Aşırı güneş üretiminin olduğu günün ortasında şarj edilecek araçları, frekans tepki hizmetleri, yük dengeleme gibi hizmetleri sağlamak için elektrikli araçların şarj oranını değiştirme uygulamalarını yapabilmektedir. V1G, V2G'nin fizibilitesi ile ilgili olarak mevcut teknik sorunlar nedeniyle elektrikli araçları kontrol edilebilir yükler olarak elektrik şebekesine entegre etmeye başlamak için en iyi seçenek görülmektedir. V2G'nin kendine özel donanım ihtiyacı vardır (özellikle çift yönlü invertörler). Oldukça yüksek kayıplara ve sınırlı gidiş-dönüş verimliliğine sahiptir ve artan enerji verimliliği nedeniyle elektrikli araçların pillerinin bozulmasına sebebiyet verebilir. Buna ek olarak, V2G'nin ekonomik olarak uygulanabilir olması için hala üzerinde çalışılması gerektiği görülüyor (V2G, 2020; California public utilities commission, 2017). Araçtan eve (V2H), araçtan binaya (V2B) veya araçtan her şeye (V2X) genellikle şebeke performansını doğrudan etkilemez fakat yerel ortamda bir denge oluşturur. Elektrikli araç, elektrik kesintisi olduğu dönemlerde yerleşik bir yedek güç kaynağı olarak veya üretilmiş enerjinin artan öz tüketim için kullanılabilir (V2G, 2020; Paulraj, 2020). Şebeke veya iletim sistemi kurumları, yoğun talep dönemlerinde müşterilerden enerji satın almaya veya birincil frekans regülasyonu ve ikincil rezerv dahil olmak üzere dengeleme ve frekans kontrolü gibi yardımcı hizmetler sağlamak için elektrikli araçların pil kapasitesini kullanmayı talep edebilirler. Bu nedenle, V2G, V2B veya V2H'den daha yüksek potansiyel de ticari değere sahip olduğu kabul edilir (V2G, 2020).

3.1.3. Verimlilik

Çoğu modern akülü elektrikli araç, % 90'dan daha fazla gidiş-dönüş verimliliği sağlayabilen lityum-iyon hücreler kullanır. Pilin verimliliği şarj hızı, şarj durumu, pilin sağlık durumu ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır (V2G, 2020). Bunlara ek olarak, kayıpların büyük bir kısmı batarya dışındaki sistem bileşenlerinde kaynaklanmaktadır. İnvörtörler gibi güç elektroniği bileşenlerinde de kayıplar olabilmektedir. Bir çalışmada, V2G sistemi için % 53 ila % 62 aralığında gidiş-dönüş etkinliği tespit edilmiştir (Shirazi ve Sachs, 2018). Başka bir çalışmada yaklaşık %70'lik bir verimlilik rapor edilmiştir (Apostolaki-Iosidou ve diğ, 2018). Bunların yanı sıra, genel verimlilik birkaç faktöre bağlıdır ve bu verimlilik kavramı büyük ölçüde değişebilir (V2G, 2020).

3.2. Temassız (kablosuz) şarj

Gün geçtikçe elektrikli araçlar yaygınlaşmakta ve kullanıcılar da araçlarını şarj etmek için şarj istasyonlarına ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde kullanılmakta olan istasyonlar araç sahiplerini uzun süre bekletmektedir. Yani ancak insanlar gitmek istedikleri yerlere ulaştıktan sonra park halindeyken araçlarını şarj edebilmekteler. Cep telefonu gibi birçok elektronik cihazda hem kablosuz hem de hızlı şarj mümkündür. Benzer bir teknolojiyi elektrikli araçlarla yapabilmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Böylece hem hızlı hem de temassız bir şekilde araçlar şarj edilebilirken aynı zamanda yol kenarlarında bile kullanılacak istasyonlar ile yaygın bir şarj istasyonu ağı kurulabilecektir. Bu çalışmalar yakın tarihte yapılmış gibi görünmekle beraber temelleri geçmişe dayanmaktadır.

