



ELEKTRİKLİ ARAÇ NASIL ŞARJ EDİLİR?

Elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki en önemli engellerden biri, tüketicilerin elektrikli araçlar hakkındaki risk algıları. Yapılan araştırmalar, tüketicilerin risk olarak gördüğü faktörlerin çoğunun aracın şarjıyla ilgili olduğunu gösteriyor.

Tüm dünyada yaşanan iklim değişikliği, artan karbondioksit salınımı ve dünya kaynaklarının hızla tükenmesi, ülkeleri sürdürülebilir kalkınma konusunda somut adımlar atmaya yönlendirdi. Paris İklim Anlaşması ile gelen sıfır emisyon hedefi, yollardaki elektrikli araçların yaygınlaştırılmasını da gerekli kılıyor. Elektrikli araç yayılımı dünya çapında hızlı bir artış gösteriyor. Türkiye'nin de üyesi

olduğu Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) araştırmasına göre 2020 yılı sonunda dünya yollarında 10 milyon elektrikli araç bulunuyordu. COVID-19 pandemisi sırasında araç satışlarındaki yüzde 16'lık düşüşe rağmen elektrikli araç kayıtları 2020 yılında yüzde 41 oranında artış gösterdi.

Elektrikli araç konusunda mevcut devlet desteği politikalarının sürmesi durumunda 2030 yılında yollardaki elektrikli araç sayısının

145 milyona (toplam araçların yüzde 7'si), devlet desteklerinin artması durumunda ise 230 milyona (araçların yüzde 12'si) ulaşacağı tahmin ediliyor. ⁽¹⁾ Aracın şarjının gidilecek yola yetmemesi endişesi olarak bilinen "menzil endişesi" (range anxiety) bu faktörlerden biri. Şarj ihtiyacı olduğunda halka açık elektrikli araç şarj istasyonu arama, istasyona seyahat etme, istasyonda sıra bekleme ve şarj süresi sırasında harcanacak vakit, tüketicilerin elektrikli araçlara geçiş aşamasında tereddüt yaşamalarına sebep oluyor. ⁽²⁾

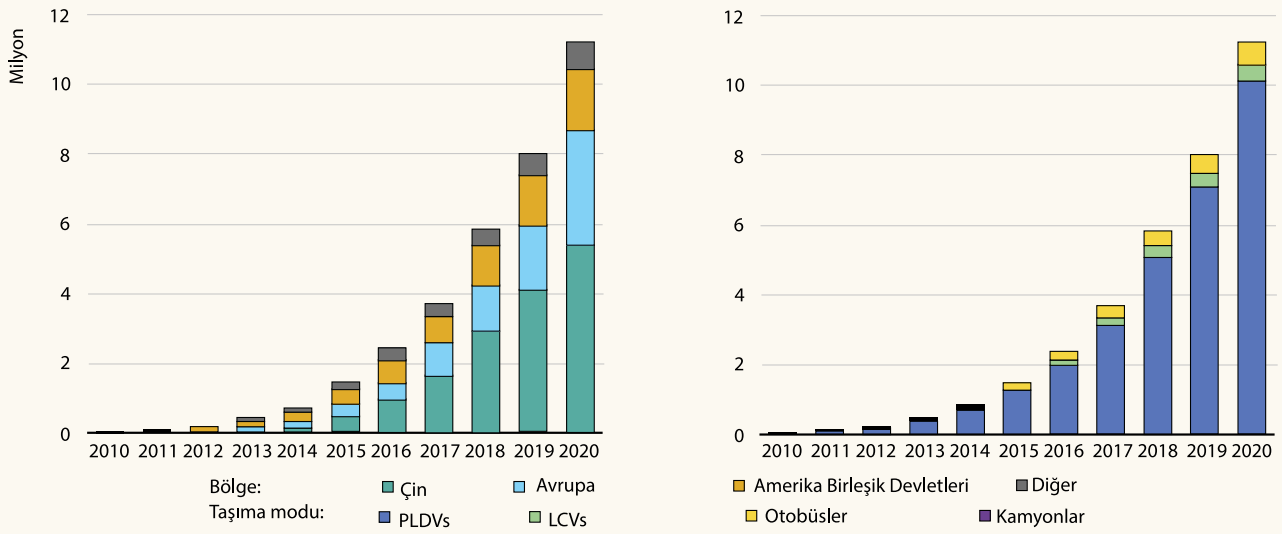
Elektrikli araç şarjı için kullanılan yöntemler

