Elektrikli araçların elektrik dağıtım şebekesi üzerine etkilerinin incelenmesi

Memduh Emrah Özcan[1*], Bülent Oral[2]

[*1]Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye
[2]Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu yazar e-mail: emrahozcan@comu.edu.tr

Özet

Günümüzde elektrikli araçlar yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Elektrikli araçlar uzun mesafe yol alabilmek için batarya sistemlerinde küçük alanda büyük miktarda yük depo edilmesine ihtiyaç duyarlar. Gelişen batarya sistemleriyle birlikte şarj üniteleri, şart metotları ve şarj istasyonları da gelişmektedir. Günümüzde AC Seviye 1, AC Seviye 2 ve DC Seviye 3 olmak üzere üç farklı şarj istasyonu tipi bulunmaktadır. Farklı otomotiv üreticileri kendi markaları için çeşitli özelliklerde şarj istasyonları geliştirmektedirler. Elektrikli araçların artması ile elektrikli araç şarj istasyonları da hızla artış göstermektedir, özellikle yüksek yük aktarım kapasitesine sahip olan hızlı şarj istasyonlarının kullanılması neticesinde şebekeden talep edilen yük artmaktadır. Bu talep edilen yükün karşılanabilmesi için şebeke beslemesinin yanında araçların da şebekeyi besleyebildiği metotlar geliştirilmektedir. Elektrikli araçlar bulundurdukları bataryalar sebebiyle kapasitif yük olarak davranırlar ve şebekeye bağlanmaları esnasında harmonik oluşturmaktadırlar. Oluşan harmonikler şebeke elektrik kalitesini olumsuz etkilemekte ve kısıtlamalara sebep olmaktadır. Bu çalışmada elektrikli araçların şebekeye bağlanması konusu üzerinde duruldu.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, şarj istasyonları, şarj metotları.

1. GİRİŞ

Elektrikli araçların tarihçesi fosil yakıtlı araçlardan daha eskiye kadar dayanır. Günümüzde kullanılmakta olan elektrikli araçlar üzerinde bulunan parçaların ve araç gereksinimlerinin eskiden beri bilinmesine rağmen elektrikli araçlar uzun süre gelişme gösteremedi. Elektrikli araçların gelişme gösterememelerinin sebebi teknolojik kısıtlamalardır.

Elektrikli araçlar ilerleyebilmek için bataryalarında depo ettikleri yükü kullanırlar. Uzun mesafe yol gidebilmeleri için elektrikli araç bataryalarında küçük alanda büyük miktar yük tutulabiliyor olması gereklidir. Lityum iyon bataryalar elektrikli araçlarda kullanılmaya başlanmadan önce bu durum mümkün değildi ve elektrikli araçların gelişimini dolaylı yoldan kısıtlanıyordu.

Gelişen batarya teknolojisi ile birlikte elektrikli araçlar yaygınlaşmaya başladı, kullanımı artan elektrikli araçlar şarj altyapılarına olan gereksinimleri ortaya çıkardı. Bunu izleyen süreçte ise kullanıcıların hızlı şarj ihtiyaçları ortaya çıktı ve şarj altyapıları farklı revizyonlar ile üst seviyelere ilerlediler. Günümüz şartlarında AC Seviye1, AC Seviye2 ve DC Seviye3 olmak üzere üç farklı şarj istasyonu tipi bulunmaktadır. Bunlara ek olarak farklı otomotiv firmaları kendilerine ait hızlı şarj istasyonlarını geliştirmektedirler. Bu istasyonlara örnek olarak Tesla ve Porsche firmaları örnek verilebilirler.

Artan elektrikli araç şarj istasyonları neticesinde elektrik talebinde hatırı sayılır miktarda bir artış meydana gelmiştir. Özellikle yüksek yük aktarım kapasitesine sahip hızlı şarj istasyonlarının sayısının çoğalması şebekeden talep edilen yükü arttırmaktadır. Ayrıca elektrikli araçların kullanım ve şarj saatlerinin genellikle aynı periyotta olması belirli saatlerde fazladan yük talep artışına sebep olmaktadır. Bu etkiler sebebiyle şebekeden araç beslenmesi metodunun yanında araçların da şebekeyi besleyebileceği tasarımlar gündeme gelmiştir.