Kablosuz şarj sistemi, bağlı Endüktif Güç Transferi (IPT) sistemi ile açıklanabilir (Terzi ve diğ, 2020). Elektrik ve manyetizma ilişkisi, Faraday yasası olarak James Clerk Maxwell tarafından matematiksel olarak formül haline getirilmiştir. Nicola Tesla ise uzun mesafe için kablosuz elektrik iletimini hayata geçirmiştir (Terzi ve diğ, 2020; Tesla, 1905). Bu sistemde yer alan birçok teknolojinin temelini Tesla atmıştır.

Primer bobinler elektrik gücünü manyetik güce dönüştürürken seconder bobinler ise üretilen elektromanyetik alan enerjisini toplar ve elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlar. Bununla birlikte elektrikli araçların şarj işlemi

gerçekleştirilebilir. Bu olay ana transformatör kavramını açıklamaktadır (Terzi ve diğ, 2020; Gann ve diğ, 2018). Elektrik hasarlarını önlemek için bobinler aynı rezonans frekansına sahip olması gerekir. Akımı elektrikli aracın akülerine ileterek şarj işleminin başlaması sağlanmaktadır (Terzi ve diğ, 2020). Elektrik kontaklarının olmaması nedeniyle IPT sisteminin verici ve alıcısı bağımsızdır. Bu özellik kullanıcı için çok önemli olan güvenliği önemli ölçüde artıran faktörlerdendir (Terzi ve diğ, 2020; Cirimele ve diğ, 2018). Georgiy Babat, 1943'te EV üzerindeki IPT sisteminin ilk uygulamasını geliştirdi. Uygulamanın verimliliği sadece % 4'tü (Terzi ve diğ, 2020; Babat, 1947). İlk kablosuz şarj teknolojisi sabit olarak yapılmıştır. Sistem statik endüktif şarj sistemi olarak da tanımlanır. Elektrikli araçları şarj etmek için dinamik kablosuz şarj sistemi geliştirilmiştir (Terzi ve diğ, 2020; Jang, 2018).

Kablosuz şarj sistemlerinde önemli konulardan birisi de anten hizalamasıdır. Hanspeter Widmer bu konuda çalışma yaparak anten hizalaması için bir cihaz icat etti. Alıcı ve verici sistemleri, elektromanyetik alanın mukavemetini tespit etmek ve güç kaybını en aza indirmek için olabildiğince birbirine yakın konumlandırılmalıdır (Terzi ve diğ, 2020; Widmer ve diğ, 2012).

Statik olarak yapılan ve aracın hizmetten alınmasına sebep şarj işlemi yerine elektrikli araçların dinamik kablosuz şarjı, araç hareket halindeyken araç ile şebeke arasında güç alışverişi sağlaması nedeniyle tercih edilen bir yöntem haline gelmektedir. Burada hareket halindeki araca enerji transferi yapacak şekilde yolun düzenlenmesi gerekmektedir. İhtiyacı olan araç tahsisli/ücretli şeridi kullanmak suretiyle şarjını tamamlayabilecektir. Bununla birlikte, geniş yol ağları göz önüne alındığında, engelleyici maliyetler nedeniyle her yol segmentinde altyapı birimlerinin bulunması pratik değildir. Dinamik temassız yol şarjına alternatif olarak, yüksek batarya gücüne sahip kamyon/otobüs gibi araçlardan veya Mobil enerji dağıtıcıları (MED) sayesinde aktif ve gerçek zamanlı enerji alışverişine izin verilir.

3.2.1. Kablosuz şarj iletişimi

Bir IPT sisteminde, geri bildirim vermek için şarj cihazı tarafı ile elektrikli araç tarafı arasında bilgi alışverişi çok önemlidir. İletişim, sinyalin güç hatlarında modüle edilip edilmediğine veya

ayrı bir frekans bandı uygulayıp uygulamadığına göre ayrılabilir (Terzi ve diğ, 2020; Li ve Mi, 2014).

