# ELEKTRİKLİ ARAÇLAR, ŞARJ SİSTEMLERİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK[[1]](#footnote-1)

İpek Özenir[[2]](#footnote-2)

Gülsün Nakıboğlu[[3]](#footnote-3)

Günümüzde etkisi daha çok hissedilen küresel iklim krizi, yaşanan ve yaşanması muhtemel afetler, artan üretim ve tüketim miktarları sürdürülebilirlik konusunda endişelere sebep olmakta ve sürdürülebilirlik kavramını gündemde tutmaktadır. Teknolojideki değişim ve gelişmeler de, gündemdeki diğer konulardan biridir. Dönüşümün büyük bir bölümü süreçleri optimize etmeye, bireylerin yaşam kalitesini arttırmaya çalışırken diğer taraftan da sürdürülebilirliğe odaklanmaktadır. Kaynakların ve faaliyetlerin sürdürülebilirliğini sağlamakla ilişkili teknolojik dönüşümlerden biri, içten yanmalı motorlu araçların yerini alacağı düşünülen elektrikli araçlardır. Şu an için çoğunlukla bireysel kullanımda tercih edilen ancak yakın zamanda lojistik faaliyetlerde adını daha çok duyacağımız elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha çevreci olarak tanımlanan araçlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrikli araçlar alanında yaşanan teknolojik gelişmelerden biri, elektrikli araçların şarj sistemleridir. Kullanıcı kolaylığı, şarj süresini azaltma, elektriğin miktar olarak yeterliliği ve ülkelerdeki elektrik sisteminin elverişliliği gibi birçok değişkene bağlı olarak gelişen bu sistemler elektrikli araçların sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından önemlidir. Bu sebeple çalışmada elektrikli araçların ve şarj sistemlerinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi ele alınmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde literatürde genellikle elektrikli araçların sürdürülebilirlik kavramı açısından değerlendirmesinin ele alındığı görülmektedir, şarj sistemlerinin değerlendirilmesine ilişkin çalışma sayısı oldukça azdır. Türkçe literatürde de konu üzerine yapılan çalışma sayısı oldukça azdır. Çalışmanın bu açılardan literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Literatür taraması olarak gerçekleştirilen bu çalışmada elektrikli araçlar ve türleri, şarj sistemleri ve türleri hakkında bilgi verilmiş, devamında elektrikli araçlar ve şarj sistemleri sürdürülebilirliğin boyutları açısından değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Elektrikli araçlar, şarj sistemleri, sürdürülebilirlik, yeşil lojistik, sürdürülebilir lojistik faaliyetler.

**ELECTRIC VEHICLES, CHARGING SYSTEMS AND SUSTAINABILITY**

The global climate crisis, the effects of which are felt more and more today, the natural disasters that have occurred and are likely to occur in the future, and the increasing amounts of production and consumption lead to concerns about sustainability, and they keep the concept of sustainability constantly on our agenda. Technological developments and the changes and transformations they cause in our lives are hot topics that are frequently visited. While a large part of this transformation is related to optimizing processes and increasing people’s quality of life, the impact of transformation on sustainability is also given importance. One such technological transformation related to ensuring the sustainability of resources and activities is electric vehicles, which are believed to be replacing internal combustion engine vehicles. Mostly preferred in individual use at the moment but will soon be used more in logistics activities as well, electric vehicles are described as more environmentally friendly than internal combustion engine vehicles. Another technological development that is taking place in parallel with the development of electric vehicles is the charging systems for those electric vehicles. These systems, the development of which depends on numerous variables such as ease of use, reduction of charging time, making sure that the amount of electricity is sufficient, and the feasibility of countries’ electricity systems are important in terms of ensuring the sustainability of electric vehicles. Therefore, this study focuses on evaluating the sustainability of both electric vehicles and charging systems. When the existing studies are examined, it is seen that the literature mostly focuses on evaluating the sustainability of electric vehicles only, and there are only a handful of studies on charging systems. Furthermore, the studies conducted on this subject in the Turkish literature is also quite limited in number. For this reason, it is believed that this conceptual literature review will be of benefit to researchers and contribute to the literature. Prepared as a literature review study, this paper first provides information on electric vehicles and their different types, charging systems and their different types; then, moves on to evaluating electric vehicles and charging systems in terms of sustainability dimensions.

**Keywords:** Electric vehicles, charging systems, sustainability, green logistics, sustainable logistics activities

# GİRİŞ

İnsanlığın gelişimi, beraberinde birçok sorunu da getirmiştir. Günümüz dünyası için bu sorunlardan en önemlileri çevre ile ilgili sorunlardır. Bu soruna endüstriyel açıdan bakıldığında, çevreye en çok zarar veren sektörlerden biri, lojistik sektörüdür. Lojistik sektöründe kullanılan araçların emisyonları ve enerji tüketimi, günlük seyahatlerde kullanılan binek araçlardan çok daha fazladır (Shao, Guan ve Bi, 2017). Lojistik sektörünün Avrupa Birliği’nde CO2 emisyonunun %30’unun, kentsel alanlarda %40’ının (Afroditi, Boilea, Theofanisb, Sdoukopoulos ve Margaritis, 2014:453), Amerika’da sera gazlarının %28’nin (Juan, Mendez, Faulin, Armas ve Grasman, 2016), dünyadaki sera gazlarının yaklaşık %15’inin (OECD, 2010) sebebi olduğu bilinmektedir.

Küreselleşme ve bireylerin satın alma güçlerinin artması, eşya hareketinin ulusal sınırları aşarak uluslararası boyutlara ulaşması, taşıma faaliyetlerinin ve taşımacılıkta kullanılan araç sayısının artmasına yol açmıştır. Araç sayısıyla doğru orantılı olarak artan emisyon gazları hava kirliliğine ve beraberinde toplum sağlığı üzerinde ciddi etkilere sebep olmuştur. Uzun yıllar boyunca benzin kullanımının çevreye en çok zarar veren yakıt türü olduğu belirtilmiş, dizel yakıtların kullanımı teşvik edilmiştir. Ancak son yıllarda dizel yakıtların çevreye verdiği zararın daha büyük boyutlarda olduğu ortaya çıkmıştır.

Çevre sorunlarının yanı sıra günümüzde petrol kaynaklarının azaldığı, yakıt fiyatlarının ve enerji konusunda dışa bağlılığın ciddi oranlarda arttığı aşikârdır ve bu durumun yansıması olarak taşımacılıkta navlun fiyatlarının arttığı da görülmektedir. Önümüzdeki 50 yıl içinde, dünya nüfusunun 6 milyardan 10 milyara ve dünyadaki araç sayısının 700 milyondan 2,5 milyara çıkması beklenmektedir (Chan, 2002). Nüfusun ihtiyacını karşılamak için kullanılacak araçların tamamının içten yanmalı motorlu araçlar olması durumunda bu araçların petrol gereksiniminin nasıl karşılanacağı, araç emisyonlarının dünyaya vereceği zararların nasıl ortadan kaldırılacağı soruları karşımıza çıkmaktadır (Chan, 2002). Bu durum ulaştırma sektörünün evrimini tetiklemekte, sürdürülebilirliğin sağlanması adına işletmeleri alternatif çözümler bulmaya itmektedir. Alternatif çözüm yöntemlerinden biri de elektrikli araçlardır.