Elektrikli araçlar üzerinde bulundurdukları bataryalar sebebiyle şebekeye kapasitif yük olarak bağlanırlar. Elektrikli araçların şarj istasyonlarından beslenmeleri esnasında bataryalar şebeke üzerinde harmonikler oluştururlar. Bu harmonikler şebeke elektrik kalitesini olumsuz etkilemekte ve belirli bir değerin aşılması sonrasında kısıtlamalara sebebiyet vermektedir. Bu yüzden elektrikli araçların şarj edilmeleri yasal olarak SAE ve IEC gibi düzenlemelere tabi tutulmaktadır.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞEBEKEYE BAĞLANMASI

Elektrikli araçlar üzerlerinde bulundurdukları elektrik motorları sebebiyle ilerlemek için elektrik yüküne ihtiyaç duyarlar. Bunun için şarj edilmeleri gerekmektedir. Elektrikli araçların şebekeye bağlanmasında iki farklı metot kullanılmaktadır.

2.1 Şebekeden Araç Beslenmesi

Üzerinde elektrik depo etmek için batarya bulunduran araçlar (sadece elektrikli ve hibrit) şebeke üzerinden yük aktarımı yaparak bataryaları üzerinde elektrik enerjisini depolarlar. Elektrikli araçların ilk olarak kullanılmaya başlanmasından bu yana tercih edilen bu metot günümüzde de kullanılmaktadır. Elektrikli araçlar üzerinde bulunan bataryalar DC gerilim barındırdığı için AC şebeke üzerinden beslenmeleri için öncelikle AC/DC dönüştürücülerin kullanılması gerekmektedir, sonrasında ise DC/DC dönüştürücüler yardımı ile voltaj değerleri istenen seviyelere indirilip yük batarya hücreleri üzerinde dengeli olarak depolanmaktadır. Bu yöntemde aktarım tek yönlü olarak şebeke üzerinden araç üzerindeki bataryalara yapılmaktadır.

2.2 Araçlardan Şebekenin Beslenmesi

Araçlardan şebekeye enerji aktarım metodu düşünüldüğünde akla ilk gelen şebekeye entegre edilebilen elektrikli araçlardır. Bu araç tipleri sadece batarya bulunduran elektrikli araçlar ve hibrit elektrikli araçlardır. Kısacası üzerinde batarya bulunduran ve bunu ilerlemek için kullanılabilen araçlar şebekeye besleme sağlayabilecek olan araçlar olarak değerlendirilebilirler.

Farklı ülkelerde farklı frekans değerlerinde 50-60 Hz çalışabilen tasarımlar yapılsa da genellikle elektrikli araçlar şebeke üzerinde akan 60 Hz AC elektriği batarya hücrelerini şarj etmek için kullanırlar. Fakat V2G (Vehicle to Grid) durumu söz konusu olduğunda araçların şebekesi besleyebilmeleri söz konusu olmaktadır. Önceden bataryalarında depo edilmiş olan yükün araç üzerinden şebekeye geri basılması olayına araçtan şebekeye besleme işlemi (vehicle to grid) adı verilmektedir. Bu işlemin temel olarak yapılabilmesi için araçlar üzerinde bulunan DC-DC dönüştürücüler kullanılmaktadır. Bu dönüştürücülerin V2G beslemeleri esnasında güç faktörü düzeltme görevleri de mevcuttur.

Genel araç kullanım verilerine bakıldığında araçlar gün içerisinde çok fazla kullanılmazlar. Eve ya da işe araç ile gidildikten sonra araçlar uzun saatler boyunca otopark ya da park alanlarında kullanılmak için bekletilmektedirler. V2G şebeke besleme biçimi bu durumda gündeme gelmektedir. Önceden bataryalarda depo edilmiş olan güç gün içerisinde binalarda fazla miktarda güce ihtiyaç duyulduğu anlarda şebekeye geri basılarak enerji talebine karşılık verebilir. Bu işlem için elektrikli araçların bazı şartları sağlaması beklenmektedir;

- Elektrikli araçların iki yönlü güç aktarımına izin verebilmesi
- Elektrik şebekesi ile haberleşebilmesi
- Elektrikli araçların kendi üzerinde batarya kontrol mekanizmaları bulundurması

Elektrikli araçlar kullanılarak şebekenin beslenmesi söz konusu olduğundan genellikle sadece elektrikli araçlar tercih edilirler, hibrit elektrikli araçlar tercih edilmezler. Bunun altında yatan sebep ise hibrit araçlar üzerinde bulunan bataryalarının kapasitelerinin yeteri kadar büyük olmamasıdır.

Gelişen toplumda elektrikli araçların sayısının artışı, bataryaların döngü sayılarının artışı ve batarya kapasitelerinin yükselmesi V2G enerji transferlerinin daha çok gündeme gelmesine ve uygulama alanı bulmasına olanak sağlamaktadır.