Kablosuz Güç Konsorsiyumu (WPC) tarafından düşük güçlü IPT sistemi için açık bir arabirim standardı geliştirilmiştir. Konsorsiyum “Qi” logosunu kullandı, bu nedenle standart da Qi Standardı olarak adlandırılmaktadır (Terzi ve diğ, 2020; Widmer ve diğ, 2012). Alıcı devresi vericiye gereken gücü bildirmesi gerektiğinden, iletişim standardı geliştirilir. Alıcı ile verici arasındaki iletişim, yük modülasyonu ile gerçekleştirilir. İletişim, alıcıdaki küçük bir kapasitif yük (Ccm) değiştirilerek ayarlanır (Terzi ve diğ, 2020; Van Wageningen ve Stering, 2010). 2 kHz sinyali Qi standardında güç taşıyıcı frekansına modüle edilir (Terzi ve diğ, 2020; Widmer ve diğ, 2012). DSRC elektrikli araçlar için özel kısa menzilli iletişim olarak adlandırılır. Bu yöntem Wi-Fi temel almaktadır (Terzi ve diğ, 2020; Li ve Mi, 2014). Wi-Fi ve DSRC sistemleri kıyaslanmıştır. Sonuç olarak RFID ve DSRC iletişim sistemleri hassas ve güvenilirdir. Ancak, gecikme sorunları nedeniyle, bunlar da bir IPT sistem için kullanılması uygun değildir (Terzi ve diğ, 2020; Azad ve diğ, 2018).

3.2.2. Kablosuz şarjın güvenliği ve insan sağlığına etkileri

İnsanlar için kablosuz şarjda en önemli konulardan biriside güvenlidir. Tüm cihazlar güvenlik standartlarına uymak zorundadır. Elektromanyetik dalgaların insan sağlığına olan etkileri ile ilgili bazı uluslararası standartlar kullanılmaktadır. Bu standartlar aşağıda sıralanmıştır;

- Radyo Frekanslı Elektromanyetik Alanlara İnsanları Maruziyetine İlişkin Güvenlik Sınırları 3 kHz - 300 GHz" Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) (Pashael ve diğ, 2016)
- Zamanla Değişen Elektrik, Manyetik ve Elektromanyetik Alanlara Maruziyetin
- Sınırlanmasına İlişkin Kılavuz (300 GHz'e kadar) Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) (Pashael ve diğ, 2016)
- World Health Organization (WHO) Electromagnetic (Pashael ve diğ, 2016)

Bu standartlar arızaları önlemek ve insan sağlığını korumak için geliştirilmiştir. Elektrikli araçlar IPT sistemi tarafından şarj edildiğinde, elektromanyetik uyumluluk ve güç verimliliği nedeniyle düşük bir kilohertz aralığı (kabaca 10 kHz ila 100 kHz) kullanılmalıdır. Yakın alan maruz kalma senaryolarındaki uyarılmış elektromanyetik alanların güvenlik yönergelerine tamamen uygun olduğunu bulmuşlardır (Terzi ve diğ, 2020). Çok ciddi olmamakla birlikte bu sistemlere uzun süre maruz kalınması durumunda dokularda yanma, sinir sistemi bozuklukları, kas kasılmaları ve gözde bozukluklar gibi problemler ile karşılaşılabilir (Pashael ve diğ, 2016). Sıralanan bu üç standartla kullanıcıların kablosuz şarj konusundaki korkuları veya akıllarındaki soru işaretlerinin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

