

## Fast Charging Station Technologies For Electric Vehicles

 Alper KEREM\*  Hatice GÜRBAK 

 Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Electrical Electronics Engineering, ,  
 Kahramanmaraş/TURKEY

### Graphical/Tabular Abstract

#### Article Info:

Research article

Received: 01/04/2020

Revision: 13/07/2020

Accepted: 08/08/2020

#### Highlights

- EV Charging
- Fast Charging Stations

#### Keywords

 Electric Vehicles  
 Charging Stations  
 Bidirectional Topology  
 Unidirectional Topology

Electric vehicle (EV) technology is a new technology aiming to reduce fossil fuel usages. This new technology has some problems including battery charging time and range. One of the problems, battery charging times (level 1 level 2, level 3, and level 4), was investigated in this study. While level 1 and level 2 refer to methods of slow charging, level 3 and level 4 refer to fast charging. Fast charging methods consist of three different topologies: topology with AC/ DC/ DC converters (vehicle-to-grid (V2G) charging stations and one-way charging stations as their sub-branches), common AC-connected multi-point topology and transformerless topologies.

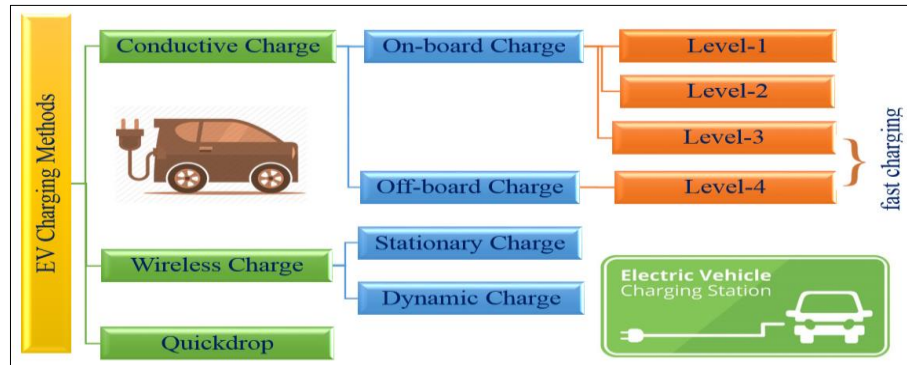


Figure A. EV Charging Methods

Among these topologies, it was concluded that the V2G method is an effective and reliable method in terms of adaptation to renewable energy sources, energy efficient use, easy installation and adaptation to both AC and DC systems.

**Purpose:** It is aimed to determine fastest and the most efficient charging method for EV's. Hence the layout, functionality and importance of EV charging stations have been investigated.

**Theory and Methods:** Topologies of EV charging stations were analyzed and compared in literature from various perspectives. In addition, tables were created to detect variations between charging levels and charging rates.

**Results:** Fast charging stations have been observed to be vital for EV's to adapt to future technologies. The V2G fast charging topology has been observed to have a high energy efficiency and can operate in accordance with other renewable energy sources.

**Conclusion:** Some fast charging stations are viewed as a threat to the electricity grids as having a charging capacity at MW levels. Among the steps that can be taken against this challenge are to reduce the problems caused by the demand for electricity, to preserve the charging station's common link point voltage and to send reactive power to the grid to avoid voltage instability. Another precaution is to use the V2G fast charging method. These stations must also be built in compliance with IEC requirements in terms of user/ network protection, device reliability and energy efficiency.



## Elektrikli Araçlar İçin Hızlı Şarj İstasyonu Teknolojileri

Alper KEREM\* Hatice GÜRBAK

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
Kahramanmaraş/TÜRKİYE

### Öz

Tüm dünyada gündün güne gelişen teknoloji ve artan dünya nüfusu beraberinde enerji kaynağı sorununu doğurmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların doğada sınırlı miktarda rezervlerinin bulunması, yüksek maliyetleri ve çevreye verdikleri tahribatlar nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim hız kazanmıştır. Fosil kaynaklı yakıtların başlıca kullanım alanlardan biri içten yanmalı motorlara sahip araçlardır. İçten yanmalı motora sahip araçlar yerine sadece elektrik motoru kullanılan elektrikli araçlar (EA) bu fosil kaynaklı yakıt tüketimini azaltmaya yönelik yeni bir teknolojidir. Bu teknolojinin ise menzil ve batarya şarj süresi gibi bazı problemleri mevcuttur. Bu çalışmada problemlerden biri olan batarya şarj süreleri (seviye 1, seviye 2, seviye 3 ve seviye 4) üzerine araştırmalar yapılmıştır. Seviye 1 ve seviye 2 yavaş şarj yöntemlerini ifade ederken, seviye 3 ve seviye 4 hızlı şarj yöntemlerini ifade etmektedir. Hızlı şarj yöntemleri ise AA/DA/DA dönüştürücülü topoloji (alt dalları olarak araçtan şebekeye (V2G) şarj istasyonu ve tek yönlü şarj istasyonu), ortak AA bağlantılı çok noktali topoloji ve transformatörsüz topoloji olmak üzere üç farklı topolojiden oluşmaktadır. Tüm bu topolojiler arasında yenilenebilir enerji kaynaklarına uyum sağlaması, enerjiyi verimli kullanması, kolay kurulumu ve hem AA hem DA sistemlerine uyum sağlaması açısından V2G yönteminin verimli ve etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 01/04/2020  
Düzeltilme: 13/07/2020  
Kabul: 08/08/2020

### Anahtar Kelimeler

Elektrikli Araçlar  
Şarj İstasyonları  
Şarj Seviyeleri  
Hızlı Şarj İstasyonu  
Topolojileri

### Keywords

Electric Vehicles  
Charge Stations  
Charge Levels  
Fast Charging Station  
Topologies

## Fast Charging Station Technologies For Electric Vehicles

### Abstract

Increasing world population and developing day-to-day technology are causing the energy supply crisis around the world. Owing to the limited nature reserves, high costs and destruction of fossil fuels to the ecosystem, movements towards renewable energy sources have been accelerated. It is one of the fossil fuel's main uses are vehicles that have internal combustion engines. Instead of vehicles using an internal combustion engine, electric vehicles (EV), which only use electric motors, are a new technology to reduce the consumption of fossil fuel. There are some difficulties with this new technology, such as range and battery charge time. In this study, the research on battery charging time (level 1, level 2, level 3, and level 4) was conducted which is one of the problems. Level 1 and level 2 refer to slow charging methods while level 3 and level 4 refer to fast charging methods. Fast charging methods consist of three different topologies: AC/ DC/ DC converter topology (as sub-branches of vehicle-to-grid (V2G) charging station and one-way charging station), common AC connected multi-point topology and transformerless topology. It was concluded that the V2G method which is the sub-branch of fast charging station topology of AC/ DC/ DC converter, is an effective and reliable process for adapting to renewable energy sources, using energy efficiently, easily integrated and adapting to both AC and DC systems.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Taşımacılık sektörü, fosil kökenli yakıt tüketiminin en fazla olduğu ve çevre üzerinde zararlı etkileri olan bir sektördür. Bu doğrultuda, EA'lar fosil kökenli yakıt tüketimini azaltarak [1], ülkelerin enerji konusundaki dışa bağımlılıklarını azaltmak ve çevreye salınan zararlı gazlar sebebiyle iklim değişikliğinin üstesinden gelebilmek için büyük bir etken olarak görülmektedir [2].

EA'ların ticari başarısının en büyük etkenlerinden biri yüksek verimli şarj istasyonlarıdır [3]. Fakat, EA sayısının artmasına rağmen şarj istasyonu alt yapısının eksikliği ve uzun şarj süreleri bu araçların kullanımını günlük gidiş geliş ve kısa mesafeli yolculuklarla sınırlandırmaktadır [4]. Oysaki, hızlı şarj istasyonlarının tasarlanması ve kurulumu EA'ların kullanımını yaygınlaştırmak için önemli bir adım olacaktır. Bu şarj istasyonları ile şarj süreleri kısalarak zamandan tasarruf sağlanmış olunacaktır. Günümüzde EA'yı yaklaşık 1s içinde şarj edebilen 50kW hızlı şarj cihazları ve 10dk içinde şarj edebilen 240kW çok hızlı şarj cihazları tasarlanmıştır. Bu yüksek güçlü ve hızlı şarj cihazlarının yakın gelecekte piyasaya sürülmesi beklenilmektedir [5]. Ayrıca, şarj istasyonu cihazları, alt yapı bağlantıları ve iletişim protokollerinin standart hale getirilmesiyle kullanıcılara kaliteli ve hızlı bir şarj süresi sağlanacaktır. Bu durum mevcut EA sistemini daha verimli hale getirerek dünya genelinde yaygın kullanılmasına yardımcı olacaktır. Bazı ülkeler şarj istasyonlarının geliştirilmesi ve yaygın kullanımı için çeşitli uluslararası standartlar geliştirmiştir [1]. Ülkelere göre EA standartları Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Ülkelere göre EA Standartları [6]

EA sistemi	Ülke
Otomotiv Mühendisleri Topluluğu (Society of Automotive Engineers (SAE))	Amerika Birleşik Devletleri
Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission (IEC))	Avrupa
Japon Elektroteknik Komitesi (Japanese Electrotechnical Committee (JEC))	Japonya
Çin Elektrik Konseyi (China Electricity Council (CEC))	Çin