3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI

Elektrikli araçlar üzerinde bulunan bataryalar ister evlerde bulunan şarj ekipmanları ile ister şarj istasyonları vasıtasıyla periyodik olarak şarj edilmeleri gerekmektedir [Salman Habib 2014]. Farklı şarj üniteleri ve tipleri elektrikli araçların şarj işlemi için kullanılabilmektedir. Temel olarak şarj ekipmanları arasındaki farklılıklar araca aktarılan besleme akımları ve şarj için kullanılan besleme gerilimi tipleridir (AC veya DC besleme kaynakları kullanılabilir). Elektrikli araç şarj işlemleri genellikle üç farklı akım ve voltaj seviyesinde gerçekleştirilir. Bu şarj seviyeleri; AC Seviye 1, AC seviye 2 ve DC Seviye dir. ABD Enerji Departmanı 2017 verilerine göre ABD genelinde bulunan elektrikli araç şarj istasyonlarından 80% i AC Seviye 2 tipidir [R. Carter 2012].

Elektrikli araç şarj istasyonları kullanıldıkları ülkeler bazında farklı dizayn edilirler. Temelde Kuzey Amerika ve Avrupa olmak üzere gruplanan elektrikli araç şarj istasyonları farklı protokollere uymaları gereklidir. Kuzen Amerikada bölgesi ve bu bölgeye uygun elektrikli araçların uyması gereken standart SAE (Standard of Automotive Engineers) dir. Avrupa ülkeleri veya Avrupa standartlarında elektrikli araçların kullanıldıkları ülkelerde ise elektrikli araç şarj istasyonlarının uymaları gereken standart IEC (The International Electrotechnical Commission) dir [Anamika Dubey 2015].

Tablo 1: Avrupa Standartları Şarj İstasyon Seviyeleri [Anamika Dubey 2015]

Şarj Seviyesi Tipi	Voltaj Seviyesi	Güç Seviyesi
Seviye 1	Tek Faz 230 V AC	4.6 kW a kadar
Seviye 2	Üç Faz 400 V AC	44 kW a kadar
Seviye 3 veya DC Şarj	480 V DC	50 kW - 150 kW

Tablo 2: Kuzey Amerika Sarj İstasyon Seviyeleri [Anamika Dubey 2015]

Şarj Seviyesi Tipi	Voltaj Seviyesi	Güç Seviyesi
Seviye 1	120 V AC	1.8 kW a kadar
Seviye 2	208-240 V AC	19.2 kW a kadar
Seviye 3 veya DC Şarj	480 V DC	50 kW - 150 kW

3.1. AC Seviye 1 Şarj İstasyonları

3.1.1. Kuzey Amerika Tipi

Bu tip şarj istasyonu için 120 V gerilim değerine sahip 15 A veya 20 A değerine kadar akım verebilen ve maksimum 1.44 kW güce ulaşabilen tasarım yapılmıştır. Seviye 1 şarj istasyonları bir arabayı 8-14 saatlik bir şarj işlem sonrasında doldurabilmektedir. Elektrikli araçlar satın alındıklarında beraberlerinde Seviye 1 şarj ekipmanları ile birlikte satılmaktadır, ve bu ekipmanlar monte edilerek evlerde rahatlıkla kullanılmaktadır. Bu tip şarj ünitelerinin en büyük dezavantajı çok uzun şarj süreleridir. Avantajları ise düşük maliyetleridir ve düşük işletme ücretleridir [R. Carter 2012].

3.1.2. Avrupa Tipi

Bu tip şarj istasyonları tek faz beslemeli olup 230 V gerilim değerine sahiplerdir, 20 A e kadar akım ile sistemi besleyebilen ve maksimum 4.6 kW güç değerine ulaşabilen yapıdadırlar [Anamika Dubey 2015]. Seviye 2 ve Seviye 3 tip şarj istasyonları ile karşılaştırıldıklarında araç şarj süreleri daha uzundur.

3.2. AC Seviye 2 Şarj İstasyonları

3.2.1. Kuzey Amerika Tipi

Bu tip şarj istasyonu 208V-240V gerilim değer aralığında çalışmak için programlanmıştır. Genellikle tek fazlı kullanılan bu tip şarj cihazları 40 A e kadar akım ve 10 kW a kadar güç aktarımı yapabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Ortalama olarak bir aracı 4-6 saat arasında doldurabilirler. Bu tip şarj istasyonlarının avantajı farklı müşteri profillerine göre uygun hale getirilebilmeleri ve seviye 1 tipe göre daha hızlı şarj edebilmeleridir. Dezavantajları ise seviye 1 sarj istasyonlarına göre daha yüksek kurulum ve işletme maliyetlerinin olmasıdır [R. Carter 2012].