4. Sonuç

Fosil kaynakların her geçen gün azalması ve ülkelerin bu konuda kendi aralarında yaşadıkları problemler elektrikli araçları daha önemli kılmaktadır. Gerek fosil yakıt fiyatları gerekse kaynakların giderek azalması bu teknolojik araçların üzerine yapılan yatırımları artırmıştır. Aynı zamanda elektrikli araçlar içten yanmalı araçlara göre daha çevreci olması da geleceğin teknoloji olduğunun bir göstergesidir. Fakat günümüzde elektrikli araçların sayısı içten yanmalı araçlara göre hala çok azdır. Bu durumda şarj istasyonlarının ve elektrikli araç teknolojisinin henüz başında olmamızın etkisi çok büyüktür. Her geçen gün yeni teknolojiler gelişmekte ve araçlar değişmektedir. Araçlardaki bataryalar ve batarya teknolojilerinin gelişimi aynı şekilde şarj istasyonlarını etkilemektedir. Sadece kablolu şarj konusunda değil aynı zamanda kablosuz şarj teknolojilerinde de gelişmeler yaşanmaktadır. Gün geçtikçe daha hızlı ve güvenli şarj teknolojileri hayatımıza girmiştir. Kablosuz şarj teknolojisinin de gelişmesi ile daha pratik ve hızlı bir şarj imkânı gelecektir. Daha kısa sürede daha uzun menzil imkânı tanıyan istasyonlar geliştirilecektir. Şarj istasyonlarının yaygınlaşması, aynı benzin istasyonları gibi birçok noktada bulunması ile de araç satışları olumlu etkilenecektir. Birçok kullanıcı aracını nerede şarj edeceği konusundaki kaygılarından dolayı elektrikli araç almaktan çekinmektedir. Elektrikli araç teknolojisinin, batarya teknolojilerinin ve şarj

istasyonlarının gelişmesi ve çoğalması ile birlikte yollarda daha çok araç göreceğimizi söyleyebiliriz. Günümüzde petrol için verilen mücadele yakın zamanda elektrik ve elektrikli araç teknolojileri için verilecektir. Bu teknolojiyi günlük hayatına en hızlı şekilde adapte edebilen ülkeler gelecekte çok avantajlı bir konuma geçeceklerdir. Her ne kadar verimleri düşük ve göreceli olarak yatırım maliyetleri fazla olsa da sağladığı kullanım kolaylığı, zaman kazanımı, farklı model ve tiplerle kullanılabilirlik, kontak yapan parça azlığı sebebiyle yangın risk düşüklüğü gibi avantajları sebeplerle geleceğin elektrikli araçları için vazgeçilmez bir üstünlük getireceği kesindir.

Kaynakça

Apostolaki-Iosifidou, E., Kempton, W., Codani, P. (2018). Reply To Shirazi and Sachs Comments on "Measurement Of Power Loss During Electric Vehicle Charging And Discharging". *Energy*. 142: 1142–1143.

Aqueel, A., Alam, M. S., Chabaan, R. (2018). A Comprehensive Review of Wireless Charging Technologies for Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 4, no. 1, pp. 38-63.

Azad, A.N., Echols, A., Kulyukin, V.A., Zane, R., Pantic, Z. (2018). Analysis, Optimization, and Demonstration of a Vehicular *Detection System Intended for Dynamic Wireless Charging Applications*.

Babat, G.I. (1947). Electrodeless Discharges And Some Allied Problems. *Journal of The Institution of Electrical Engineers-Part III: Radio and Communication Engineering*. 94(27): 27-37.

Bayram, B. (2017). Elektrikli Araç Şarj Yöntem ve İstasyon Tipleri. *Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği (TEHAD)*.

Bayram, B. (2019). Türkiye'deki Şarj İstasyonu Sayısı Elektrikli Otomobili Yakaladı. *Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği (TEHAD)*.

Birleştirici, A., Şalcı, M.S., Dilkulak, A., Güler, F., Turhan, E. (2015). Elektrikli Araç Şarj İstasyonları

California ISO. (2014). Vehicle-Grid Integration (VGI) Roadmap: Enabling Vehicle-Based Grid Services.

California Public Utilities Commission. (2017). *Southern California Edison Company's Department of Defense Vehicle-to-Grid Final Report*.