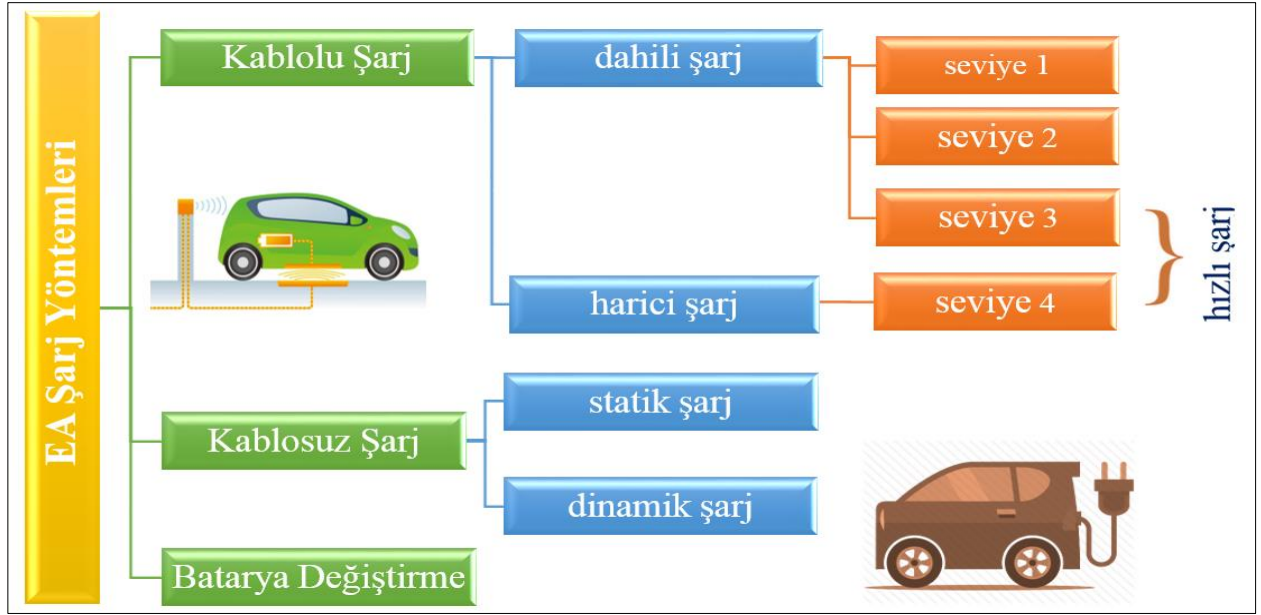
Hızlı şarj istasyonu ile ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde Angelov ve ark. ları [7] EA'lar için batarya, güç dönüştürücüsü ve kontrol ünitesinden oluşan yeni bir şarj modeli tasarlamışlardır. Çalışmayı diğer çalışmalardan önemli yönü aşırı şarjı önlemek için 25V ve 400V sınırlama katsayısına sahip orantılı bir P-regülatörlü kontrol ünitesi içermesidir. Bu çalışmada aşırı şarj durumunu kontrol ederek batarya kullanım ömrünü uzatmayı hedeflemişlerdir. Sistem hem hızlandırılmış şarj işleminde hem de normal şarj işleminde test edilerek oransal regülatör ile modelin kolayca gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Kai Struz ve ark. ları [8] Almanya'da yeni bir hızlı (DA) şarj istasyonu modellemişlerdir. Bu model V2G ve reaktif güç dengelemesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. 10 adet EA kapasiteli 1MW gücündeki şarj istasyonunu gerçek parametreler ile simüle ederek 1'den fazla EA'ın hızlı (DA) şarj edilmesinin mümkün olduğunu göstermişlerdir. EA şarj istasyonlarının yenilenebilir enerji kaynaklarına entegrasyonu üzerine Sahoo ve ark. ları [9] güneş enerjisini EA hızlı şarj istasyonlarında ZVSPWM kontrollü tam köprülü DA/DA dönüştürücü kullanarak şarj istasyonuna entegre etmişlerdir. Çalışmayı Simulink ortamında 0,5kW ve 48V'luk bir sistem için simüle etmişlerdir. Dominguez-Navarro ve ark. ları [10] hızlı şarj istasyonlarının şebekeden talep ettiği yüksek enerjiyi azaltmak için modellerine yenilenebilir enerji (rüzgar ve fotovoltaik) kaynağı ve depolama sistemini eklemişlerdir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak EA'ların varış saatini ve şarj durumunu dikkate alan bir modeli de kullanmışlardır. Tasarımda genetik algoritma (GA) ile hızlı şarj istasyonunun kurulumunu ve çalışmasını optimize etmişlerdir. Bugünkü değeri ile ölçülen kârı en üst düzeye çıkaran optimum çözümü bulmaya çalışmışlardır. EA şarj istasyonunun şebeke üzerinde olumsuz etkileri konusunda Geske ve ark. [11] Magdeburg'un güç sistemi dağıtım şebekesinde EA'ların şarj simülasyonunu modellemişlerdir. Şarj işlemleri için farklı senaryolar oluşturarak araçların gidiş ve gelişlerini gerçek zamanlı verilere dayandırmışlardır. Dağıtım şebekesinin her bir düğümündeki gerilim kararlılığını araştırarak üretilen senaryoların gerilim kararsızlığına neden olmadığı sonucuna varmışlardır. Nikitha ve ark. [12] 200MVA, 13,8kV ve 50Hz'lik bir elektrik şebekesine farklı sayıda EA şarj istasyonunun bağlı olduğu durumdaki toplam harmonik bozunum (THB) dalgalanmalarını simüle etmişlerdir. Bu simülasyonu şebekeye hiçbir EA şarj istasyonu bağlı değil iken, şebekeye toplam 5MW'lık bir EA şarj istasyonu bağlı iken ve şebekeye toplam 70MW'lık bir EA şarj istasyonu bağlı iken THB ve giriş güç faktörü düzeylerini ayrı ayrı hesaplanmışlardır. Taban yük ve tepe yük durumlarında şarj olurken güç sistemine artan sayıda şarj istasyonu bağlandıkça giriş güç faktörü seviyelerinin kademeli olarak düştüğünü gözlemlemişlerdir. EA şarj istasyonunun şarj süresi konusunda Shaarbaf [13] Q-Learning'e dayalı akıllı şebekeye bağlı hızlı şarj istasyonunda EA'ların en iyi şarj süresinin belirlenmesi konusunda çalışmıştır. Hızlı şarj istasyonlarındaki en iyi şarj süresini belirlemek için takviye öğrenme yöntemi

kullanarak yeni bir yöntem geliştirmiştir. Önerilen yöntemde şarj sırası bekleme süresi, araç sahipleri tarafından ödenen enerji maliyetleri ve istasyon sahiplerinin karı için en iyi şarj saatlerini belirlemek gibi önemli parametreleri incelemiştir. Bu yöntemle istasyon sahiplenme durumunun %4 arttığını ve sırada bekleme sürelerine göre %10'dan % 40'a kadar tasarruf edildiğini göstermiştir. Malik ve Lehtonen [14] hızlı şarj istasyonlarında EA'ların bekleme süresini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. EA'ların şarj oranını kontrol etmek için şarj gücünü hızlı şarj istasyonundaki her bir sokete tahsis etmeye yönelik bir algoritma tasarlamışlardır. Kullanılabilir ağ kapasitesi, şarj istasyonundaki şarj soketi sayısı ve EA'ların sırada bekleme süresi arasındaki ilişkileri analiz etmişlerdir. Sadeghi-Barzani ve ark. ları [15] EA şarj istasyonlarından daha yüksek verim elde etmek için doğru lokasyona yerleştirilmeleri ve lokasyon seçimi konusunda model geliştirmişlerdir. Çalışmalarında hızlı şarj istasyonlarının en uygun şekilde yerleştirilmesi ve boyutlandırılması için karmaşık tamsayılı doğrusal olmayan (MINLP) optimizasyon yaklaşımı kullanmışlardır. Yaklaşımındaki faktörler arasında istasyon geliştirme maliyeti, EA enerji kaybı, transformatör konumları ve kentsel yolların konumları yer almıştır. Model kentsel yolları dikkate alarak şarj istasyonu geliştirme maliyetini en aza indirmek için şarj istasyonlarının en uygun yerini ve boyutlarını bulmaya çalışmıştır. Victor-Gallardo ve ark.ları [16] yeni bir hızlı bir şarj istasyonu modeli geliştirmişlerdir. Modeli oluştururken optimizasyon verilerinin eksik olduğu, hizmet talebinin ise fazla olduğu yerlerde daha düşük maliyetler ile EA'ların yaygınlaşmasını hızlandırmayı amaçlamışlardır. Şehirlerde hızlı şarj istasyonu temin etmeyi ve konumların fizibilitesini incelerken uzak yerleri birbirine bağlayan güzergahlarda konumlandırılmalarını dikkate almışlardır.

Bu çalışmada hızlı şarj istasyonu teknolojisindeki gelişmeleri derlemek için dünya genelindeki tasarımlar araştırılmıştır. Hızlı şarj kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için bölüm 2'de şarj istasyonları ve şarj yöntemleriyle ilgili bilgilere yer verilmiştir. Şarj yöntemlerinin kablolu şarj yöntemi, kablosuz (endüktif) şarj yöntemi ve batarya değiştirme yöntemi olarak üç ana başlık altında toplandığı, bu yöntemlerin kendi içlerinde sırasıyla dahili şarj yöntemi ve harici şarj yöntemi olarak; statik şarj yöntemi ve dinamik şarj yöntemi olarak alt başlıklara ayrıldığı anlatılmıştır. Dahili şarj yönteminin seviye 1, seviye 2 ve seviye 3 olarak; harici şarj yönteminin ise seviye 4 olarak ifade edildiğine değinilmiştir. Bu modellerden seviye 1 ve seviye 2'nin yavaş şarj yöntemleri olduğu; seviye 3 ve seviye 4'ün ise hızlı şarj yöntemleri olduğu ifade edilmiştir. Bölüm 3'te hızlı şarj yöntemleri olan seviye 3 ve seviye 4 detaylıca anlatılmıştır. Bu şarj istasyonu modelleri AA/DA/DA topolojisi, ortak AA bağlantılı çok noktalı topoloji ve transformatörsüz topoloji olarak üç topolojiye ayrılmıştır. Bu topolojilerden AA/DA/DA topolojisinin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmasıyla dağıtım şebekesi üzerinde oluşan olumsuz etkileri büyük oranda azalttığına değinilmiştir. Bu topolojinin V2G şarj istasyonu ve tek yönlü şarj istasyonu olarak iki alt başlığa ayrıldığı anlatılmıştır. Ortak AA bağlantılı çok noktalı topolojinin uygulama açısından daha kolay kurulumu olduğu ve aynı anda birden fazla EA'yı hızlı bir şekilde şarj etme imkanı sunduğu anlatılmıştır. Transformatörsüz topolojinin ise gerilim seviyesini düşürmek için transformatör kullanmaya gerek duymadığı ve böylece transformatör kayıplarının olmadığı bir topoloji olduğuna değinilmiştir.