Elektrikli araç şarjı için üç temel yöntem bulunuyor: Batarya değişimi, kablosuz şarj ve kablolu şarj. Batarya değişimi, batarya dolumu sırasında bekleme ortadan kaldıran bir model. Bu modelle sürücüler, batarya değişim istasyonlarına uğrayarak araç üzerindeki boşalmış bataryalarını dolu bir batarya ile 3 dakika içinde değiştirebiliyorlar. Dünyanın elektrikli araç marketi li-

Doç. Dr. Nilgün FESCİOĞLU ÜNVER

TOBB ETÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü

Küresel elektrikli araç sayısı / Bölgesel (sol) ve araç tipi (sağ), 2010-2020



Şekil 1 <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>

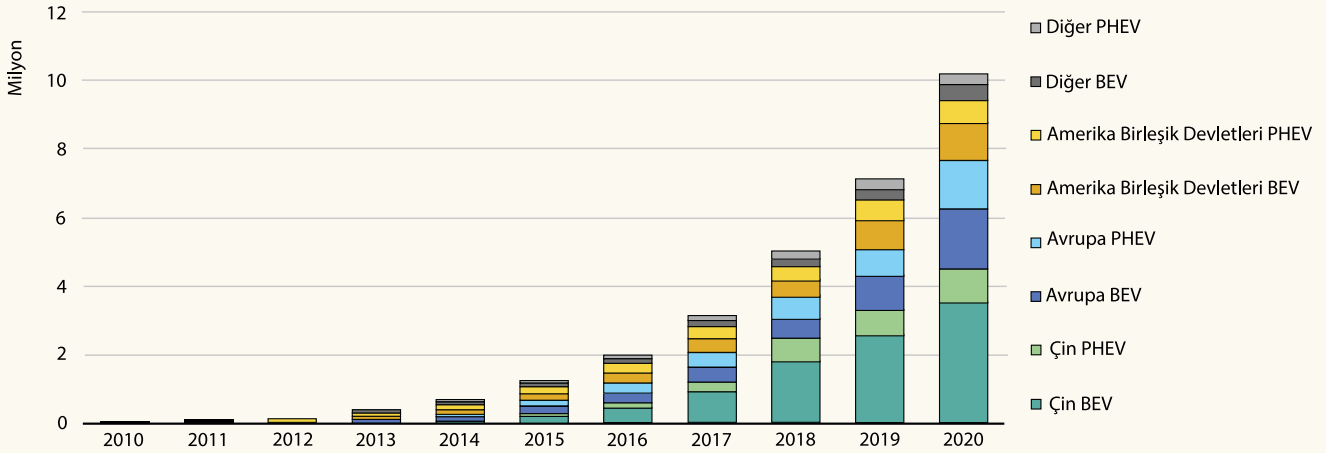
PLDV (passenger light-duty vehicle) : Hafif Yolcu Araçları - LCV (light commercial vehicles) : Hafif Ticari Araçlar

derlerinden Çin'de, bin 400 adet batarya değişim istasyonu bulunuyor. Hedefleri 2025 yılı sonuna kadar batarya değişim istasyonu sayısını 24 bine çıkartmak. Ancak Tesla, Volkswagen ve General Motors gibi üreticiler henüz batarya değişim teknolojilerine sıcak bakmıyor.⁽³⁾ Anket yoluyla yapılan bir tüketici araştırması, tüketicilerin, batarya değişim teknolojisinin menzil endişesi konusunda getireceği faydaya inandıklarını, ancak değişen bataryanın performansı, güvenliği ve finansal performans açılarından algıladıkları riskler bulunduğunu gösteriyor.⁽⁴⁾

Kablosuz şarj, araç ve elektrik kaynağı arasında direkt bir bağlantı olmadan aracın şarj yapılmasını sağlıyor. Kablosuz şarjda elektrik transferi, aracın altına yerleştirilmiş olan bir alıcı plaka ile üzerine park ettiği zemine yerleştirilmiş olan verici plaka arasında gerçekleşiyor. Kablosuz şarj teknolojilerini, kullandıkları elektrik transfer yöntemine veya araç-plaka arasındaki mesafeye göre (yakın alan, uzak alan) sınıflandırmak mümkün. Yakın mesafe teknolojileri (endüktif, kapasitif, manyetik rezonans) üzerinde çalışan araştırmacılar, araç-şarj plakaları arası me-