Son yıllarda teknolojinin çevre yararına kullanılmasının en güzel örneklerinden biri olan çevre dostu, tam elektrikli versiyonları “sıfır emisyonlu” olarak tanımlanan, fosil yakıtlı araçlara nazaran daha sessiz çalışan elektrikli araçlar (EA), oldukça popüler araştırma konularından biri haline gelmiştir. Tamamen elektrikli versiyonunun motorun çalışması için gerekli olan enerjiyi fosil yakıtlar yerine elektrik enerjisinden karşılayan bu araçların kullanım oranları gün geçtikçe artmaktadır. EA’ın günlük hayatta artışının sağlanması amacıyla gelişen bir diğer alan EA’ın şarj sistemleridir. En az EA kadar kompleks olan şarj sistemleri de EA’ın sürdürülebilirliğinin sağlanması adına oldukça önemlidir. Bu sebeple bu çalışmada EA’ın ve şarj sistemlerinin sürdürülebilirlik kavramı açısından değerlendirilmesi ele alınmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde literatürde genellikle EA’ın sürdürülebilirlik kavramı açısından değerlendirmesi ele alınmıştır. Şarj sistemlerinin değerlendirilmesine ilişkin çalışma sayısı oldukça azdır. Ayrıca Türkçe literatürde de konu üzerine yapılan çalışma sayısı sınırlıdır. Çalışmanın bu açılardan literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışma literatür taraması olarak gerçekleştirilmiştir. İzleyen bölümlerde öncelikle EA ve türleri, şarj sistemleri ve türleri hakkında bilgi verilmiş, devamında EA ve şarj sistemleri sürdürülebilirliğin boyutları açısından değerlendirilmiştir.

# ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE TÜRLERİ

EA ile ilgili birçok sınıflandırma mevcuttur. Aşağıda adı en çok duyulan EA türleri açıklanmıştır.

1.

## Bataryalı Elektrikli Araçlar

Tamamen elektrik gücüyle çalışan araçlara bataryalı EA adı verilmektedir (Tie ve Tan, 2013; Barazesh, Saebi ve Javidi, 2015). Bataryalı (sadece/tamamen) EA’da, aracın hareket edebilmesi için gerekli olan güç elektrik motorlarından sağlanmaktadır (TÜBİTAK, 2003). İtme kuvvetinin arttırılabilmesi için daha fazla sayıda elektrik motoru kullanılabilmekte, elektrik motorunun gücü ise motora depolanan elektrik enerjisinden elde edilmektedir (TÜBİTAK, 2003). Elektrik enerjisi bataryalar/piller sayesinde depolanabildiğinden tamamen elektrikli olan araçlarda aracın çalışması sırasında herhangi bir fosil yakıt kullanılmamakta, bu sebeple egzoz emisyonu meydana gelmemekte, bu araçlar da çevre dostu veya sıfır emisyonlu araçlar olarak tanımlanmaktadır (TÜBİTAK, 2003).

EA’da menzil, bataryada mevcut olan enerji miktarı kadardır. Bu yüzden bataryadaki enerji bittiğinde aracın kullanılmaya devam edilebilmesi için şarj edilmesi gerekmektedir Batarya normal olarak bir elektrik prizinden ya da şarj noktasına takılabilen veya araca takılmış vaziyette bulunan bir batarya şarj ünitesi aracılığıyla elektrik şebekesinden şarj edilebilmektedir (Larminie ve Lowry, 2012).

Bataryalı EA’ın pazarda yayılımının artmasını engelleyen durumlar söz konusudur. Bu engeller araçların satın alma maliyetlerinin yüksek olması, menzilinin düşük olması, EA için yeterli sayıda şarj istasyonunun bulunmaması, şarj süresinin içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha uzun sürmesi (Liu ve Wang, 2017), araçların bataryalarının büyük boyutlarda olması (Barazesh vd., 2015) olarak belirtilmektedir.

* 1. **Hibrit Elektrikli Araçlar**

Hibrit EA, içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha çevreci olan araç tipidir. Hibrit EA, içten yanmalı motor, tahrik için elektrik motoru ve elektrik enerjisi depolamak için akü kullanan araç türüdür (Pelletier, Jabali, Laporte ve Veneroni, 2017). Hibrit elektrikli aracın iki veya daha fazla güç kaynağı vardır ve çok sayıda farklı tipleri bulunmaktadır (Larminie ve Lowry, 2012).

Hibrit EA, frenleme sırasında kinetik enerjinin geri kazanılması ve motor hareketlerinin optimizasyonu sayesinde klasik içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha çok yakıt tasarrufu sağlamaktadırlar (Chan, 2007). Bu araç türünün ikinci güç kaynağı olarak yakıt bulunması, bataryalı EA’a kıyasla daha uzun menzili olmasını sağlamaktadır (Yilmaz ve Krein, 2013). Hibrit EA 30-60 km’ye kadar bir menzil aralığında sadece elektrikli modda çalıştırılabilmektedir (Chan, 2007).

* 1. **Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar**

Hibrit EA’ın geliştirilmiş bir versiyonu olarak karşımıza çıkan plug-in hibrit EA, daha küçük içten yanmalı motorlu ve şarj edilebilen daha güçlü elektrikli akülere sahip olan, hibrit EA’a kıyasla daha az yakıt tüketen, daha düşük emisyon oranına sahip olan araçlardır (Amjad, Neelakrishnan ve Rudramoorthy, 2010; Egbue ve Long, 2012; Pelletier vd., 2017). Bu araçlar kullanılmadığı zaman, genellikle akşamları, prize takılarak şarj edilebilmektedirler (Sovacool ve Hirsh, 2009; Tie ve Tan, 2013).

Plug-in hibrit araçlar petrol tüketimi içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla önemli derecede azaltmaktadır. Buna ek olarak, hava kirliliği ve sera gazı salınımının azalması, evde şarj imkânı tanıması, daha az bakım gerektirmesi, yeşil araç görünümü sağlaması gibi avantajlar da sunmaktadırlar (Markel ve Simpson, 2007).

* 1. **Yakıt Hücreli Araçlar**

Yakıt kullanan EA’ın temel prensibi, EA ile aynıdır. Farklılık olarak şarj edilebilir elektrikli batarya yerine yakıt hücresi veya metal hava bataryası mevcuttur (Larminie ve Lowry, 2012). Bu araçlarda bulunan yakıt hücreleri hidrojen ve oksijendeki kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedirler (Delucchi ve Lipman, 2010).

Yakıt hücreli araçların en büyük avantajları, yakıt hücrelerinin bataryalara kıyasla daha hafif ve daha küçük olmaları ve yakıt sağlandığı sürece elektrik enerjisi üretebilmeleridir (Pollet, Staffell ve Shang, 2012). Aynı zamanda bu araçların verimliliği yüksektir, sessiz çalışırlar ve uzun ömürlülerdir (Delucchi ve Lipman, 2010). Yakıt hücreli araçlar elektrik üretimi için yakıt olarak hidrojeni kullanırlar, dolayısıyla temel olarak emisyonsuzdurlar (Chan, 2007). Ancak hidrojen üretimi, depolaması ve teknik sıkıntılardan dolayı bu araçlar yaygın olarak kullanılamamaktadır (Chan, 2007). Maliyetlerinin yüksek olması, alt yapı ve teknik zorluklar da bu araçların pazarda daha fazla yer edinmesinin önüne geçmektedir (Amjad vd., 2010).

Yakıt hücreli araçların yaygınlaşabilmesi için hidrojen fiyatlarının düşürülmesi, hidrojen depolama teknolojisinin geliştirilmesi, yakıt hücresi maliyetlerinin azaltılması ve yakıt hücrelerinin dayanıklığının arttırılması gerekmektedir (Pollet vd., 2012).

# ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ SİSTEMLERİ

İşletmeler düşük maliyetler, emisyon oranını azaltma, toplumsal imajlarını geliştirme gibi sebeplerle araç filolarını elektrikle çalışan filolar haline getirmekte, ancak araçlarının yolculuklarında şarj edebilme problemi ile karşı karşıya kalmaktadırlar (Worley, Klabjan ve Sweda, 2012).

EA’ın fosil yakıtlı araçlara kıyasla daha düşük kullanım oranlarına sahip olmalarının ve daha yavaş yaygınlaşmalarının sebeplerinden biri bataryalarının sınırlı kapasiteye sahip olması, ortaya çıkan şarj ihtiyacı ve uzun şarj süreleridir (Zuo, Xiao, Zhu ve You, 2018). EA’ın içten yanmalı motorlu yakıtlı araçlarla rekabet edebilmeleri için bu araçlar kadar hızlı şarj edilmelerinin sağlanması gereklidir (Kaptan ve Cansever, 2018). EA için oluşturulacak şarj altyapısı, mevcut yakıtlı araç altyapısının rahatlığını ve birlikte çalışabilirliğini taklit etmelidir, mümkün olan en düşük maliyetle en fazla sayıda potansiyel kullanıcı için şarj altyapısı oluşturması gerekmektedir (Boulanger, Chu, Maxx ve Waltz, 2011). Ancak bu şekilde EA’ın sürdürülebilirliği sağlanabilecektir.

EA’ın şarj edilmesini sağlamak için şarj cihazları kullanılmaktadır. EA şarj cihazı, bataryanın enerjisini yenilemek için alternatif akım enerjisini düzenlenmiş doğru akıma dönüştüren ve ayrıca aracın diğer elektrik sistemlerinin çalıştırılması için gerekli enerjiyi sağlayabilen bir elektrikli cihazdır (Dericioğlu, Yirik, Unal, Cuma, Onur ve Tumay, 2018). EA kondüktif şarj, endüktif şarj ve batarya değiştirme şeklinde üç farklı yolla şarj edilebilmektedir (Çatay ve Keskin, 2017; Sutopo, Nizam, Rahmawatie ve Fahma, 2018; Dericioğlu vd., 2018). EA’ın şarj sistemleri izleyen başlıklarda detaylı olarak ele alınmıştır.

* 1. **Kondüktif Şarj Sistemi**

Mevcut teknolojiler içinde şarj istasyonlarında en yaygın kullanılan şarj teknolojisi (Liu ve Wang, 2017), daha ucuz ve daha verimli olması sebebiyle kondüktif şarj sistemidir (Dericioğlu vd., 2018). Kondüktif şarj sistemi, aracı 110 V veya 220 V’luk şarj etme yöntemidir. Sistemde yerel elektrik şebekesinden veya başka bir kaynaktan gelen AC elektrik, batarya takımı için gereken akıma (DC) dönüştürülerek, metal-metale temas yoluyla (kablo) bataryalar şarj edilmektedir (Kaptan ve Cansever, 2018). Şarj cihazları, çoğu elektronik cihazda olduğu gibi metal-metal temasını kullanır (fiziksel temas vardır) ve sistemin en büyük dezavantajı şarj işleminin yapılabilmesi için kabloya ihtiyaç duyulması ve kablonun prize takılması gerekliliğidir (Yilmaz ve Krein, 2013).

Aracın şarj süresi bataryanın türüne ve boyutuna, şarj cihazının tipine (Kaptan ve Cansever, 2018) ve şarj cihazı güç seviyesine göre değişmektedir (Keskin Özel, 2018). Şarj cihazı güç seviyesi, şarj çıkışının güç seviyesini tanımlamaktadır (Kaptan ve Cansever, 2018). Güç seviyeleri yavaş, orta, hızlı (Froger, Mendoza, Jabali ve Laporte, 2019) veya AC Level 1 Şarj, AC Level 2 Şarj, Level 3 DC Hızlı Şarj şeklinde tanımlanmaktadır (Yilmaz ve Krein, 2013; Alternative Fuels Data Center, 2019). Şarj cihazı güç seviyeleri gücü, şarj süresini ve şarj yerini, maliyeti, ekipmanı ve elektrik şebekesi üzerindeki etkilerini göstermektedir (Yilmaz ve Krein, 2013). Üç şarj seviyesine ilişkin bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

* **LEVEL 1 (Yavaş):** Bu şarj tipi, elektrikli aracın normal bir prize takılarak şarj edilmesine imkân tanıyan şarj tipidir ve EA’ın kullanımını kolaylaştırmaktadır (O’Connell, 1995). Bireyler gece evlerinde uyurken aracı şarja takarak sabaha kadar bataryanın dolmasını sağlayabilmektedirler (Yilmaz ve Krein, 2013). Bu sebeple ev şarjı olarak da bilinmektedir (Kaptan ve Cansever, 2018). Yavaş şarj olarak da adlandırılmaktadırlar (Yilmaz ve Krein, 2013). AC gücünü, elektrik kaynağından uygun bir kablo seti kullanarak en yaygın topraklanmış elektrik prizinden dâhili (on-board, aracın kendisine monte edilmiş) bir şarj cihazına aktaran şarj yöntemidir (Dericioğlu vd., 2018). Level 1 şarj aracın kısmi şarj edileceği ya da şarj işlemi için uzun zamanın olduğu durumlarda kullanıldığı takdirde verimli olacak olan şarj tipidir çünkü bataryanın tamamen dolması uzun zaman almaktadır (O’Connell, 1995). Uzun zaman almakla birlikte elektrik şebekesine çok fazla yüklenilmemektedir (Yağcıtekin, Uzunoğlu ve Karakaş, 2011).
* **LEVEL 2 (Normal):** Hem özel hem de kamu tesisleri için ana yöntem olarak tanımlanan bu şarj seviyesi (Yilmaz ve Krein, 2013), özel AC kullanan bir yöntemdir ve kullanılabilmesi için araç, EA besleme ekipmanından alternatif akım enerji alabilen dâhili bir şarj cihazı ile donatılmış olmalıdır (Dericioğlu vd., 2018). Aracın şarj işlemi orta hızda yapılmaktadır. Daha hızlı şarj etmesi ve standart hale getirilmiş araç-şarj bağlantısı sayesinde araç kullanıcıları Level 2 teknolojisini tercih etmektedirler (Yilmaz ve Krein, 2013).
* **LEVEL 3 (Hızlı):** Uygun harici (off-board, araç üzerine monte edilmemiş) bir şarj cihazından elektrikli araca özel veya halka açık yerlerde enerji sağlamak için özel doğru akım EA besleme ekipmanı kullanan bir şarj yöntemidir (Dericioğlu vd., 2018). Dolum istasyonu gibi çalışan bu sistemler ticari ve kamu alanlarında kullanım için uygundur (Yilmaz ve Krein, 2013). Bir saatten daha kısa bir sürede aracın şarj edilmesine imkân tanıyan şarj türü, otobanlarda dinlenme alanlarına, benzin istasyonlarına, şehir içi yakıt doldurma noktalarına kurulabilmektedir (Yilmaz ve Krein, 2013). Hızlı şarj seçeneği her ne kadar menzil arttırma konusunda EA’lara katkı sağlıyor olsa da, nadiren kullanılması önerilmektedir, çünkü neredeyse tüm lityum iyon akü kimyasalları, hızlı şarj edilmeleri durumunda, daha düşük ömürlü olmaktadır (Boulanger vd., 2011). Hızlı şarj özelliğine sahip batarya daha az enerji, daha yüksek maliyet ve/veya daha kısa ömür gibi istenmeyen özelliklere sahiptir (Boulanger vd., 2011; Yağcıtekin vd., 2011). Elektrikli aracın sürekli hızlı şarj ile şarj edilmesi durumunda, batarya ömrü kısalacak ve bataryanın değişmesi gerekecektir, bu da daha yüksek maliyet anlamına gelmektedir (Boulanger vd., 2011).
	1. **Batarya Değiştirme Şarj Sistemi**

Batarya değiştirme (battery swapping) diğer şarj yöntemlerinden biridir ve bitmiş bir bataryayı birkaç dakika içinde yenisiyle değiştirmek olarak tanımlanmaktadır (Liu ve Wang, 2017). Batarya değiştirme işlemi batarya değişim istasyonlarında (Sutopo vd., 2018) hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Yang ve Sun, 2015).