## 2. ŞARJ YÖNTEMLERİ (CHARGING METHODS)

EA'lar için kablolu şarj, kablosuz (endüktif) şarj ve batarya değişimi olmak üzere üç farklı şarj yöntemi vardır [1]. Bu yöntemler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. EA Şarj Yöntemleri

## 2.1. Kablolu Şarj Yöntemi (Conductive Charging Methods)

Şarj cihazı, güç kaynağı ve araç arasında doğrudan temasın olduğu bir şarj sistemidir [17]. Bu şarj sistemi çeşitli güç faktörü düzeltmeli doğrultucu ve konnektörden oluşmaktadır. Dahili ve harici şarj yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

### 2.1.1. Dahili şarj yöntemi (On-board Charging Methods)

Araç içinde doğrultucu ve batarya grubu içerirken şarj cihazını araç dışında bulunduran bir yöntemdir [7]. Bu yöntemdeki şarj seviyesi şarj çıkışının güç seviyesi olarak ifade edilmektedir [18]. Güç seviyesi şarj işleminin uzunluğunu belirleyen önemli bir parametredir. Seviye 1, seviye 2, seviye 3 ve seviye 4 olmak üzere dört şarj seviyesi vardır. Şarj seviyesi EA ve şarj istasyonu arasındaki güvenli iletişim protokolünü [1] ve araçlar ile şarj istasyonları arasındaki iletişim seviyesini [19, 20] içermektedir.

Seviye 1: Şarj işleminin herhangi bir güvenlik önlemi alınmadan basit bir uzatma kablosu ve standart bir priz ile gerçekleştirilmesidir [7]. EA'ların bu yöntemde konutlarda veya iş yerlerinde park halindeyken uzun süre şarj edilme imkanları bulunmaktadır. Bu nedenle yavaş şarj yöntemi olarak da bilinmektedir [21]. Bu şarj istasyonu yalnızca AA şarj istasyonudur ve bataryanın enerji kapasitesine bağlı olarak yaklaşık 8 ila 10 saatte şarj edebilmektedir [7]. Bu istasyonlar IEC 62196 standardına göre topraklama gerektirmektedir ve 16A 250V (tek faz) ve 480V (üç faz) olarak sınırlandırılmıştır [22]. Ayrıca, bu istasyonların kurulumu elektrik tesisatı güvenlik yönetmeliklerine uygun şekilde projelendirilmeli, aşırı yükten korumak için topraklama sistemi içermeli, devre kesiciler ve toprak kaçağının korunma önlemlerine sahip olmalıdır [23].

Seviye 2: Bu yöntemde araçlar ev prizleriyle ana güç şebekesine bağlanmaktadır [1]. Şarj işlemi tek fazlı/üç fazlı bir şebeke ve topraklama hattı ile gerçekleştirilmektedir. AA güç kaynağı hattı 32A'yı aşmamalı, 250V AA (tek faz) veya 480V AA'yı geçmemelidir [18]. Kontrol kutusu EA'nın batarya sisteminden veya fişten 0,3m uzakta olacak şekilde yerleştirilmelidir. Bu yöntem şehirlerarası yollar ve otobanlar hariç havaalanlarından üniversitelere kadar kurulmasında sakınca olmayan bir modeldir [21]. Bu yöntemdeki şarj süresi seviye 1 şarj etme süresinin yarısından daha azdır [7]. Bu istasyonlar IEC 62196 standardına göre 32A 250V (tek faz) ve 480V (üç faz) olarak sınırlandırılmıştır [22].

Seviye 3: Kablolu bir AA şarj istasyonudur ve seviye 2'den daha yüksek bir güç seviyesine sahiptir. Güvenlik protokolü ise seviye 2 ile aynıdır [23]. Bu yöntemde batarya sistemindeki cihazları kontrol etmek için özel bir batarya kontrol sistemi kullanılarak EA AA güç kaynağına bağlanmaktadır [24]. Şarj seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2. Şarj Seviyeleri [1]**

Özellikler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Güç	1-3kW	7-43kW	50-250kW
Dolum süresi	3-10s (%80)	1-7s (%80)	30dk (%100)
Batarya tipi	Pb-acid, Ni-MH, Li-Ion	Ni-MH, Zebra, Li-Ion	Li-Ion
Konum	Müstakil evler, apartmanlar, özel mülkler, kamu alanları, park alanları	Müstakil evler, apartmanlar, özel mülkler, kamu alanları, park alanları, caddeler, bağlantı geçiş noktaları	Müstakil evler, apartmanlar, özel mülkler, kamu alanları, park alanları, caddeler, bağlantı geçiş noktaları, şehirler arası otopanlar, topluma açık alanlar

### 2.1.2. Harici Şarj Yöntemi (Off-board Charging Methods)

Seviye 4 olarak bilinen bu yöntemde EA'lar harici bir şarj cihazı ile ana güç şebekesine bağlanmaktadır [25]. Bu yöntem DA şarj yöntemidir ve şarj cihazı aracın dışındadır. Şarj cihazına bataryanın türü ve şarj durumu bilgilerini göndermek için iletişim bağlantısı vardır. Bataryaya 400A ve 500V DA'ya kadar yüksek gerilim sağlayabilmektedir. 20-30dk kadar kısa bir sürede şarj edebilen bu teknoloji SAE J1772 Combo standardı ve Japon CHAdeMO standardı tarafından yönetilmektedir. SAE J1772 Combo standardı maksimum gücü 100kW (500V DA'da 200A) olarak belirtirken, CHAdeMO standardı tarafından belirlenen maksimum şarj gücü ise 62kW (500V DA'da 125A)'dır. Bu tarz hızlı şarj istasyonları çok yüksek güç ve elektronik cihazlar gerektirmektedir [7].

## 2.2. Kablosuz (Endüktif) Şarj Yöntemi (Wireless Charging Methods)

Kablosuz şarj olarak da bilinen endüktif şarj EA bataryasına güç aktarmak için elektromanyetik dalgalar kullanılmaktadır [1]. Araç, zemine yerleştirilen şarj yuvasının üstüne park edildiğinde şarj işlemi kendiliğinden başlamaktadır [18]. Bu yöntemde gücü aktarmak için ana topraklama bobini (verici) ve ikincil bobin arasındaki hava boşluğunda değişken manyetik alan kullanılmaktadır [26]. Böylece şarj etme işlemi basitleştirilerek elektronik devrelerde oluşacak gürültü/ parazit vb gibi olumsuz etkiler azaltılarak [27] batarya ömrünün uzaması sağlanmaktadır. Bataryaya gönderilen AA güç bataryayı şarj etmek ve manyetik rezonans sisteminin verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır [28]. Bu sistemin frekansı 20-100kHz arasında [1] değişmektedir ve sistemdeki dönüştürücü %90'a varan verimle çalışabilmektedir [17]. Kablosuz şarj yöntemi statik ve dinamik şarj yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır.

### 2.2.1. Statik Şarj Yöntemi (Stationary Charging Methods)

Bu yöntem sabit şarj yöntemi olarak da bilinmektedir [29]. Şebeke gücünden yerleşik batarya girişine kadar ölçülen statik şarj cihazının sistem verimliliği %85-93 arasında değişmektedir. Fakat hava aralığının olduğu deneysel prototip sistemleri için verimlilik %95-98 olarak gözlenmiştir [30]. Birincil bobin, güç dönüştürücüleri ile zeminin altına monte edilmektedir. Alıcı bobin veya ikincil bobin normalde EA'ların ön, arka veya ortasının altına monte edilmektedir. Enerji, güç dönüştürücü kullanılarak AA'dan DA'ya dönüştürülür ve bataryaya aktarılır. Güç kontrolü ve batarya yönetim sistemleri herhangi bir güvenlik sorunundan kaçınmak ve birincil taraftan geri bildirim alabilmek için kablosuz iletişim ağına sahiptir. Şarj süresi şebeke gücüne, batarya boyutlarına ve iki sargı arasındaki hava boşluğu mesafesine bağlıdır. Bu şarj cihazı park alanlarına, otoparklara, evlere ve alışveriş merkezi vb. gibi yerlere kurulabilmektedir [29].

### 2.2.2. Dinamik şarj yöntemi (Dynamic Charging Methods)

Hareket halindeki EA'ları şarj etmek için kullanılan bir yöntemdir. Menzili artırmak için EA'ların oldukça sık şarj edilmesi veya daha büyük bir batarya kullanmaları gerekir ki bu da maliyet ve ağırlık gibi ek

sorunlara yol açmaktadır. EA'yı sık sık şarj etmek ise ekonomik değildir. Bu yöntem EA'lardaki menzil ve maliyet ile ilgili bazı sorunları azaltabilecek bir teknolojidir [29]. Verici bobinlerinin ve güç kaynaklarının önceden belirlenmiş güzergahlara konumlandırılması gerekmektedir [31]. Buradaki temel problem ise elektromanyetik alan şiddetinin mesafe arttıkça azalmasıdır [32].

### 2.3. Batarya Değişirme Yöntemi (Quick Drop Methods)

Bu yöntem EA kullanıcılarının boş bataryalarını tamamen şarj edilmiş bir batarya ile değiştirebilecekleri bir yöntemdir [1]. Batarya şarj süresi saatler alabildiğinden dolayı şarj dolumu sırasındaki uzun bekleyiş vakit sıkıntısı olan kişiler için sorun oluşturmaktadır [21]. Batarya değişirme yönteminin uzun batarya ömrü, düşük kullanım süresi ve düşük işletme maliyeti gibi avantajları vardır [17]. Batarya değişirme tesisleri dağıtım transformatörleri, AA-DA dönüştürücüler, batarya şarj cihazları, bataryalar, robotik kollar, şarj rafları, bakım sistemleri, kontrol sistemleri, takas ve şarj ile ilgili diğer cihazlardan oluşmaktadır [33, 34]. Batarya değişirme sisteminin en önemli avantajlarından biri V2G özelliğine sahip olmasıdır [1].