CHAdEMO Association. (2011). Technical Specifications of Quick Charger for The Electric Vehicle.

Chen, C., Huang, X., Tan, L., Wen, F., Wang, W. (2015). Electromagnetic Environment and Security Evaluation for Wireless Charging of Electric Vehicles.

Cirimele, V., Diana, M., Freschi, F., Mitolo, M. (2018). Inductive Power Transfer for Automotive Applications: *State-of-The-Art and Future Trends*.

Csonka, B., Havas, M., Csiszár, C., Földes, D. (2020). Operational Methods for Charging of Electric Vehicles. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 48(4), pp. 369-376.

Elghitani, F., El-Saadany, E.F. (2020). Efficient Assignment of Electric Vehicles to Charging Stations. *IEEE Transactions on Smart Grid*.

Fernandez, L. M., Serra, F., Angelo, C. D., Montoya, O. (2020). Control of a Charging Station for Electric Vehicles. *Energies* 12(20):3971.

Gil, A., Sauras-Perez, P., Taiber, J. (2014). Communication Requirements for Dynamic Wireless Power Transfer for Battery Electric Vehicles.

Gnann, T., Funke, S., Jakobsson, N., Plötz, P., Sprei, F., Bennehag, A. (2018). Fast Charging Infrastructure for Electric Vehicles: *Today's Situation and Future Needs*.

He, Y., Bhavsar, P., Chowdhury, M., Li, Z. (2015). Optimizing The Performance of Vehicle-To-Grid (V2G) Enabled Battery Electric Vehicles Through a Smart Charge Scheduling Model. *International Journal of Automotive Technology*, 827–837.

Jang, Y.J. (2018). Survey of The Operation And System Study on Wireless Charging Electric Vehicle Systems.

Kaymaz H. (2018). Hibrit ve Elektrikli Metrobüs Araçları İçin Sürüş Çevrimi

Oluşturulması. *Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi FBE*

Kontrol ve Haberleşme Pinleri <https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772#Control_Pilot>, erişim tarihi 23.03.2020

Kubat, D. (2019). Elektrikli Araç Şarj Standartları ve Altyapısı. Elektrikport.

Kumar, V. V. S. P., Sharmila D. (2019). Wireless Charging of Electrical Vehicles. *International Journal of Innovative Technology And Exploring Engineering (IJITEE)*.

Lazzaro, V. (2010). The Interface Between The Electric Vehicle and Infrastructure.

Li, S., Mi, C.C. (2014). Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications.

Li, T., Zhang, J., Zhang, Y., Jiang, L., Li, B., Yan, D., Ma, C. (2018). An Optimal Design and Analysis of a Hybrid Power Charging Station for Electric Vehicles Considering Uncertainties. *IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*.

Liao, C., Yang, B. (2018). Phases-Controlled Coordinated Charging Method for Electric Vehicles. *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*.

Lindeman, T. (2018). Electric School Buses Can Be Backup Batteries for the US Power Grid.

Liu, Z., Wen, F., Ledwich, G. (2012). Optimal Planning of Electric-Vehicle Charging Stations in Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*.

Marinescu, A., Vintilia, A., Marinescu, D.G., Nicolae, V. (2016). Contactless Battery Charging for EV/HEV. *International Congress of Automotive and Transport Engineering*.

Mathoy, A. (2008). Definition And Implementation Of A Global EV Charging Infrastructure. BRUSA Elektronik.

Mouli, G. R. C., Kaptein, J., Bauer, P., Zeman, M. (2016). Implementation Of Dynamic Charging And V2G Using Chademo And CCS/Combo DC Charging Standard. 2016 *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*.

Mroczek, B., Kołodyńska, A. (2020). The V2G Process With The Predictive Model.

Mude, K. N. (2018). Battery Charging Method For Electric Vehicles: From Wired To on-Road Wireless Charging. *Chinese Journal of Electrical Engineering* 4(4):1-15.