3.2.2. Avrupa Tipi

Bu tip şarj istasyonu tipinde üç faz beslemeli 400 V gerilim değerine kadar ulaşabilen ve 63 A akım değerine kadar besleme akımı aktarabilen yapı mevcuttur [Anamika Dubey 2015]. Seviye 1 tipine göre daha hızlı Seviye 3 tipi şarj istasyonlarına göre daha yavaş elektrikli araç batarya sistemlerini doldurabilirler.

3.3. DC Seviye 3 Şarj İstasyonları

3.3.1. Kuzey Amerika Tipi

Bu tip şarj istasyonu hızlı şarj istasyonu olarak bilinmektedir. Seviye 3 elektrikli araçları saatler yerine dakikalar içerisinde şarj edecek şekilde tasarlanmıştır. Güç aktarımı esnasında 480 V gerilim ile 400 A akım değerine kadar ulaşabilmektedirler. Genellikle seviye 3 şarj istasyonları şarj süresinin önemli olduğu trafik akışı yoğun olan bölgelere yerleştirilmektedir. Genellikle dakikada 50-70 mil gitmek için gerekecek gücü elektrikli araçlara aktarabilmektedirler. Dakikalar içerisinde araçları doldurabilmeleri onları tercih edilen istasyonlar haline getirmiştir.

Seviye 3 şarj istasyonları elektrikli araçların yaygınlaşmasını destekleyen ve kullanıcılara elektrikli araçları tercih etmeleri konusunda cesaret veren unsurların başında gelmektedir.

ABD genelinde 2016 itibari ile 2200 adet yüksek hızlı seviye 3 şarj istasyonu bulunmaktadır. Dünya çapında önde gelen güç firmalarından olan ABB nin tahminlerine göre 2017 yılında 1 milyar dolar olan şarj istasyonu pazarı 2020 yılında 4 milyar dolar seviyesine ulaşacaktır.

Bu tip şarj istasyonlarının avantajı olarak 20-30 dakika gibi sürelerde hızlı araç şarj edebilmeleri gelmektedir. Dezavantaj olarak ise kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olması gelmektedir. Bir diğer olumsuz etken olarak ise yüksek akım değerlerini araçlara aktardıkları için şebekeden yüksek yük talep etmeleri gösterilmektedir [R. Carter 2012].

3.3.2. Avrupa Tipi

Avrupa tipi DC seviye 3 şarj istasyonları Amerika tipi DC seviye 3 seviye istasyonlar ile benzer özelliklere sahiptirler. Elektrikli araçları şarj etmeleri esnasında 480 V DC gerilim altında 400 A e kadar çıkabilen akım akıtabilmektedirler. Güç olarak ise 50 kW-150 kW arası değerlere sahiptirler [Anamika Dubey 2015].

4. ŞEBEKE ÜZERİNDE OLUŞAN HARMONİK BOZUCU ETKİLER

Bir doğrusal yüke gerilim uygulandığında uygulanan voltaj ile orantılı olarak yük tarafından akım çekilir. Bu akım voltaja benzer şekilde saf sinüs dalgası formunda elde edilir. Doğrusal olmayan yükler söz konusu olduğunda uygulanan gerilim sonucunda çekilen akım değerleri saf sinüs formundan farklı olabilir. Bu bozulmalar farklı frekans değerlerinde Fourier analizi kullanılarak periyodik tamsayılara ayrılarak incelenir. Bu işlem sonucunda elde edilen bu bozulmalara harmonik bozulma ismi verilmektedir [Salman Habib 2014].

Elektrik şebekelerinde yüklerin bağlanması sonucunda oluşan harmonikler güç kalitesini olumsuz etkileyen sorunların başında gelmektedir. Harmonik değişikliklerin hesaplanması, analiz edilmeleri ve önlenme çalışmaları genellikle temel frekans seviyelerinde Fourier Transform metodu kullanılarak yapılmaktadır [Salman Habib 2014].

Tablo 3: Elektrikli Araç (Nissan Leaf) Şarj Harmonikleri Analizi [Nuno Melo 2012]

16 A Normal Şarj İstasyonu Harmonik Akımları		
Harmonik Sırası (n)	**Maksimum İzin Verilen Harmonik Akımı (A)**	**Kaydedilen Maksimum Harmonik Akımı (A)**
Tek Harmonikler		
3	2,30	1,91
5	1,14	0,62
7	0,77	0,35
9	0,40	0,20
11	0,33	0,17
13	0,21	0,14
15	0,15	0,12
Çift Harmonikler		
2	1,08	0,06
4	0,43	0,05
6	0,30	0,04
8	0,23	0,03

Elektrikli araçlar ve elektrikli araç şarj istasyonları hakkında yapılmış olan ölçümler sonucunda 13 A ve 32 A şarj istasyon verileri elde edilmiştir. 13 A akım değerine sahip olan şarj istasyonlarının araç şarjları esnasında şebekeye harmonik bindirmedikleri 32 A akım değerindeki şarj istasyonlarının şebekeye harmonik yük bindirdikleri görülmüştür. 32 A şarj istasyonları vasıtasıyla çok fazla araç şarj edilmesinin şebekeye olumsuz etki bindirebilmektedir [Alexandre Lucas 2015].