## 3. HIZLI ŞARJ YÖNTEMLERİ (SEVİYE 3 VE SEVİYE 4) (FAST CHARGING METHODS (LEVEL 3 AND LEVEL 4))

EA'lar elektrik elektronik sektöründe yeni bir boyut oluşturmuştur. Bu yeni teknolojiyi tüm dünyada aynı şekilde kullanabilmek için her yönünü standartlaştırmak gerekmektedir [35]. Buna göre IEC standartlarında seviye 3 (AA) ve seviye 4 (DA) hızlı şarj olarak bilinirken, seviye 4 şarj istasyonu MW değerlerinde bir şarj kapasitesi gerektirebilmektedir. Hızlı bir şarj istasyonundan beklenen özellikler aşağıda sıralanmıştır.

Şebeke desteği: Hızlı şarjın MW cinsinden güç talebinin sebep olduğu sorunları gidermek için şarj istasyonu ortak bağlantı noktası gerilimini korumak ve gerilim kararsızlığını önlemek için şebekeye reaktif güç gönderebilmelidir. Şebeke desteği reaktif ve/veya aktif gücün şebekeye geri gönderilmesine bağlı olduğundan şarj istasyonu için V2G topolojisine sahip olması önem arz etmektedir [5].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu: Yenilenebilir enerji kaynakları şarj istasyonuna kısmen de olsa şarj gücü sağlayabilmektedir. Böylece güç sisteminden çekilen güç miktarı azaltılarak tepe yük, aşırı yük ve gerilim düşümü gibi EA şarjı ile ilgili bazı problemler giderilmiş olunur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sistemi olarak kullanıldığı ve V2G topolojinin uygulandığı şarj istasyonları önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamaktadır [5].

Güç yoğunluğu: Kullanılabilir toplam gücün şarj istasyonunun kapladığı alana oranı olarak tanımlanmaktadır [5]. Hızlı şarj istasyonu sayısı artmaya devam ettikçe şebekeye olumsuz etkilerin önlenmesi için yüksek kapasiteli elektrik altyapısına yakın hızlı şarj istasyonları yerleştirilmelidir. Böylece, güç yoğunluğunun kontrol edilmesi sağlanabilecektir [36].

Hücresel ağ: İstasyonlar yoğun talep ve V2G topolojisi gibi durumlarda hücresel ağ ve internet erişimi gerektiren iletişime bağlı olduğundan bu istasyonların akıllı şebeke ile iletişim halinde olması gerekmektedir. Bu iki tesisin bir şarj istasyonunda bulunmasıyla hem EA'nın ihtiyaçları karşılanır hem de şebeke desteği sağlanabilmektedir [37].

Şarj istasyonlarının yerleşimi: EA şarj istasyonlarının verimli çalışmasını, gelecekteki yatırım ve destekleri sürdürmek için oldukça önemlidir. Şarj istasyonlarının planlanan konumlara yerleştirilmesiyle yatırım kazancı en üst düzeye çıkarılır ve elektrik şebekesi üzerindeki stres en aza indirilir [38].

Güvenlik: Sistemdeki güç elektroniği cihazları ve kontrol sistemlerinin karmaşıklığı sistem güvenliği için risk oluşturmaktadır [5]. İlaveten, şarj istasyonlarının hava koşullarına ve kaza riskine karşı güvenlik önlemleri de dikkate alınmalıdır.

EA şarj istasyonlarının elektrik şebekesine yüklenmesiyle birçok güç kalitesi problemi oluşmaktadır. Ayrıca, AA gücünü DA gücüne dönüştürürken harmonikler oluşmakta ve bu harmonikler şebekenin güç kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle EA'ların şarj edilmesi sırasında IEEE-519 güç kalitesi standartlarına uyulması gerekmektedir. IEEE-519 standartlarına göre seviye 1 istasyonunda THB değeri

%15'ten az veya eşit olmalıyken, seviye 2 istasyonunda %12'den az veya eşit, seviye 3 ve seviye 4 istasyonlarında ise %8'den az olmalıdır [39].

Bazı EA modellerine ait farklı seviyedeki şarj süreleri Tablo 3'te oluşturulmuştur.

**Tablo 3. EA'ların Farklı Seviyedeki Şarj Süreleri**

Marka	Batarya tipi ve enerji	En yüksek menzil	Konnektör tipi	Seviye 1		Seviye 2		Seviye 4		Kaynak
				Güç	Süre	Güç	Süre	Güç	Süre	
TOGG SUV	Li-Ion 120Ah Hücre 85,2kW/s Li-Ion 150Ah Hücre 106,5kW/s	300- 500km	IEC 62196-2 CHAdeMO	test aşaması	test aşaması	test aşaması	30 dk'dan az (%80)	DA 125A 50kW	test aşaması	[40]
RENAULT ZOE	Li-Ion 41kW/s	403km	EC 62196-2 Duvar tipi CHAdeMO	test aşamasında	test aşaması	14kW (380V)	2,5s	test aşaması	test aşaması	[41]
BMW İ3	Li-Ion 33,2kW/s	260km	BMW Duvar tipi CHAdeMO	test aşaması	test aşaması	11kW (380V)	3s (%80)	DA 125A 50kW	39dk (%80)	[42]
Mercedes EQC SUV	Li-Ion 80kW/s	354km	Mercedes Duvar tipi CHAdeMO	test aşaması	test aşaması	9,6- 16,8kW	8s	DA 125 A 50kW	40dk	[43]
Nissan Leaf	Li-Ion 40kW/s	241km	SAE J1772/IEC 62196-2 CCS Combo1	test aşaması	test aşaması	6kW	8s	DA 125A 50kW	40dk (%80)	[44]
Toyota RAV4	Li-Ion 40kW/s	160km	EC 62196-2 Duvar tipi SAE J1772	1,9kW	17s	9,6kW	3,35s	DA 125A 50kW	64dk	[45]
TESLA MODEL x	Li-Ion 100kW/s	528km	Tesla HPWC, Tesla supercharger	1,8kW	35s	9,6- 16,8kW	10s	DA 125A 50kW	30dk (%80)	[46]
AUDI e-TRON	Li-Ion 95kW/s	400km	IEC 62196-2 CHAdeMO CCS	test aşaması	test aşaması	11-22kW	4-9s	DA 125A 50kW	30dk	[47]
Jaguar I-Pace	Li-Ion 90kW/s	470km	connector tip-2 ve Hızlı şarj	3,7kW	30s	22kW	13s	DA 125A 150kW	45dk	[48]
Tesla Roadster	Li-Ion 53kW/s	340km	Tesla HPWC, Tesla supercharger	1,8kW	21s	16,8kW	2,2s	DA 125A 150kW	37dk	[49]
Honda-e	Li-Ion 35,5kW/s	200km	CCS connector- IEC 62196	2,3kW	16,30s	22kW	5,45s	DA 150kW	31dk	[50]
Peugeot e-280	Li-Ion 47,5kW/s	295km	CCS Connector- IEC 62196	2,3-3,7kW	24-15s	22kW	5s	DA 150kW	28dk	[51]

Tüm dünyadaki ülkeler EA teknolojisine uyum sağlayabilmek için planlamalar yapmaktadır. Tablo 4' te EA kullanımını artırabilmek için hızlı şarj istasyonu kurulum projeleri verilmiştir.



**Tablo 4. Ülkelerin EA Hızlı Şarj İstasyonu Projeleri**

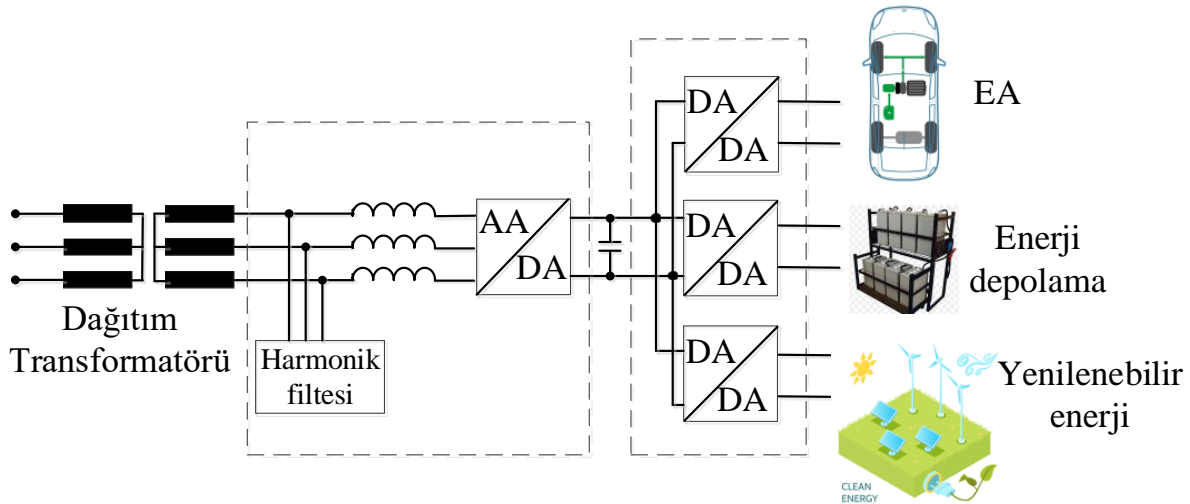
Ağ Adı	Bölge	Hızlı şarj istasyonu sayısı	Şarj gücü	Zaman çizelgesi	Kay.
ULTRA E	Avrupa	25	350kW	2016 -2019	[52]
VOLTRUN	Türkiye	156	50kW	2017 -2020	[53]
IONITY	Avrupa	400	350kW	2017 -2020	[54]
Çin Devlet Şebeke Şirketi (State Grid Corporation of China)	Çin	11.000	belirtilmemiştir	2017- devam	[55]
ABB	Endonezya	belirtilmemiştir	20kW	2019-2025	[56]
Electrify America	Amerika	2.000'den fazla	50kW-350kW	2016-2020	[57]
Mega -E	20 Avrupa ülkesi	322	350kW	2018- 2025	[58]
Next- E	Batı Avrupa	252	50kW-350kW	2017- devam	[59]

### 3.1. Hızlı Şarj İstasyonu Topolojileri (Fast Charging Station Topologies)

Literatürde, yukarıda belirtilen bazı özellikleri sağlayabilen ve aşağıdaki gibi üç kategoride sınıflandırılabilen hızlı şarj istasyonları için çeşitli topolojiler önerilmektedir [5].