safeyi ve enerji transfer verimini artırıcı yöntemleri araştırmaya devam ediyorlar. Uzak mesafe (mikrodalga, radyo dalgası ve lazer) teknolojileri ise henüz prototip aşamasında. Kablosuz şarj teknolojilerinin gelecek için öngörülen en önemli avantajlarından biri de araç hareket halindeyken yol altına dizili şarj plakaları ile şarj edilebilme imkânı olarak bilinen dinamik şarj. Böylelikle şarj için istasyonda veya park yerinde bekleme gerekliliği ortadan kalkabilecek. Tabii dinamik şarjın mümkün olması büyük bir altyapı yatırımı da gerekiyor.⁽⁵⁻⁶⁾

Küresel elektrikli araç sayısı, 2010-2020



Şekil 2 <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>

PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicles) : Şarj Edilebilir Hibrit Araçlar - BEV (Battery Electric Vehicle) : Bataryalı Elektrikli Araçlar

Kablolu şarj ise günümüzde en yaygın kullanılan şarj yöntemi. Kablolu şarj teknolojileri, aktarılan güç seviyesine göre üçe ayrılıyor: Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3 şeklinde. Seviye 1 şarj, genellikle ev tipi/ yavaş şarj olarak adlandırılıyor ve aracın direkt olarak elektrik prizine bağlanmasıyla yapılabilir. Bu tip şarjda güç aktarım hızı yavaş olduğu için aracın 100 kilometrelik yolculuk için gerekli batarya dolum süresi de ortalama 6-8 saati buluyor. Seviye 1 şarj için uygun bölgeler, uzun süreli park yapılabilen- gece boyunca ev garajı, gündüz saatlerinde iş yeri otoparkı gibi yerler. Seviye 2 şarj, özel bir şarj ünitesi aracılığıyla yapılabilir. Bu tür şarjla 100 kilometre için dolum süresi de kullanılan güç modeline göre (tek fazlı-3 fazlı) ortalama 4-6 saati buluyor. Genellikle otopark, AVM, havaalanı, otel gibi uzun süreli park yapılabilen yerlerde seviye 2 şarj tercih ediliyor. Seviye 2 şarj üniteleri istenildiğinde evlerin garajına da monte edilebilir.

Seviye 3 şarj, yani hızlı şarj ise direkt akım kullanılarak özel şarj üniteleriyle, şarj istasyonu veya AVM gibi halka açık yerlerde yapılabilir. Seviye 3 şarjla 100 kilometre yol için dolum süresi, kullanılan şarj ünitesine göre 10-30 dakika arası değişiyor. Hızlı şarj istasyonları genellikle uzun otoyol koridorları üzerindeki şarj ihtiyacını karşılamakta kullanılıyor. Günümüzde ABD ve Avrupa'da

yapılan şarjın çoğunluğu, evlerde (yüzde 80 oranla) ve iş yerlerinde (yüzde 15 oranla) gerçekleşiyor. Ancak elektrikli araçların şehir içi yerleşim merkezlerinde oturanlar arasında yaygınlaşmasıyla birlikte halka açık şarj noktalarına ve hızlı şarj istasyonlarına olan talebin artacağı da biliniyor.⁽⁷⁾

Elektrikli araç şarj altyapı araştırmaları hangi yönde ilerliyor?

Şarj süresi, hızlı şarj istasyonlarında 10 ila 30 dakika arasına düşmesine rağmen bu süre benzin alım süresiyle kıyaslandığında halen çok uzun. Elektrikli araç sayısının artmasıyla beraber elektrik güç ağı yükünün, şarj noktalarındaki yoğunluğun ve kuyrukta bekleme sürelerinin artması da araştırmacıların çözüm bulmaya çalıştıkları problemler. Şarj planlama konusundaki akademik araştırmaları altyapı planlama, araç rotalama, enerji fiyatlandırma, şarj kontrol/çizelgeleme ve hızlı şarj istasyonu öncelikli servis modelleri altında inceleyebiliriz. Altyapı planlama araştırmaları, şarj istasyonlarının konumlarını ve büyüklüklerini (bekleme alanı büyüklüğü ve şarj ünitesi sayısı) belirliyor. Çalışmalar genellikle altyapı maliyeti veya kullanıcı maliyeti azaltımı odaklı. Kullanıcı maliyet unsurları arasında istasyonda bekleme süreleri, kullanıcının istasyona uğramak için çıkış-hedef nokta arası mesafeden sapma miktarı gibi kalemler bulunuyor.