Bataryalar EA’ların en pahalı ekipmanlarıdır, batarya değiştirme istasyonları sayesinde kullanıcılar bataryalarını yedeklemek yerine batarya değiştirme istasyonlarından kiralayabilmektedirler. Bu durum bataryaların ömrünü de uzatmaktadır (Verma, 2018). Batarya değiştirme sistemi sayesinde uzun şarj süresi, halka açık şarj istasyonlarının sayısının yetersiz olması, evlerdeki şarj tesisatlarını yüksek güç şarj cihazlarına yükseltme maliyeti, batarya yedekleme maliyeti, EA menzil kısıtı gibi birçok problem ortadan kalkabilmektedir (Sarker, Pandžić ve Ortega-Vazquez, 2014).

Sistemin en önemli avantajlardan biri, batarya değiştirme istasyonlarının elektrik şebekesiyle iki yönlü güç akışı sağlama (elektrik şebekesinden güç alır, elektrik şebekesine güç verir) kabiliyetidir (Sutopo vd., 2018). Yoğun şarj talebi sırasında, bataryalarda depolanan enerji şebekeye elektrik olarak enjekte edilebilecek, enerji talebinin düşük olduğu zamanlarda elektrik şebekesinden bataryalara enerji depolanabilecektir (Sutopo vd., 2018). Bu durum işletmelere kâr elde etme açısından avantaj sağlayacaktır. İşletme gün içinde elektrik talebinin dolayısıyla elektrik fiyatlarının düşük olduğu dönemlerde bataryaları elektrik şebekesini kullanarak şarj eder (G2B-Grid to Battery), yani elektrik enerjisini düşük fiyata satın almış olur, elektrik fiyatlarının yüksek olduğu (talebin yüksek olduğu) dönemlerde bataryalardaki enerji elektrik şebekesine vererek (B2G-Battery to Grid) yani enerji satarak kâr elde edebilir (Sarker vd., 2014). Ayrıca batarya değiştirme istasyonları bazı bataryaları diğer bataryalarda depolanan enerjiyi kullanarak şarj etmek için Bataryadan-Bataryaya (B2B) hizmetlerini de verebilir (Sarker vd., 2014).

Sistemin olumsuz yönleri de mevcuttur. Batarya değiştirme sistemi, bataryada güvenlik problemleri ve sık sık batarya değişiminin aracın şasesinde meydana getireceği dengesizlik bu teknolojinin kullanımı konusunda endişelere sebep olmaktadır (Lin, Zhang, Shen, Ye ve Miao, 2019). Ayrıca batarya değiştirme istasyonlarının yapımının ve alt yapılarının pahalı olması, batarya değiştirme makineleri, batarya şarj cihazları, yedek bataryalar için oldukça büyük alanlara ihtiyaç duyulması, bu istasyonlarda depolanan bataryaların pahalı olması da bu istasyonların yaygınlaşmasına engel olmaktadır (Adler ve Mirchandani, 2014). Bataryaların, değişimin kolay yapılabilmesi için taşınabilir ve standart olması gerekmektedir (Liu ve Wang, 2017). Ancak henüz bataryalarda standartlaşma sağlanamamıştır.

## Endüktif Şarj Sistemi

Günümüzün şarj teknolojilerinden bir diğeri, manyetik prensipler kullanarak şarj cihazından araca 220 VAC elektrik aktaran (Kaptan ve Cansever, 2018) endüktif şarj sistemidir. Elektrik gücünü manyetik olarak aktaran ve kablo kullanmadan şarj etme imkânı tanıyan sistem, Level 1 ve Level 2 şarj seviyeleri için araştırılmış olup, otobanlara kurulabilmesi, seyahat halindeyken şarjın mümkün olması gibi faktörlerden dolayı hızlı şarj altyapısına olan ihtiyacı azaltabilir (Yilmaz ve Krein, 2013).

Kablosuz şarj olarak da adlandırılan yöntemde, elektrik enerjisinin araca aktarımı, araçla şarj cihazı arasında herhangi bir fiziksel temas gerektirmeyen kablosuz güç aktarımı teknolojisi (wireless power transfer technology) kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Jang, 2018). Endüktif şarjın türleri bulunmaktadır ve çalışmalarda farklı isimler verilmekle birlikte Jang (2018) tarafından yapılan çalışmada üç sınıfa ayrılan şarj türleri kısaca aşağıdaki şekildedir:

* ***Sabit kablosuz şarj sistemi (Stationary wireless charging systems):*** *Şarj* işleminin EA park halinde ve sabit bir noktada uzun bir süre boyunca çalışmaması durumunda kullanılabilen şarj sistemidir. Örneğin garajlarda ve park yerlerinde bu sistem kullanılarak araç şarj edilebilmektedir.
* ***Yarı dinamik kablosuz şarj sistemi (Quasi-dynamic wireless charging systems):*** Şarj işleminin EA düşük hızda hareket ederken (araç yavaşlarken veya hızlanırken) yapıldığı şarj sistemidir. Örneğin trafik ışıklarında kısa süreli durması durumunda araç şarj edilebilmektedir (Ahmad, Alam ve Chabaan, 2017).
* ***Dinamik kablosuz şarj sistemi (Dynamic wireless charging systems):*** Elektrikli aracın tam hareketli olması durumunda bile şarj edilebilmesine imkân tanıyan sistemdir. Tipik bir dinamik kablosuz şarj edilebilen EA, yol yüzeyinin altına monte edilmiş bir kablosuz şarj cihazından, elektriksel yükünü uzaktan harekete geçiren, yalnızca bataryadan oluşan klasik bir elektrikli araçtır. Kablosuz şarj edilebilen EA’a elektrik gücü sağlayabilen yollara elektrikli yol veya şarj şeridi adı verilmektedir.

Bataryalı EA’a monte edilecek olan bu teknoloji şarj işlemi için herhangi bir kablo bağlantısına ihtiyaç duymamakta, aracın yalnızca park halinde iken şarj edilebilmesi zorunluluğunu ortadan kaldırmakta, aracın yolda bulunan sensorlar sayesinde hareket halindeyken şarj edilmesine imkân tanımakta, bu sayede aracın menzilini arttırırken aracın şarj süresini azaltmakta, aracın bataryasının ağırlık olarak küçülmesi ile aracın hızının artmasını sağlamaktadır (Liu ve Wang, 2017). Aracın ağırlığının azalması ile aracın enerji tüketiminin azalması sağlanacak, böylece aracın alabileceği mesafe de arttırılacaktır (Chen, Taylor ve Kringos, 2015). Sistemin, çevreye enerji tüketiminin ve sera gazının azalması şeklinde faydaları olacaktır (Chen vd., 2015). Sınırlı menzil kısıtını ortadan kaldıran bu teknoloji yakın gelecekte EA’ın kullanımını da yaygınlaştıracaktır.