#### 3.2.3.2.1. AA/DA/DA dönüştürücülü topoloji (Topologies with back to back AC/DC/DC Converters)

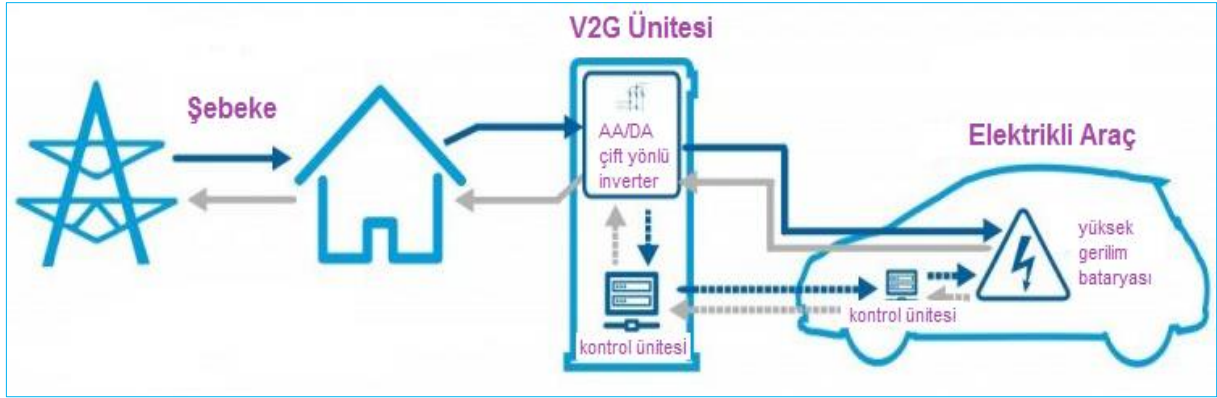
EA güç kaynağının farklı DA enerji kaynaklarından (süper kapasitör vb.) beslenmesi durumunda en az bir tane DA/DA dönüştürücüye ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliğini artırmak ve hızlı şarjın dağıtım şebekesi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için bu topolojiler kullanılabilir [5]. Bu topoloji V2G ve tek yönlü şarj istasyonları olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Şekil 2'de AA/ DA/ DA dönüştürücülü şarj istasyonu gösterilmiştir.



**Şekil 2. AA/ DA/ DA Dönüştürücülü Şarj İstasyonu [5].**

### V2G şarj istasyonları (V2G Charging Stations)

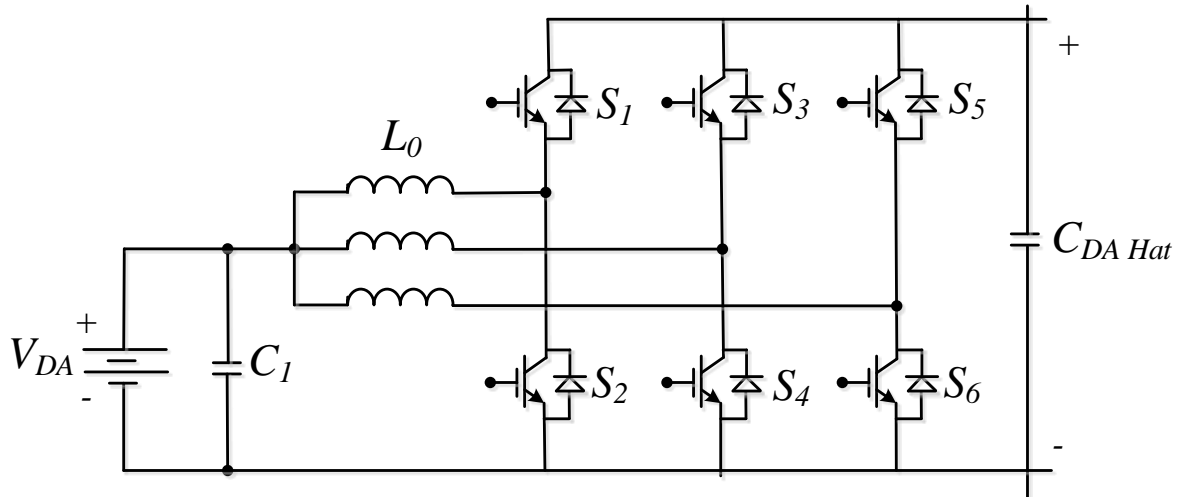
V2G şarj istasyonları EA'ların şebekeye enerji iletimini sağlayan bir sistemdir. Bu sistem şarj-deşarj çalışma modundan kaynaklanan şebeke üzerindeki olumsuz etkileri azaltmaya yardımcı olur. V2G'nin bağlantı-bağlantı kesme, yumuşak başlatma-durdurma, otomatik şarj-deşarj ve rampa hızı işlevleri gibi çeşitli akıllı şarj topolojileri bulunmaktadır. Bu sistem tepe akımı endüktörleri sebebiyle yavaş çalışır ve bu durum şarj istasyonu maliyetini artırmaktadır. Genel olarak iki aşamadan oluşmaktadır; 1- Şebekeye bağlı iki yönlü AA/DA dönüştürücü ve 2- iki yönlü bir DA/DA dönüştürücüdür. V2G şarj istasyonlarının şarj vedeşarj olmak üzere iki çalışma şekli bulunmaktadır [60, 61].



Şekil 3. V2G Şarj İstasyonu [62]

Bu topoloji EA kullanıcılarına daha düşük şarj maliyeti, daha düzgün çıkışı gerilimi ve gerilim kararlılığı sağlamaktadır [63]. Çok sayıda EA'nın dağıtım şebekesinden beslenmesi durumunda düşük gerilim geçişlerinde arızalar oluşabilmektedir. Bu gibi durumlarda şebekeye destek vermek için V2G şarj istasyonlarının kullanılmasıyla arızalara engel olunabilmektedir [64].

Şekil 4'te V2G'ye ait DA/DA dönüştürücü topolojisi gösterilmiştir.



Şekil 4. V2G DA/DA Dönüştürücü [65]

V2G şarj istasyonları aynı anda birden fazla EA'nın şarj olmasını imkan sağlamaktadır. Bu konuda Arancibia ve ark.[66] 1050kVA gücünde ve 10 girişli bir V2G şarj istasyonu tasarlamışlardır. Bu şarj istasyonunu güçlü bir orta gerilim dağıtım şebekesine bağlanmışlar ve maksimum 900kW şarj yükü ile yüklendiğinde iyi bir performans gözlemlemişlerdir.

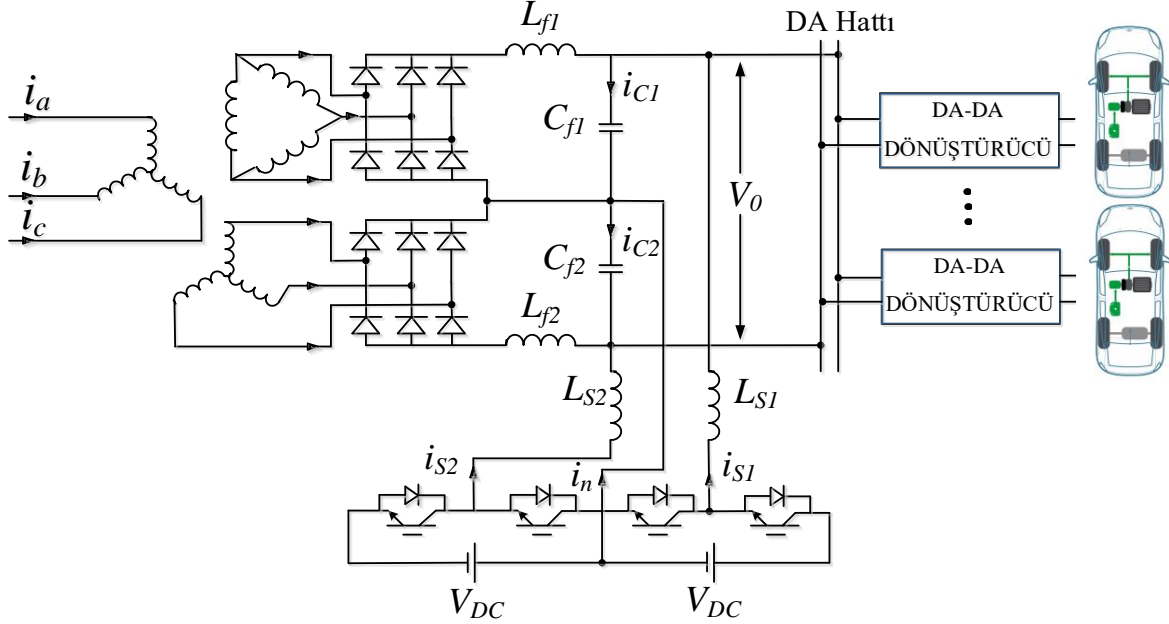
Bu istasyonlar akıllı şebekeler ile de uyumlu çalışabilmektedir. Öyle ki V2G güç alışverişi amacıyla akıllı evleri, otoparkları ve hızlı şarj istasyonlarını kullanabilmektedir. EA şarj istasyonlarının V2G şarj modunda verimli çalışabilmesi için orta gerilim şebekesine bağlanması gerekmektedir. Akıllı şebekelerle ortak çalışma durumlarında V2G şarj istasyonları dahili kapasitörlerini kullanarak şebekeye reaktif güç sağlamaktadır. V2G şarj istasyonlarının çalışma verimlerini artırma imkanları vardır [67]. Bu sistemin en büyük dezavantajı dögüsel şarj ve deşarj nedeniyle oluşan batarya ömrünün kısılmasıdır [68].