İstasyon kapasitesi belirlenirken bölgenin elektrik ağının güç ve yük dengesi de göz önüne alınıyor. Altyapı planlama araştırmaları, istasyon sayısının talebi karşılayacak şekilde minimize edildiği düğüm tabanlı modeller; trafik akışını dikkate alan, özellikle hızlı şarj istasyonları için kullanılan akış tabanlı modeller ve sürücü davranışını/aktivitelerini baz alan tur tabanlı modeller sınıflarında kategorize ediliyor.⁽⁸⁾ Elektrikli araç rotalama çalışmaları, normal araç rotalama çalışmalarından farklı olarak uğranılacak şarj istasyonlarının yerini, istasyonda bekleme ve şarj için harcanacak süreyi de göz önüne alıyor. Yol durumu (yokuş, rüzgar vs.) ve araç durumu (tip, yük vs.) ile ilişkili olarak harcanacak ekstra enerjinin de hesaba katıldığı çok sayıda çalışma bulunuyor.

Araçların bireysel ya da merkezi bir sistem aracılığıyla, istasyonlardaki gerçek zamanlı bekleme süresi bilgisi ya da tahmini bekleme sürelerini kullanarak, çıkış ve hedef noktaları arasındaki rotayı belirlemeleri mümkün.⁽⁹⁾ Birden fazla aracın müşterilere servis için kullanıldığı çoklu araç/filo rotalama problemlerinde de planlar, kullanılan araç sayısını azaltma, toplam mesafe, süre, uğranılan şarj istasyonu sayısı, toplam şarj süresi, toplam enerji kullanımını azaltma gibi birçok amacı hedefleyebiliyor.⁽¹⁰⁾ Fiyatlandırma modelleri, farklı zamanda farklı fiyatlardan enerji satışı yaparak hem ağ yü-

künü dengelemeyi hem de istasyonlardaki bekleme sürelerini azaltmayı sağlıyor.⁽¹¹⁾ Şarj kontrol/çizelgeleme araştırmalarında amaç, uzun süreli park halindeki araçların şarjında aracın parktan ayrılış vakti gelmeden önce batarya dolumunu yapabilmek ve bu sırada ağın enerji dengesini gözetmek ve saatlik değişen elektrik fiyatlarını ve batarya dejenerasyonunu hesaba katarak toplam maliyeti azaltmak.⁽¹²⁾ Araçların ağı elektrik satabildiği V2G (Vehicle to Grid) teknolojinin de mevcut olduğu durumlarda ağı üzerindeki yükün dengelenmesi ve değişen saatlik fiyatlar üzerinden araçların şarj maliyetinin azalımı için şarj-deşarj zamanlarının planlaması ayrı bir önem taşıyor.⁽¹³⁾

Öncelikli servis, araçların bir bölümünü sırada öne alarak düşük bekleme süreleriyle hizmet almalarını sağlıyor. Hızlı şarj istasyonlarında öncelikli servis çalışmalarından bir bölümü V2G ortamında bölgenin yük dengesini sağlamayı amaçlıyor. Hızlı şarj istasyonunda öncelikli servis alanında TOBB ETÜ'de yapılan çalışmalar ise araçları düşük ve yüksek öncelik olarak iki sınıfa ayırıp, farklı sınıflardaki araçların ortalama bekleme sürelerini düzenleyecek şekilde kaynak yönetimi yapıyor. Böylelikle sürücülerin bekleme has-

sasiyetlerinin yüksek olduğu zamanlarda hızlı servis almaları, düşük olduğu zamanlarda ise daha uygun fiyatlı şarj olmaları hedefleniyor.⁽¹⁴⁻¹⁵⁾