Ancak sistemin oluşturulması ve uygulanması aşamasında yaşanabilecek problemler mevcuttur. Sistemin yol döşemesine entegre edilmesi gerekmektedir (Chen vd., 2015). Sistemin kırılgan malzemeleri için bu durum sakıncalı olabilecektir, hem yolun hem de sistemin parçalarının korunması gerekecektir ki bu durum ekstra maliyet anlamına gelmektedir (Chen vd., 2015). Sistemin başlangıç yatırım maliyetleri yüksektir, hasar görmesi durumunda olağan trafik akışının engellenmesi, bakım-onarım maliyetlerinin zaman alması ve yüksek maliyetli olması da söz konusudur (Chen vd., 2015).

# ELEKTRİKLİ ARAÇLAR, ŞARJ SİSTEMLERİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİKLERİ

Fosil yakıtlardan daha temiz ve enerji kullanımı açısından daha verimli olan alternatif yakıtlı araçlara geçmek, karayolu taşımacılığı sera gazı emisyonunun azaltılmasında hayati bir adımdır (Liu ve Wang, 2017). Alternatif yakıtlar arasında en çok dikkat çeken teknoloji, sahip olduğu yaygın ağ, elde edilebilirliği ve verimliliği sebebiyle elektriktir (Liu ve Wang, 2017). Bu sebeple alternatif yakıtlı araçlar sınıfında yer alan elektrikli ticari araçlar geleceğin sürdürülebilir hareketliliği için önemli bir rol oynayacak büyük bir fırsat olarak görülmektedir (Schiffer ve Walther, 2017). Bu sebeple ilerleyen paragraflarda EA ve şarj sistemleri, sürdürülebilirliğin boyutları açısından sağlayacağı avantajlar ve olası problemler açısından değerlendirilmiştir.

***Sürdürülebilirliğin sosyal boyutu açısından incelendiğinde,***

* EA’ların yoğunlaştığı kentler bireylerin sağlıklı bir şekilde yaşayacakları bir ortam haline gelmekte, akıllı ekosistemin kalkınması sağlanmaktadır (Pardo-Bosch, Pujadas, Morton ve Cervera, 2021).
* Günümüzde henüz EA için yeterli sayıda şarj istasyonu bulunmamaktadır ve bu durum elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki engellerden biridir. “Yeterince elektrikli araç yolda olursa şarj istasyonları inşa edilecektir, şarj istasyonları sayısı yeterli olursa elektrikli araçlar kullanılacaktır” şeklinde bir ikilem ortaya çıkmaktadır (Meng ve Kai, 2011; Touati-Moungla ve Jost, 2012; Schiffer ve Walther, 2017). EA’ın ve kentlerin sosyal ve çevresel sürdürülebilirliğinin sağlanması için şarj istasyonlarının sayılarının arttırılması, bireylerin ulaşabilecekleri alanlara, yeterli kapasiteye sahip, kentin ulaşım ağı ve enerji altyapısıyla uyumlu şekilde kurulması gerekmektedir (Guo ve Zhao, 2015).
* Tüketici bilincinin gün geçtikçe arttığı günümüz dünyasında işletmeler için “çevre dostu” olarak tanınmak oldukça önemlidir. Fiyatlara çok müdahale edilemeyen, ürün ve hizmet kalitelerinin birbirine çok yakın olduğu Pazar şartlarında tüketiciler çevreye duyarlı ürün veya hizmetleri sunan işletmeleri tercih etmektedirler. Bu sebeple EA’lar lojistik şirketlerinin günümüzde rekabet stratejisi olarak kullanılan yeşil işletme olmak konusunda fırsatlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır.
* EA’da kullanılan parça sayısı içten yanmalı motorlu araçlarda kullanılan parça sayısının neredeyse üçte ikisi kadardır ve bu durum otomobil parçası üreticileri üzerinde tedarikçilerin azalması, sektörde işsizlik gibi ciddi etkiler yaratacaktır (Shibusawa ve Miyata, 2017). Bir diğer yandan EA üretimi ve şarj istasyonlarının kurulumu ve işletilmesi sırasında duyulacak personel ihtiyacı yeni iş alanlarının doğmasını ve istihdam artışını sağlayacaktır.

***Sürdürülebilirliğin ekonomik boyutu açısından incelendiğinde,***

* EA, hibrit araçlar, yakıt hücreli/pilli araçları da içeren yeni nesil araçların ortaya çıkmasının altında yatan faktörler arasında CO2 azaltımı, enerji tasarrufu, küresel ısınmanın önlenmesi gibi çevresel faktörlerin yanında, çöküşün yol açtığı durgunluğun ardından toparlanmayı teşvik edecek bir ekonomik politika aracı olarak kullanılması da yer almaktadır (Shibusawa ve Miyata, 2017).
* EA sayısındaki artışın, kamu politikalarına ve pillerin maliyetine bağlı olarak değişeceği beklenmekle birlikte, yapılan çalışmalarda 2050 yılında dünyada yaklaşık bir milyar elektrikli aracın kullanılıyor olacağı tahmin edilmektedir (IRENA, 2019). Ayrıca elektrikli araçların satış rakamlarının 2025’te 11 milyona çıkacağı, 2030’da içten yanmalı motorlu otomobillerden daha ucuz hale geldiklerinde bu rakamın 30 milyona yükseleceği belirtilmektedir (Bloomberg NEF, 2018).
* Yine 2040 yılında elektrikli otobüslerin ve otomobillerin, günlük 7,3 milyon varil yakıtın yerini alacağı, elektrikli otobüslerin hafif ticari araçlardan daha hızlı gideceği öngörülmektedir (Bloomberg NEF, 2018).
* Aynı mesafeyi alan elektrikli aracın elektrik tüketiminin yakıtlı aracın yakıt maliyetinin %10-%15’ine denk geldiği ortaya çıkmıştır (Xiao, Zuo, Kaku, Zhou ve Pan, 2019). İşletmeler açısından bakıldığında lojistik faaliyetlerde bu durum sürdürülebilirliğin ekonomik boyutuna katkı sağlayacaktır.
* Elektrikli araçların üretim maliyetleri bataryaların üretim maliyetleri sebebiyle yüksektir ve bu da elektrikli araç sayısının artmasının önündeki engellerden biridir (Varol, Öztürk ve Öztürk, 2018; Basso, Kulcsár, Egardt, Lindroth ve Diaz-Sanchez, 2019). Ancak dünya genelinde birçok hükümetin sunduğu yüklü sübvansiyonlar nedeniyle maliyet açısından cazip hale gelmeye başladığı da unutulmamalıdır (Desaulniers, Errico, Irnich ve Schneider, 2016). Ayrıca Schiffer, Stütz ve Walther (2016) tarafından yapılan çalışma elektrikli araçların toplam maliyet açısından daha avantajlı olduğunu göstermiştir.
* İçten yanmalı motorlu araçların üretiminde 20.000-30.000 adet parça kullanılmakta, bu da çok sayıda tedarikçi ve alt seviye tedarikçi anlamına gelmektedir (Shibusawa ve Miyata, 2017). Ancak EA’da kullanılan parça sayısı yukarıda da bahsedildiği gibi, içten yanmalı motorlu araçlarda kullanılan parça sayısından çok daha azdır. Ekonomik sürdürülebilirlik anlamında bu durum, bazı sektörlerde işsizlik etkisi oluştururken, bir yandan da şarj ve şarj istasyonları yeni bir sektör oluşturacağından ekonomiye katkı sağlayacaktır.
* Kentlerin sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi içinde şarj istasyonu alt yapısının kurulması gerekmektedir. EA’ların toplumda artması için kamuya açık şarj istasyonlarının sayısının artması gerekirken, devletler için bile bu maliyetlerin yüksek olduğu belirtilmektedir (Pardo-Bosch vd., 2021).
* EA’ın kullanımı durumunda Türkiye ve diğer birçok ülkede yaşanacak sıkıntıların başında enerji ihtiyacının nasıl karşılanacağı ve enerji ihtiyacının karşılanması durumunda da enerji iletimini sağlayacak altyapının yetersiz olması gelmektedir. EA’ın piyasada başarılı olabilmelerini sağlamak için enerji tedarik ağının tasarlanması gerekmektedir (Paz, Granada-Echeverri ve Escobar, 2018). Yapılan araştırmalarda elektrik şebekesine erişim maliyetinin şarj istasyonu inşaatının toplam maliyetinin önemli bir bölümünü oluşturduğu ortaya çıkmıştır (Lin vd., 2019). Bir diğer taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektriğin üretilmesi durumunda enerji açısından bağımsızlık ve daha az petrole dayalı taşımacılık sektörü, sürdürülebilirliğin ekonomik boyutu açısından önemlidir (Pardo-Bosch vd., 2021).