#### Tek yönlü şarj istasyonları (Unidirectional Charging Stations)

Tek yönlü şarj istasyonları yalnızca şebekeden güç çekebilmektedir, yani şebekeye güç desteği sağlayamamaktadırlar. Bu topolojinin avantajları arasında boyut, ağırlık ve düşük maliyet sıralanabilmektedir [60]. Aynı zamanda, bu topoloji EA'ların elektrik şebekesinden şarj edildiği yöntem

olan şebekeden araca (G2V) şarj modunu desteklemektedir. Bu özellikleri sayesinde sistemin güvenilirliği artmaktadır [69].

Şekil 5'te tek yönlü AA/ DA/ DA dönüştürücülü şarj istasyonu gösterilmiştir.



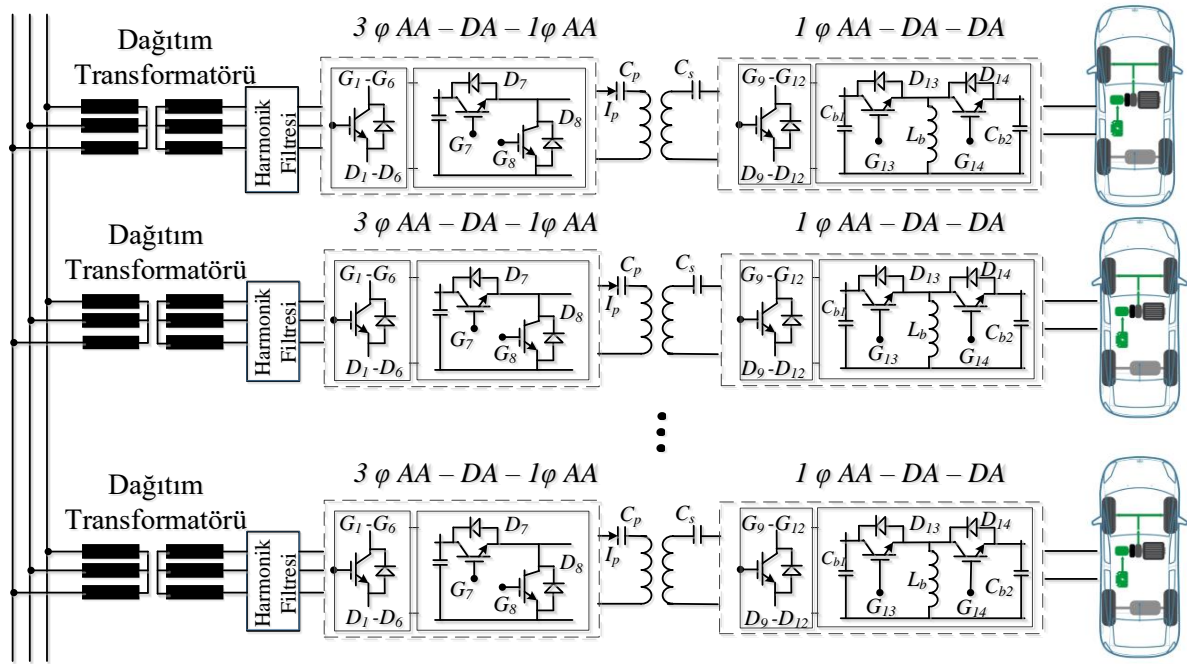
Şekil 5. Tek Yönlü AA/ DA/ DA Dönüştürücülü Şarj İstasyonu [5]

Şekil 5'te gösterildiği gibi bu topolojiye ait DA gerilimi iki DA-DA dönüştürücüsü tarafından kontrol edilmektedir. Bu dönüştürücüler kontrolsüz doğrultucu tarafından üretilen AA akım harmoniklerini ortadan kaldırmak için aktif filtreleme görevi de üstlenmektedir. Bu topolojideki enerji depolama işlemi kapasitörlerin yerine DA-DA dönüştürücülerin DA bağlantısındaki bataryalarla gerçekleştirilmektedir. Dönüştürme işlemi maliyeti azaltmak için diyot doğrultucu ile gerçekleştirilmektedir. Bu durum MW şarj gücü gerektiren hızlı bir şarj istasyonu için gerilim düşümü sorunu ile karşılaşıldığında telafisinin yapılamayacağı anlamına gelmektedir. Tek yönlü olan bu topolojide şebeke destek özellikleri bulunmamaktadır [5].

### 3.2.2. Ortak AA bağlantılı çok noktalı topoloji (Multiport Stations with common AC link)

Bu topoloji uygulama açısından gayet basit olup içeriğindeki dönüştürücünün düşük gerilim şebekelerinde kullanılmasına imkan tanımaktadır. Dahası, yüksek verimli anahtarlama ve koruma cihazları ile daha hızlı şarj edebilme imkanı sağlamaktadır [8]. Ahmadi ve ark. [5] yaptıkları çalışmada üç fazlı 50Hz AA gerilimini ara bir DA gerilimine dönüştürmektedir. Daha sonra oluşan bu DA gerilimi yüksek frekanslı 25kHz AA gerilimine dönüştürülmekte ve yüksek frekans gerilimi EA şarj cihazına aktarılmaktadır. Bu topolojinin önemli avantajlarından biri olarak V2G teknolojisinin aynı anda birden fazla EA'ya şarj imkanı sağladığını belirtmişlerdir. Joy ve ark. [70] ise V2G ve G2V şarj durumlarında çalışabilen ortak AA bağlantılı çok noktalı bir şarj istasyonu tasarlamışlardır. Tasarladıkları çok noktalı çift yönlü temassız şarj topolojisini farklı batarya değerlerine sahip beş EA ile test etmişler ve başarılı sonuçlar gözlemlemişlerdir.

Şekil 6'da ortak AA bağlantılı çok noktalı topoloji gösterilmiştir.



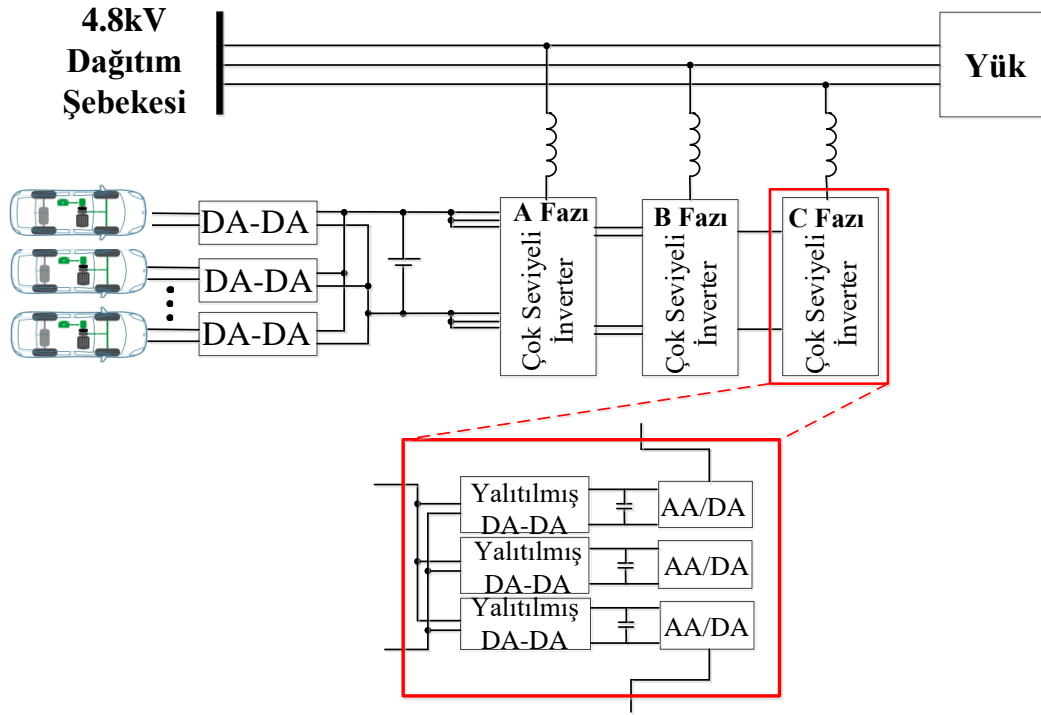
Şekil 6. Ortak AA Bağlantılı Çok Noktalı Topoloji [5]

Şekil 6'da gösterildiği gibi her bir şarj cihazında sistemin verimliliğini ve güvenilirliğini artıran özel bir cihaz seti bulunmaktadır. Bu topoloji hızlı şarj işlemi gerçekleştirmek için tasarlanmıştır ve birden fazla sayıda EA'yı şarj edebilmektedir [5].

### 3.2.3. Transformatörsüz topoloji (Transformerless Charging Stations)

Transformatörsüz topoloji hat transformatörünün şarj istasyonundan çıkarılmasıyla oluşturulmuş bir topolojidir. Bu topolojinin temel amacı şarj istasyonunun güç kapasitesini artırmaya çalışmaktır. Normal koşullar altında hat transformatörü kullanmadan gerilim seviyesini düşürmek için dönüştürücünün iki farklı bağlantı seçeneği vardır. İlk seçenek şarj istasyonunu düşük gerilim şebekesinden beslemektir. Fakat, bu teknikte yüksek akım çekilmesi nedeniyle yüksek iletim kaybı oluşmaktadır. İkinci seçenek ise şarj istasyonunu doğrudan bir orta gerilim şebekesinden besleyerek şarj akımlarının genliğini azaltmaktır [71,72].