Muratoğlu, Y. & Akkaya A. (2016). Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi-İnceleme.

Pashaei, A., Aydın, E., Polat, M., Yıldırım, E., Aydemir, M.T. (2016). Elektrikli Araçlar İçin Temassız Güç Aktarım Sistemi. *EMO Bilimsel Dergi*, Cilt 6 Sayı 11.

Paulraj, P. (2020). What Are V1G, V2G And V2H / V2B / V2X Smart Charging? | Integrating Electric Vehicles Into Power Grid.

Polat, C. & Kılınc, N. (2007). Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Teknolojisi Ürünleri Pazarı. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, Cilt: 4 Sayı: 2.

Polat, Ö., Yumak, K., Sezgin, M.S., Yumurtacı, G., Gül, Ö. (2015). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Türkiye'deki Durumu.

Rajendran, G., Vaithilingam, C., Naidu, K., Oruganti, K. (2020). Energy-Efficient Converters for Electric Vehicle Charging Stations. *SN Applied Sciences* 2(4).

SAE International. (2001). SAE J1772 - SAE Electric Vehicle Conductive Charger Coupler", Appendix A, Typical Pilot Line Circuitry.

SAE International. (2010). SAE Ground Vehicle Standards Status of work – PHEV +.

SAE International. (2012). SAE J1772 - Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler. Society of Automotive Engineers.

Seri Hibrid <<https://www.ototeknikveri.com/teknik-bilgi/97/seri-hibrid-elektrikli-araclar>>, erişim tarihi 03.03.2020

Shirazi, Y.A. & Sachs, D.L. (2018). Comments on "Measurement Of Power Loss During Electric Vehicle Charging And Discharging" – Notable Findings for V2G Economics.

Sivasankar, P., Raathy, G. A. (2020). A Study On Charging Infrastructure and The Topologies

of Fast Charging Techniques in Electric Vehicle. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*.

Subudhi, P. S., Krithiga, S. (2020). Wireless Power Transfer Topologies used for Static and Dynamic Charging of EV Battery: A Review. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 21(1).

Şarj Modları < <https://esarj.com/sarj-modlari> >, erişim tarihi 07.03.2020

TEPCO. (2010). General Outline of CHAdeMO Association.

Terzi, U.K., İlhan, H.E., Kaymaz H., Erdal H., Çalık H. (2020). A Review of Commercial Electric Vehicle Charging Methods., doi.org/10.7307/ptt.v32i2.3252

Tesla, N. (1905). The Transmission Of Electrical Energy Without Wires as a Means for Furthering Peace. *Electrical World Engineer*. 1: 21-24.

Uddin, K., Jackson, T., Widanalage, D., Chouchelamane, G., Jennings, P.A., Marco, J. (2017). On The Possibility Of Extending The Lifetime of Lithium-Ion Batteries Through Optimal V2G Facilitated by an Integrated Vehicle and Smart-Grid System.

Üstkoynucu, N. (2018). Hibrid ve Elektrikli Arabalar Ders Notu. Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri.

V2G <<https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid>>, erişim tarihi 28.03.2020

Van Wageningen, D. & Staring, T. (2010). The Qi wireless power standard.

Wang, S. & Dorrell, D. (2013). Review of wireless charging coupler or electric vehicles. *Industrial Electronics Society, IECON*.

Wassink, J. (2016). Hydrogen Car as Power Backup.

Widmer, H., Sieber, L., Cook, N.P. (2012). Antenna Alignment and Vehicle Guidance for Wireless Charging of Electric Vehicles.

Yağcıtekin, B., Uzunoglu, M., Karakaş, A. (2013). A New Deployment Method for Electric Vehicle Charging Infrastructure. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 24(3):1292-1305.

Yong, J.Y., Ramachandaramurthy, V.K., Tan, K.M., Mithulananthan, N. (2015). A Review on The State-of-The-Art Technologies Of Electric Vehicle, Its Impacts And Prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49: 365-385.