***Sürdürülebilirliğin çevre boyutu açısından incelendiğinde,***

* Bir EA yaklaşık bir yıl içinde, Londra’dan Barselona’ya dört gidiş dönüş uçuşuna eşdeğer olan ortalama 1,5 milyon gram CO2 tasarrufu sağlayabilmektedir (EDF Energy, 2021).
* Özellikle yoğun nüfuslu şehirlerde trafik tıkanıklığı, hava ve gürültü kirliliği, enerji verimsizlikleri, yol güvenliğinin azalması, altyapının bozulması, yol kapasitesinin yetersizliği ve park yeri, ulaşımın olumsuz sonuçlarından bazılarıdır (Juan, Mendez, Faulin, Armas ve Grasman, 2016). Kamu şebekesinden elektrik kullanan EA, sera gazı emisyonlarının ve ulaşımın bu gibi olumsuz etkilerinin azaltılmasında önemli bir rol oynayacak(Juan vd., 2016), şehirlerde hava kalitesinin artmasını sağlayacaktır (EDF Energy, 2021; ChargePoint, 2021).
* EA’ın içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla sessiz olmaları, egzoz emisyonu üretmemeleri gibi avantajları mevcuttur (Larminie ve Lowry, 2012; Bruglieri, Pezzella, Pisacane ve Suraci, 2015; Schiffer vd., 2016; Schiffer ve Walther, 2017; Basso vd., 2019; EDF Energy, 2021).
* EA’nın bataryalarının üretiminde kullanılan lityumun kaynağının sınırlı olması sürdürülebilirliği konusunda endişelere sebep olmaktadır (Costa, Barbosa, Gonçalves, Castro, Del Campo ve Lanceros-Méndez, 2021). Ayrıca lityumun doğada bulunması sırasında yapılan araştırma ve işlenme sürecinde meydana gelen kirlilik, bu bataryaların geri dönüştürülmemesi durumunda çevreye zarar verecektir (Costa vd., 2021).
* EA’ın lityum iyon pillerinin üretilmesinden kaynaklı emisyonlar (EDF Energy, 2021) ve akü şarjı için elektrik üreten elektrik santrallerinden kaynaklanan emisyonları hesaba dâhil edilse bile (EA kullanımıyla ilgili tek emisyon), EA diğer alternatif yakıtlı araçlardan çok daha temizdir (O’Connell, 1995). Bu durum aracın kullanım ömrü boyunca meydana gelecek olan emisyonları azaltmasından kaynaklanmaktadır (EDF Energy, 2021). Benzer şekilde pillerin yeniden kullanılması ve geri dönüşümüne yönelik çalışmalar da söz konusudur (EDF Energy, 2021). Bu şekilde EA’dan kaynaklanacak zararlar azaltılabilecektir.
* EA’da egzoz gazı ortaya çıkmaması sebebiyle, egzoz gazlarından kaynaklı ısı artışı engellenecek, devletlerin CO2 salınımı için katlandıkları maliyetlerde azalma sağlanacaktır (Varol vd., 2018).
* EA, içten yanmalı motorlu araçlarla karşılaştırıldığında, durma/kalkma sırasında verimliliklerini korumaya devam etmektedirler (Larminie ve Lowry, 2012). İçten yanmalı motorlu araçlar, duruş ve kalkışları esnasında hava kirliliğine sebep olurlarken, EA’da böyle bir durum söz konusu değildir (Larminie ve Lowry, 2012).
* Günümüzde en çok yaşanan problemlerden biri yavaş akan trafiktir. İçten yanmalı motorlu araçlar trafiğin yavaş akması durumunda düşük hızda hareket ederken yakıt tüketimleri ciddi bir biçimde artmakta ve daha çok hava kirliliğine sebep olmaktadırlar. EA yavaş akan trafikte düşük hızda kullanılmaları durumunda (motor verimliliklerinde ufak bir azalma olmasına rağmen) kurşun asit gibi bataryaların verimliliği artmakta ve düşük hız aralığında oldukça istikrarlı bir verimlilik sağlamaktadırlar (Larminie ve Lowry, 2012).
* EA’nın üretiminde daha az sayıda parça kullanılmaktadır ve bu, daha az bakım (yağ değişimi, filtre, yakıt pompası, alternatör vb. gibi parça değişiminin olmaması) anlamına gelmektedir (Anderson ve Anderson, 2010). Bu durum kirliliğin azaltılması ve kaynakların daha az kullanılması açısından çevrenin lehinedir.
* Enerji üretimi ve karayolu taşımacılığı çevresel birçok sorunun en önemli sebebidir (Scheiper, Schiffer ve Walther, 2019). Elektrik üretiminin, sürdürülebilir kaynaklardan elde edilme oranı %10’un altındadır, bu durum EA’ın kullandığı elektrik enerjisinin üretiminin petrol, kömür, doğalgaz kullanılarak sağlanacağını göstermektedir (Larmine ve Lowry, 2012:239). Şarj istasyonlarında yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin kullanıldığı durumda, şarjla ilgili emisyonlar ve elektrik maliyetleri de düşecektir (ChargePoint, 2021). Petrol kullanan şarj istasyonlarına kıyasla elektrik enerjisi kullanan şarj istasyonları daha çevrecidir.
* Şarj istasyonlarının kurulumu yeni yapıların oluşumuna sebep olacaktır. Özellikle yavaş tipte şarj istasyonlarının kurulumunda, daha fazla sayıda aracın şarj ihtiyacının karşılanabilmesi için daha büyük ve/veya çok sayıda şarj istasyonun kurulumu söz konusu olacaktır, bu da arazi kullanımının artması anlamına gelecektir (Orsi, 2021).