Şekil 7'de orta gerilim kademeli çok seviyeli invertör kullanılmasıyla gerçekleştirilen ikinci seçenek gösterilmiştir.



**Şekil 7.** Çok Seviyeli Dönüştürücülü Topoloji [5]

Şekil 7’de görüldüğü gibi şarj istasyonu doğrudan 4,8kV’luk bir şebekeye bağlanmıştır. Dağıtım şebekesi ve her ara aşama çok seviyeli dönüştürücü gruplarından (AA/DA/DA) meydana gelmektedir. Enerji depolanması için kapasitörlerin yerine DA tarafında batarya grupları kullanılmıştır, ki bu topolojinin en önemli özelliğidir. EA’nın şarj edilmediği durumlarda enerji bu batarya gruplarına depolanmaktadır. Fakat, bu topolojide hat transformatörü yerine birkaç tane çok seviyeli dönüştürücünün kullanılması ve aynı zamanda batarya gruplarının eklenmesiyle şarj istasyonunun şebekeye olan olumlu/olumsuz etkileri olabilecektir [5].

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada EA şarj istasyonlarının yapısı, işleyişi ve gerekliliğinden bahsedilmiştir. Dünyadaki toplam EA artışı ile birlikte ihtiyaç duyulan şarj istasyonlarının şarj süreleri, şarj kapasiteleri, şebeke güvenlikleri ve güç kaliteleri araştırılmıştır.

Uygulamadaki şarj istasyonu teknikleri kablolu şarj, kablosuz (endüktif) şarj ve batarya değiştirme olmak üzere üç ana bölüme ayrılmıştır. Kablolu şarj kendi içinde dahili şarj ve harici şarj olarak ayrılırken, kablosuz (endüktif) şarj kendi içinde statik şarj ve dinamik şarj olarak alt sınıflara ayrılmıştır. Dinamik şarj yönteminde araç hareket halindeyken şarj edebilme özelliği vardır, ki bu özellik EA kullanıcıları için büyük bir kolaylıktır. Dahili şarj yöntemi ise üç alt seviyeye (seviye 1, seviye 2, seviye 3) ayrılırken, harici şarj diğer bir isimle seviye 4 olarak tanımlanmıştır. Bu modellerden seviye 1 ve seviye 2 yavaş şarj (AA) istasyonu, seviye 3 hızlı şarj (AA) istasyonu ve seviye 4 ise hızlı şarj (DA) istasyonu olarak tanımlanmıştır.

EA’ların gelecek teknolojilerine uyum sağlayabilmesi için hızlı şarj istasyonlarının (seviye 3 ve seviye 4) bir hayli önemli olduğu görülmüştür. EA kullanıcıları uzun süren şarj sürelerine karşı zaman tasarrufu sağlayabilmek için hızlı şarj istasyonlarına yönelmektedirler. Bu durumda bu istasyonların kullanıcı/şebeke güvenliği, sistem kararlılığı ve enerjinin verimli kullanımı açısından IEC standartlarına uygun tasarlanması gerekmektedir.

Seviye 4 modelinin MW’lar seviyesinde şarj kapasitesine sahip olması elektrik şebekeleri için bir tehdit unsuru olarak görülmüştür. Güç talebinden kaynaklanan sorunları gidermek, şarj istasyonu ortak bağlantı noktası gerilimini korumak ve gerilim kararsızlığını önlemek için şebekeye reaktif güç göndermek bu tehdide karşı alınabilecek önlemler arasında yer almaktadır. Diğer bir önlem ise hızlı şarj istasyonu

topolojilerinden olan V2G şarj yönteminin kullanılmasıdır. Araştırmalarda V2G topolojisinin kullanımıyla büyük miktarda enerji tasarrufu sağlandığı ve yenilebilir enerji kaynaklarıyla uyumlu çalışabildiği görülmüştür. Bekleme ve şarj sürelerinin kontrolünün sağlanması ile maksimum sayıda EA'nın şarj istasyonuna bağlanarak maksimum verimle enerji tasarrufu sağlayabildikleri görülmüştür. Fakat V2G istasyonlarının maliyeti oldukça yüksektir ve bu yöntemin verimliliğini artırabilmek için ortak AA bağlantılı çok noktalı topoloji ile birlikte kullanılması önerilmektedir. Bu sayede şarj istasyonu aynı anda birden fazla EA'yı şarj edebilecek kapasiteye ulaşmış olacaktır. Ayrıca, bir şarj istasyonunun tasarımı kadar doğru yere konumlandırılmasının da enerji verimliliği açısından önemli bir etken olduğu sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] 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.
- [2] Maggetto, G., & Van Mierlo, J. (2000). Electric and electric hybrid vehicle technology: a survey. *IEE Seminar Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles*, Durham, UK, pp. 1/1-111.
- [3] Rnstvik, H. N. (2013, November). Norway's electric vehicle deployment success. A historical review including plans for fast charging stations covering all of the country-By 2015. In *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)* (pp. 1-10). IEEE.
- [4] Tu, H., Feng, H., Srdic, S., & Lukic, S. (2019). Extreme Fast Charging of Electric Vehicles: A Technology Overview. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*.
- [5] Ahmadi, M., Mithulananthan, N., & Sharma, R. (2016, September). A review on topologies for fast charging stations for electric vehicles. In *2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)* (pp. 1-6). IEEE.
- [6] Ng, T. W., Liu, J. F., & Cheng, K. W. E. (2011, June). A review of international charging coupler standards and its availability in Hong Kong. In *2011 4th International Conference on Power Electronics Systems and Applications* (pp.1-4). IEEE.
- [7] Angelov, G., Andreev, M., & Hinov, N. (2018, May). Modelling of electric vehicle charging station for DC fast charging. In *2018 41st International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)* (pp. 1-5). IEEE.
- [8] Ronanki, D., Kelkar, A., & Williamson, S. S. (2019). Extreme Fast Charging Technology—Prospects to Enhance Sustainable Electric Transportation. *Energies*, 12(19), 3721.
- [9] Sahoo, J. K., & Mathew, A. T. (2017, July). Design of a ZCS full-Bridge DC-DC converter for PV based electric vehicle fast charging station. In *2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)* (pp. 1-5). IEEE.
- [10] Domínguez-Navarro, J. A., Dufo-López, R., Yusta-Loyo, J. M., Artal-Sevil, J. S., & Bernal-Agustín, J. L. (2019). Design of an electric vehicle fast-charging station with integration of renewable energy and storage systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 105, 46-58.
- [11] Geske, M., Komarnicki, P., Stötzer, M., & Styczynski, Z. A. (2010, September). Modeling and simulation of electric car penetration in the distribution power system—Case study. In *2010 Modern Electric Power Systems* (pp. 1-6). IEEE.
- [12] Nikitha, L., Anil, L., Tripathi, A., & Nagesh, S. (2017, August). Effect of electrical vehicle charging on power quality. In *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)* (pp. 2149-2153). IEEE.

- [13] Shaarbaf, M. R., & Ghayeni, M. (2018, May). Identification of the Best Charging Time of Electric Vehicles in Fast Charging Stations Connected to Smart Grid Based on Q-Learning. In *2018 Electrical Power Distribution Conference (EPDC)* (pp. 78-83). IEEE.
- [14] Malik, F. H., & Lehtonen, M. (2017, September). Minimization of queuing time of electric vehicles at a fast charging station. In *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)* (pp. 1-6). IEEE.
- [15] Sadeghi-Barzani, P., Rajabi-Ghahnavieh, A., & Kazemi-Karegar, H. (2014). Optimal fast charging station placing and sizing. *Applied Energy*, *125*, 289-299.
- [16] Victor-Gallardo, L., Angulo-Paniagua, J., Bejarano-Viachica, R., Fuentes-Soto, D., Ruiz, L., Martínez-Barboza, J., & Quirós-Tortós, J. (2019, September). Strategic Location of EV Fast Charging Stations: The Real Case of Costa Rica. In *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference-Latin America (ISGT Latin America)* (pp. 1-6). IEEE.
- [17] Ahmad, A., Khan, Z. A., Saad Alam, M., & Khateeb, S. (2018). A review of the electric vehicle charging techniques, standards, progression and evolution of EV technologies in Germany. *Smart Science*, *6*(1), 36-53.
- [18] 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.
- [19] Meissner, E., & Richter, G. (2003). Battery monitoring and electrical energy management: Precondition for future vehicle electric power systems. *Journal of power sources*, *116*(1-2), 79-98.
- [20] Paschero, M., Anniballi, L., Del Vescovo, G., Fabbri, G., & Mascioli, F. M. F. (2013, May). Design and implementation of a fast recharge station for electric vehicles. In *2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics* (pp. 1-6). IEEE.
- [21] Kerem, A. (2014). Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *5*(1), 1-13.
- [22] İnternet: Elektrikli Araç Şarj Modları, Erişim adresi: <https://esarj.com/sarj-modlari>, Son Erişim Tarihi: 12.02.2020
- [23] 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.
- [24] IEC, I. (2010). 61851-1: Electric vehicle conductive charging system-part 1: General requirements,”. *IEC (International Electrotechnical Commission), Geneva, Switzerland*.
- [25] Ricaud, C., & Vollet, P. (2010). Connection method for charging systems—a key element for electric vehicles. *Schneider Electric*.
- [26] Ahmad, A., Alam, M. S., & Chaban, R. C. (2017, June). Efficiency enhancement of wireless charging for electric vehicles through reduction of coil misalignment. In *2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)* (pp. 21-26). IEEE.
- [27] Lukic, S., & Pantic, Z. (2013). Cutting the cord: Static and dynamic inductive wireless charging of electric vehicles. *IEEE Electrification Magazine*, *1*(1), 57-64.
- [28] Karakitsios, I., Karfopoulos, E. L., & Hatziaargyriou, N. (2014). Static and dynamic fast inductive charging: The FastInCharge project concept.
- [29] Panchal, C., Stegen, S., & Lu, J. (2018). Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system. *Engineering science and technology, an international journal*, *21*(5), 922-937.