Türkiye'nin şarj altyapısı, güncel teknolojik yöntemlerle tamamlanmalı

Türkiye'nin Paris İklim Anlaşması çerçevesinde karbon emisyonlarının 2030 yılına kadar yüzde 21 oranında azaltılması öngörü-lüyor.⁽¹⁶⁾ Türkiye'nin Otomobil Girişim Grubu (TOGG) da ilk elektrikli aracını, 2023'te satışa sunmuş olacak. Ülkemizde şehirleşmeyle beraber bağımsız evlerin az olması sebebiyle evde şarj imkânı son derece kısıtlı. Hızlı şarj istasyonu açısından bakarsak, Avrupa'da hızlı şarj istasyonu sayısı her 100 kilometrede 20 adet iken, Türkiye'de bu sayı her 100 kilometrede 1 adet ile sınırlı.⁽¹⁷⁾ Türkiye'nin şarj altyapısının hedeflenen elektrikli araç yoğunluğunu kaldıracak şekilde gelişmesi için az bir süresi var. Bu süreyi en iyi şekilde değerlendirip, hazırlıkların güncel teknolojiyi kullanan yöntemlerle tamamlamasında en önemli rol de şüphesiz, şarj altyapısını tasarlayıp uygulayacak olan akademisyenlere ve mühendislere düşüyor.

- [1] <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- [2] Featherman, Mauricio, Shizhen Jasper Jia, Christopher B. Califf, and Nick Hajli. "The impact of new technologies on consumers beliefs: Reducing the perceived risks of electric vehicle adoption." *Technological Forecasting and Social Change* 169 (2021): 120847.
- [3] <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/inside-chinas-electric-drive-swappable-car-batteries-2022-03-24/>
- [4] Adu-Gyamfi, Gibbson, Huaming Song, Bright Obuobi, Emmanuel Nketiah, Hong Wang, and Dan Cudjoe. "Who will adopt? Investigating the adoption intention for battery swap technology for electric vehicles." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 156 (2022): 111979.
- [5] Ahmad, Aqueel, Mohammad Saad Alam, and Rakan Chabaan. "A comprehensive review of wireless charging technologies for electric vehicles." *IEEE transactions on transportation electrification* 4, no. 1 (2017): 38-63.
- [6] Mohammed, Sadeq Ali Qasem, and Jin-Woo Jung. "A comprehensive state-of-the-art review of wired/wireless charging technologies for battery electric vehicles: Classification/common topologies/future research issues." *IEEE Access* 9 (2021): 19572-19585.
- [7] LaMonaca, Sarah, and Lisa Ryan. "The state of play in electric vehicle charging services—A review of infrastructure provision, players, and policies." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 154 (2022): 111733.
- [8] Metais, Marc-Olivier, O. Jouini, Yannick Perez, Jaâfar Ber-rada, and Emilia Suomalainen. "Too much or not enough? Planning electric vehicle charging infrastructure: A review of modeling options." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 153 (2022): 111719.
- [9] Schoenberg, Sven, and Falko Dressler. "Reducing Waiting Times at Charging Stations with Adaptive Electric Vehicle Route Planning." *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles* (2022).
- [10] Kucukoglu, Ilker, Reginald Dewil, and Dirk Cattrysse. "The electric vehicle routing problem and its variations: A literature review." *Computers & Industrial Engineering* 161 (2021): 107650.
- [11] Tang, Qiang, Kezhi Wang, Kun Yang, and Yuan-sheng Luo. "Congestion-balanced and welfare-maximized charging strategies for electric vehicles." *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 31, no. 12 (2020): 2882-2895.
- [12] Nimalsiri, Nanduni I., Chathurika P. Mediwaththe, Elizabeth L. Ratnam, Marnie Shaw, David B. Smith, and Saman K. Halgamuge. "A survey of algorithms for distributed charging control of electric vehicles in smart grid." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 21, no. 11 (2019): 4497-4515.
- [13] Solanke, Tirupati Uttamrao, Vigna K. Ramachandaramurthy, Jia Ying Yong, Jagadeesh Pasupuleti, Padmanathan Kasinathan, and Arul Rajagopalan. "A review of strategic charging-discharging control of grid-connected electric vehicles." *Journal of Energy Storage* 28 (2020): 101193.
- [14] Kakillioglu, Emre Anil, Melike Yıldız Aktaş, and Nilgun Fescioglu-Unver. "Self-controlling resource management model for electric vehicle fast charging stations with priority service." *Energy* 239 (2022): 122276.
- [15] Fescioglu-Unver, Nilgun, Melike Yıldız Aktaş, and Coşku Kasnakoglu. "Feedback controlled resource management model for express service in electric vehicle charging stations." *Journal of Cleaner Production* 311 (2021): 127629.
- [16] <https://iklim.cs.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>
- [17] Gönül, Ömer, A. Can Duman, and Önder Güler. "Electric vehicles and charging infrastructure in Turkey: An overview." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 143 (2021): 110913.