# SONUÇ

Otomotiv sanayide uzun yıllardır petrole kıyasla doğaya daha az zarar veren, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak enerji elde eden, daha az yakıt maliyetli geleceğin lideri olan araçlar geliştirme çabası mevcuttur. Geliştirilen bu araçlardan günümüzde en gündemde olanlardan biri EA’dır. EA fosil yakıt enerji kaynağı krizini ve çevre kirliliğini gidermek amacıyla bir umut olarak görülmektedirler (Liu, Yang, Zhou ve Tian, 2018). Çalışmada EA ve şarj sistemleri sürdürülebilirlik açısından ele alınmış ve sürdürülebilirliğin boyutları açısından incelenmiştir. Her ne kadar ayrı ayrı ele alınmaya çalışılsa da boyutlar arasında keskin ayrım yapılamamış, araçların sağladığı faydaların sürdürülebilirliğin birden fazla boyutunu kapsadığı görülmüştür. Sürdürülebilirliğin üç boyutu açısından değerlendirildiğinde en çok faydanın çevre açısından elde edileceği görülmektedir.

EA’ın sağlayacağı asıl faydalar elektrik üretiminin yenilenebilir kaynaklarla yapılması durumunda gerçekleşecektir (Granovskii, Dincer ve Rosen, 2006). Aksi takdirde çevreye daha fazla zarar verilmesi bile söz konusu olabilecektir. Nitekim yapılan bir çalışmada İstanbul’daki toplu taşıma araçlarının tamamının EA olması durumunda elektrik enerjisi ihtiyacının artacağı, bu enerjinin yenilenebilir kaynaklardan üretilmemesi durumunda çevreye daha çok zarar verileceği sonucu ortaya çıkmıştır (Varol vd., 2018). Son yıllarda çalışılan yeni bir konu olmakla birlikte yeşil şarj istasyonları kurulmasıyla bu sorunun ortadan kalkacağı düşünülmektedir (Yağcıtekin vd., 2011).

Çevre ile ilgili gürültü ve egzoz emisyonları konusundaki endişeler, batarya ve yakıt hücrelerinde yaşanan yeni gelişmelere bağlı olarak dengeyi EA lehine çevirecektir (Larminie ve Lowry, 2012). Ayrıca CO2 salınımının büyük bir kısmına sebep olan taşımacılık sektörünün verdiği zararlar EA sayesinde azaltılabilecektir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik üretilmesi halinde petrole eskisi kadar ihtiyaç kalmayacak olması, petrol konusunda birçok ülkenin dışa bağımlılığını ortadan kaldıracaktır. Ayrıca doğalgaz gibi pahalı kaynaklarla elektrik üretimine gerek kalmaması sebebiyle elektrik üretim maliyetlerinin azalacak olması EA’ın şarj maliyetlerinin düşük olmasını sağlayacak, bu durum hem çevre hem de ülkelerin ekonomisi için büyük bir avantaj sağlayacaktır. Özellikle Türkiye gibi yılın büyük bir bölümünün güneşli olduğu, kendi enerjisini kendi üretebilecek düzeyde olan ülkeler için sürüdürülebilirlik açısıdan EA’ın kullanımı kaçınılmaz olmaktadır.

# KAYNAKÇA

Adler, J.D., & Mirchandani, P.B. (2014). Online routing and battery reservations for electric vehicles with swappable batteries. *Transportation Research Part B: Methodological,* 70, 285-302.

Afroditi, A., Boile, M., Theofanis, S., Sdoukopoulos, E., & Margaritis, D. (2014). Electric vehicle routing problem with industry constraints: trends and insights for future research. *Transportation Research Procedia*, *3*, 452-459.

Ahmad, A., Alam, M.S., & Chabaan, R. (2017). A comprehensive review of wireless charging technologies for electric vehicles. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, *4*(1), 38-63.

Alternative Fuels Data Center (2019). Developing Infrastructure to Charge Plug-In Electric Vehicles. https://afdc.energy.gov/fuels/electricity\_infrastructure.html. Erişim tarihi:09.06.2019

Amjad, S., Neelakrishnan, S., & Rudramoorthy, R. (2010). Review of design considerations and technological challenges for successful development and deployment of plug-in hybrid electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(3), 1104-1110.

Anderson, C.D., & Anderson, J. (2010). *Electric and hybrid cars: A history*. North Carolina: McFarland.

Basso, R., Kulcsár, B., Egardt, B., Lindroth, P., & Sanchez-Diaz, I. (2019). Energy consumption estimation integrated into the electric vehicle routing problem. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *69*, 141-167.

Barazesh, M., Saebi, J., & Javidi, D.H. (2015, May). Optimal distribution of electric vehicle types for minimizing total CO2 emissions. In *2015 23rd Iranian Conference on Electrical Engineering* (pp. 1585-1590). IEEE. Iran: Tehran.

Bloomberg NEF (2018). Electric Vehicle Outlook https://bnef.turtl.co/story/evo2018?teaser=true. Erişim tarihi: 25.03.2019

Boulanger, A.G., Chu, A.C., Maxx, S., & Waltz, D.L. (2011). Vehicle electrification: Status and issues. *Proceedings of the IEEE*, *99*(6), 1116-1138.

Bruglieri, M., Pezzella, F., Pisacane, O., & Suraci, S. (2015). A variable neighbourhood search branching for the electric vehicle routing problem with time windows. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, *47*, 221-228.

Chan, C.C. (2002). The state of the art of electric and hybrid vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 90(2), 247-275.

Chan, C.C. (2007). The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4), 704-718.

ChargePoint (2021). Electric Vehicles Drive a Sustainable Future. https://www.chargepoint.com/en-gb/about/sustainability Erişim tarihi: 26.09.2021

Chen, F., Taylor, N., & Kringos, N. (2015). Electrification of roads: Opportunities and challenges. *Applied Energy*, 150, 109-119.

Costa, C.M., Barbosa, J.C., Gonçalves, R., Castro, H., Del Campo, F.J., & Lanceros-Méndez, S. (2021). Recycling and environmental issues of lithium-ion batteries: Advances, challenges and opportunities. *Energy Storage Materials*, *37*, 433-465.

Çatay, B., & Keskin, M. (2017). The impact of quick charging stations on the route planning of electric vehicles. In *Computers and Communications (ISCC), 2017 IEEE Symposium on* (pp. 152-157). IEEE. Greece: Heraklion.

Delucchi, M A., & Lipman, T.E. (2010). Lifetime cost of battery, fuel-cell and plug-in hybrid electric vehicles. In G. Pistoia (Ed.), *Electric and hybrid vehicles: Power sources, models, sustainability, infrastructure and the market* (pp 20-60). Netherlands: Elsevier.

Desaulniers, G., Errico, F., Irnich, S., & Schneider, M. (2016). Exact algorithms for electric vehicle-routing problems with time windows. *Operations Research*, *64*(6), 1388-1405.

Dericioglu, C., Yirik, E., Unal, E., Cuma, M.U., Onur, B. & Tumay, M. (2018). A review of charging technologies for commercial electric vehicles. *International Journal of Advances on Automotive and Technology, 2*(1), 61-70.

EDF Energy (2021). Benefits of electric cars on the environment. https://www.edfenergy.com/for-home/energywise/electric-cars-and-environment Erişim tarihi: 14.09.2021

Egbue, O., & Long, S. (2012). Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. *Energy policy*, *48*, 717-729.

Froger, A., Mendoza, J. E., Jabali, O., & Laporte, G. (2019). Improved formulations and algorithmic components for the electric vehicle routing problem with nonlinear charging functions. *Computers & Operations Research*, *104*, 256-294.