- [30] Rim, C. T., & Mi, C. (2017). *Wireless power transfer for electric vehicles and mobile devices*. John Wiley & Sons.
- [31] J. Young Jae, K. Young Dae, J. Seungmin, Optimal design of the wireless charging electric vehicle, in: Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 IEEE International, 2012, pp. 1–5.
- [32] Niculae, D., Iordache, M., Stanculescu, M., Bobaru, M. L., & Deleanu, S. (2019, March). A Review of Electric Vehicles Charging Technologies Stationary and Dynamic. In *2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)* (pp. 1-4). IEEE.
- [33] Avci, B., Girotra, K., & Netessine, S. (2015). Electric vehicles with a battery switching station: Adoption and environmental impact. *Management Science*, 61(4), 772-794.
- [34] Zheng, Y., Dong, Z. Y., Xu, Y., Meng, K., Zhao, J. H., & Qiu, J. (2013). Electric vehicle battery charging/swap stations in distribution systems: comparison study and optimal planning. *IEEE transactions on Power Systems*, 29(1), 221-229.
- [35] Das, H. S., Rahman, M. M., Li, S., & Tan, C. W. (2019). Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109618.
- [36] Hall, D., & Lutsey, N. (2017). Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure. *Washington, DC: The International Council on Clean Transportation (ICCT)*.
- [37] Bhattacharjee, S., Batool, S., Nandi, C., & Pakdeetrakulwong, U. Investigating Electric Vehicle (EV) Charging Station Locations for Agartala, India.
- [38] Hatton, C. E., Beella, S. K., Brezet, J. C., & Wijnia, Y. (2009). Charging Stations for Urban Settings the design of a product platform for electric vehicle infrastructure in Dutch cities. *World Electric Vehicle Journal*, 3(1), 134-146.
- [39] Shafad, K. H., Jamian, J. J., & Nasir, S. A. S. (2016, December). Harmonic distortion mitigation for multiple modes charging station via optimum passive filter design. In *2016 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPPC)* (pp. 219-223). IEEE.
- [40] İnternet: Elektrikli araçlar. TOGG elektrikli araç teknik özellikleri, Erişim adresi: <https://togg.com.tr/content/otomobil>, Son Erişim Tarihi: 27.12.2019
- [41] İnternet: Elektirikli araçlar. Renault araç teknik özellikleri, Erişim adresi: <https://www.cdn.renault.com/content/dam/Renault/TR/global-brochures/Renault-Zoe-Zcard.pdf>, Son Erişim Tarihi: 07.02.2020
- [42] İnternet: Elektrikli araçlar. BMW elektrikli araç teknik özellikleri, Erişim adresi: <http://kosifleroto.com.tr/bmw/iserisi/i3/menzilsarj>, Son Erişim Tarihi: 27.01.2019
- [43] İnternet:Editör, Mercedes Benz EQC 400 4 Matic İncelemesi[blog], Erişim adresi: <https://www.arabam.com/blog/otomobil-inceleme/mercedes-benz-eqc-400-4-matic-incelemesi/>, Son Erişim Tarihi: 04.02.2020
- [44] İnternet: Elektrikli araçlar. Nissan elektrikli araç teknik özellikleri, Erişim adresi: <https://www.nissanusa.com/vehicles/electric-cars/20-leaf/features/range-charging-battery.html>, Son Erişim Tarihi: 27.11.2019
- [45] Kirsten Korosec. (2019, 21 November). Toyota's first plug-in hybrid RAV4 piles on the power and fuel efficiency. Erişim adresi: <https://techcrunch.com/2019/11/21/toyotas-first-plug-in-hybrid-rav4-bataryaes-on-the-power-and-fuel-efficiency/>
- [46] İnternet: Elektrikli araçlar. Tesla X elektrikli araç teknik özellikleri, Erişim adresi: <https://www.tesla.com/modelx>, Son Erişim Tarihi: 01.02.2020



- [47] İnternet: Elektrikli araçlar. Audi-e-tron elektrikli araç teknik özellikleri, Erişim adresi: <https://www.audi.com.tr/tr/web/tr/modeller/tron/audi-e-tron.html>, Son Erişim Tarihi: 14.01.2020
- [48] İnternet: Elektrikli araçlar. Jaguar ipace elektrikli araç teknik özellikleri, Erişim adresi: <https://www.jaguar-turkiye.com/compare?carkey1=ipace-s-400a>, Son Erişim Tarihi: 16.12.2019
- [49] İnternet: Elektrikli araçlar. Tesla Roadster elektrikli araç teknik özellikleri, Erişim adresi: <https://www.tesla.com/roadster>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2020
- [50] İnternet: Elektrikli araçlar. Honda-e elektrikli araç teknik özellikleri, Erişim adresi: <https://ev-database.org/car/1171/Honda-e>, Son Erişim Tarihi: 27.01.2020
- [51] İnternet: Elektrikli araçlar. Peugeot-e elektrikli araç teknik özellikleri, Erişim adresi: <https://ev-database.org/car/1168/Peugeot-e-208#charge-table>, Son Erişim Tarihi: 30.01.2020
- [52] İnternet: Elektrikli araçlar şarj istasyonları. Ultra-e şarj istasyon projeleri, Erişim adresi: <https://www.ultra-e.eu/> , Son Erişim Tarihi: 02.02.2020
- [53] İnternet: Elektrikli araçlar şarj istasyonları. Voltron şarj istasyon projeleri, Erişim adresi: <https://www.voltron.com/> , Son Erişim Tarihi: 15.12.2019
- [54] İnternet: Elektrikli araçlar şarj istasyonları. İonity şarj istasyon projeleri, Erişim adresi: <https://ionity.eu/> , Son Erişim Tarihi: 18.12.2019
- [55] İnternet: Xinhua, China's State Grid to install 120,000 public EV charging piles by 2020 [blog], Erişim adresi: <http://www.chinadaily.com.cn/a/201801/16/WS5a5d9072a3102c394518f8bf.html/>, Son Erişim Tarihi: 16.01.2020
- [56] İnternet: Article Jakarta, ABB supports one of the first fast charging stations in Indonesia, Erişim adresi: <https://new.abb.com/news/detail/15148/abb-supports-one-of-the-first-fast-charging-stations-in-indonesia/>, Son Erişim Tarihi: 24.01.2020
- [57] İnternet: Elektrikli araçlar şarj istasyonları. Electrify america şarj istasyon projeleri, Erişim adresi: <https://www.electrifyamerica.com/our-plan> , Son Erişim Tarihi: 25.12.2019
- [58] İnternet: Elektrikli araçlar şarj istasyonları. Allego şarj istasyon projeleri, Erişim adresi: <https://www.allego.eu/business/high-power-charging/>, Son Erişim Tarihi: 30.12.2019
- [59] İnternet: Elektrikli araçlar şarj istasyonları. Next-e şarj istasyon projeleri, Erişim adresi <https://next-e.eu/about.html>, Son Erişim Tarihi: 25.11.2019
- [60] Channegowda, J., Pathipati, V. K., & Williamson, S. S. (2015, June). Comprehensive review and comparison of DC fast charging converter topologies: Improving electric vehicle plug-to-wheels efficiency. In *2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)* (pp. 263-268). IEEE.
- [61] Solanke, T. U., Ramachandaramurthy, V. K., Yong, J. Y., Pasupuleti, J., Kasinathan, P., & Rajagopalan, A. (2020). A review of strategic charging–discharging control of grid-connected electric vehicles. *Journal of Energy Storage*, 28, 101193.
- [62] İnternet: V2G şarj istasyonları. Erişim adresi : <https://www.cleantech.com/ev-charging-software-and-grid-services/>, Son Erişim Tarihi: 11.06.2020
- [63] Kaiser, A., Nguyen, A., Pham, R., Granados, M., & Le, H. T. (2018, June). Efficient Interfacing Electric Vehicles with Grid using Bi-directional Smart Inverter. In *2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)* (pp. 178-182). IEEE.
- [64] Katić, V. A., Aleksandar, M., Dumnić, B. P., & Popadić, B. P. (2019, July). Impact of V2G operation of electric vehicle chargers on distribution grid during voltage dips. In *IEEE EUROCON 2019-18th International Conference on Smart Technologies* (pp. 1-6). IEEE.

- [65] Zhang, J., Lai, J. S., Kim, R. Y., & Yu, W. (2007). High-power density design of a soft-switching high-power bidirectional dc–dc converter. *IEEE Transactions on power electronics*, 22(4), 1145-1153.
- [66] Arancibia, A., & Strunz, K. (2012, March). Modeling of an electric vehicle charging station for fast DC charging. In *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference* (pp. 1-6). IEEE.
- [67] Liu, C., Chau, K. T., Wu, D., & Gao, S. (2013). Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies. *Proceedings of the IEEE*, 101(11), 2409-2427.
- [68] D. C. Erb, O. C. Onar, and A. Khaligh, "Bi-directional charging topologies for plug-in hybrid electric vehicles," in Proc. IEEE Application in Power Electronics Conference, Feb. 2010.
- [69] Prasad R., Namuduri C. and Phillip Kollmeyer, "Onboard unidirectional automotive G2V battery charger using sine charging and its effect on liion batteries". *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2015.
- [70] Joy, T. P., Kannan Thirugnanam, and Pranaw Kumar. "A multi-point Bidirectional Contactless Charging System in a charging station suitable for EVs and PHEVs applications." India Conference (INDICON), 2013 Annual IEEE. IEEE, 2013.
- [71] Wang, S., Crosier, R., & Chu, Y. (2012, March). Investigating the power architectures and circuit topologies for megawatt superfast electric vehicle charging stations with enhanced grid support functionality. In *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference* (pp. 1-8). IEEE.
- [72] Crosier, R., & Wang, S. (2013). DQ-frame modeling of an active power filter integrated with a grid-connected, multifunctional electric vehicle charging station. *IEEE transactions on power electronics*, 28(12), 5702-5716.