Granovskii, M., Dincer, I., & Rosen, M.A. (2006). Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles. *Journal of Power Sources*, *159*(2), 1186-1193.

Guo, S., & Zhao, H. (2015). Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective. *Applied Energy*, *158*, 390-402.

IRENA, Electrification with renewables: Driving the transformation of energy services reports. https://www.irena.org/publications/2019/Jan/Electrification-with-Renewables Erişim tarihi: 25.03.2019

Jang, Y.J. (2018). Survey of the operation and system study on wireless charging electric vehicle systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 844-866.

Juan, A.A., Mendez, C. A., Faulin, J., de Armas, J., & Grasman, S.E. (2016). Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges. *Energies*, *9*(2), 86.

Kaptan, D., & Cansever, G. (2018, October). Battery chargers in electric vehicles. In *2018 6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT)* (pp. 1-3). IEEE. Türkiye: İstanbul.

Keskin Özel, M. (2018). Recharge strategies for the electric vehicle routing problem with time windows in deterministic and stochastic environments. Doctoral Dissertation, Sabancı University, Istanbul.

Larminie, J., & Lowry, J. (2012). *Electric vehicle technology explained*. UK: John Wiley & Sons.

Lin, Y., Zhang, K., Shen, Z.J.M., Ye, B., & Miao, L. (2019). Multistage large-scale charging station planning for electric buses considering transportation network and power grid. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *107*, 423-443.

Liu, H., & Wang, D.Z. (2017). Locating multiple types of charging facilities for battery electric vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*, 103, 30-55.

Liu, H.C., Yang, M., Zhou, M., & Tian, G. (2018). An integrated multi-criteria decision making approach to location planning of electric vehicle charging stations. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *99*, 1-12.

Markel, T., & Simpson, A. (2007). Cost-benefit analysis of plug-in hybrid electric vehicle technology. *World Electric Vehicle Journal*, 1(1), 294-301.

Meng, W., & Kai, L. (2011, December). Optimization of electric vehicle charging station location based on game theory. In *Proceedings 2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE)* (pp. 809-812). IEEE. China: Changchun.

O'Connell, L. G. (1995). *Developing the EV Charging Infrastructure* (No. 952769). SAE Technical Paper.

OECD (2010). *Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions: Trends & Data.* https://www.itf-oecd.org/reducing-transport-greenhouse-gas-emissions-trends-and-data-2010. Erişim tarihi: 30.03.2019

Orsi, F. (2021). On the sustainability of electric vehicles: What about their impacts on land use? *Sustainable Cities and Society*, *66*, 102680.

Pardo-Bosch, F., Pujadas, P., Morton, C., & Cervera, C. (2021). Sustainable deployment of an electric vehicle public charging infrastructure network from a city business model perspective. *Sustainable Cities and Society*, *71*, 102957.

Paz, J., Granada-Echeverri, M., & Escobar, J. (2018). The multi-depot electric vehicle location routing problem with time windows. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, *9*(1), 123-136.

Pelletier, S., Jabali, O., Laporte, G., & Veneroni, M. (2017). Battery degradation and behaviour for electric vehicles: Review and numerical analyses of several models. *Transportation Research Part B: Methodological*, *103*, 158-187.

Pollet, B.G., Staffell, I., & Shang, J.L. (2012). Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects. *Electrochimica Acta*, *84*, 235-249.

Sarker, M.R., Pandžić, H., & Ortega-Vazquez, M.A. (2014). Optimal operation and services scheduling for an electric vehicle battery swapping station. *IEEE Transactions on Power Systems*, *30*(2), 901-910.

Scheiper, B., Schiffer, M., & Walther, G. (2019). The flow refueling location problem with load flow control. *Omega*, *83*, 50-69.

Schiffer M, Stütz S. & Walther G. (2016). Are ECVs breaking even? Competitiveness of electric vehicles in retail logistics. Les Cahiers du GERAD G-2017-47, Group for Research in Decision Analysis, HEC Montreal, Montreal.

Schiffer, M., & Walther, G. (2017). The electric location routing problem with time windows and partial recharging. *European Journal of Operational Research*, 260(3), 995-1013.

Shao, S., Guan, W., & Bi, J. (2017). Electric vehicle-routing problem with charging demands and energy consumption. *IET Intelligent Transport Systems*, *12*(3), 202-212.

Shibusawa, H., & Miyata, Y. (2017). Evaluating the economic impacts of hybrid and electric vehicles on Japan’s regional economy: Input–output model approach. In H. Shibusawa, K. Sakurai, T. Mizunoya & S. Uchida (Eds), *Socioeconomic environmental policies and evaluations in regional science* (pp. 631-649). Singapore: Springer.

Sovacool, B.K., & Hirsh, R.F. (2009). Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition. *Energy Policy*, 37(3), 1095-1103.

Sutopo, W., Nizam, M., Rahmawatie, B., & Fahma, F. (2018, October). A review of electric vehicles charging standard development: Study case in Indonesia. In *2018 5th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT)* (pp. 152-157). IEEE. Indonesia: Surakarta.

Tie, S.F., & Tan, C. W. (2013). A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. *Renewable and sustainable energy reviews*, 20, 82-102.

Touati-Moungla, N., & Jost, V. (2012). Combinatorial optimization for electric vehicles management. *Journal of Energy and Power Engineering*, 6(5), 738-743.

TÜBİTAK (2003). *Elektrikli Araçlar*, http://www.normenerji.com.tr/menuis/elektrikli-araclar\_190220120138391025288910.pdf. Erişim tarihi: 31.03.2019.

Xiao, Y., Zuo, X., Kaku, I., Zhou, S., & Pan, X. (2019). Development of energy consumption optimization model for the electric vehicle routing problem with time windows. *Journal of Cleaner Production*, *225*, 647-663.

Varol, S., Öztürk, Z. & Öztürk O. (2018). İstanbul’da karayolu yolcu taşımacılığında Elektrikli Araç kullanımının incelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, *5*(2), 367-386.

Verma, A. (2018). Electric vehicle routing problem with time windows, recharging stations and battery swapping stations. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 7(4), 415-451.

Worley, O., Klabjan, D., & Sweda, T.M. (2012). Simultaneous vehicle routing and charging station siting for commercial electric vehicles. In *Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 IEEE International* (pp. 1-3). USA: Greenville, SC.

Yağcıtekin, B., Uzunoğlu, M., & Karakaş, A. (2011). Elektrikli Araçların şarjı ve dağıtım sistemi üzerine etkileri. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu* (s. 316-320). Elazığ: Fırat Üniversitesi.

Yang, J., & Sun, H. (2015). Battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles. *Computers & Operations Research*, 55, 217-232.

Yilmaz, M., & Krein, P.T. (2012). Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE transactions on Power Electronics*, 28(5), 2151-2169.

Zuo, X., Xiao, Y., Zhu, C., & You, M. (2018). A Linear MIP Model for the Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows Considering Linear Charging. In *2018 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)* (pp. 1-5). USA: Reno, NV.

1. Bu çalışma “Elektrikli Ticari Araçlarda Rotalama ve Şarj İstasyonu Kuruluş Yeri Seçimi Optimizasyonu” başlıklı doktora tezinden üretilmiştir. [↑](#footnote-ref-1)
2. Öğr.Gör.Dr., Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya MYO, ipekozenir@mku.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-0684-0938 [↑](#footnote-ref-2)
3. Doç.Dr., Çukurova Üniversitesi, İİBF İşletme Bölümü, ngulsun@cu.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-6835-744X [↑](#footnote-ref-3)