Elektrikli araçların şarj istasyonlarına bağlanmaları sonucunda araçlar şebekeye harmonik yükler bindirmektedir. Harmonik oluşumu şarj altyapıları üzerinde olumsuz etkiler doğurmakta, kayıplara sebep olmakta ve şebeke üzerinden şarj edilebilen araç sayısını sınırlandırmaktadır. Ticari araç üretici firmalara tarafından üretilmekte olan araçların hepsi birbirinden farklı batarya kapasitesindedir ve farklı şarj sistemleri ile donatılmış durumdadır bu sebepten her aracın harmonik açıdan meydana getirdiği etkide farklıdır. Yapılmış olan birçok çalışmada farklı araçlar farklı şarj altyapıları ile analiz edilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmalardan olan Nuno Melo ve arkadaşları tarafından Portekiz'de elektrikli araçların şebekeye bağlanmaları ve şarj edilmeleri hakkında çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Nissan Leaf model araç kullanılmış ve analizler IEC6000-4-30 yönetmeliği çerçevesinde Class A metodu kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma için kullanılmış olan şarj istasyonu 16A akım verebilme kapasiteli alternatif akım kaynağıdır. Değerlendirmeler sonucunda ise test için kullanılmış olan aracın şebeke üzerine bindirdiği harmonik etkilerin yasal olarak izin verilen sınırlar içinde kaldığı görülmüştür [Nuno Melo 2012].

Elektrikli araçların şebekeden beslenmeleri sırasında oluşturdukları harmonik değerlerinin ölçülmesi amacıyla IEEE Power&Energy Society (PES) tarafından çalışma yapılmıştır. Deney amacıyla dört farklı elektrikli araç şebekeye bağlı şarj istasyonu vasıtası ile şarj edilmiş ve farklı harmonik seviyeleri için oluşturdukları değerler kayıt altına alınmıştır. Elde edilen harmonik değerlerinin Avrupa ülkelerinde elektrikli araçların uyması gereken IEC61000-3-2 yönetmeliğinde belirtilen 3.derece:2,3 A; 5.derece:1.14 A; 7.derece:0.77 A; 9.derece:0.40 A; 11.derece:0.33 A değerlerin altında olduğu görülmüştür [Lauri Kütt 2012].

Tablo 4: IEEE PES tarafından teste tabi tutulan dört farklı araçtan alınan harmonik dataları [Lauri Kütt 2012]

Harmonik Sırası	Harmonik Frekansı	1 Numaralı Elektrikli Araç: Toplam Harmonik Bozulma Akım Değeri=4.0%		2 Numaralı Elektrikli Araç: Toplam Harmonik Bozulma Akım Değeri=12.2%		3 Numaralı Elektrikli Araç: Toplam Harmonik Bozulma Akım Değeri=3.3%		4 Numaralı Elektrikli Araç: Toplam Harmonik Bozulma Akım Değeri=10.4%	
	Hz	A	Derece	A	Derece	A	Derece	A	Derece
Main	50	9,69	-6	10,2	-13	12,7	-1	10,2	-6
3	150	0,32	8	1,23	107	0,27	-156	0,9	156
5	250	0,077	-25	0,036	117	0,18	149	0,4	178
7	350	0,077	-77	0,042	-163	0,118	-55	0,32	-109
9	450	0,03	34	0,06	121	0,053	-33	0,119	-100
11	550	0,088	82	0,115	160	0,039	110	0,092	159

5. SONUÇ

Elektrikli araçlar üzerinde bulunan batarya sistemlerinin düzenli olarak şarj edilmeleri gerekmektedir. Bu amaçla AC Seviye 1, AC Seviye2 ve DC Seviye 3 olmak üzere üç farklı tip elektrikli araç şarj ünitesi tasarlanmış ve günümüzde tüm dünyada kullanılmaktadır. Elektrikli araç şarj üniteleri kullanıldıkları ülkeler ya da kıtalar bazında elektrik altyapıları sebebiyle değişiklikler gösterebilmektedir. Örneğin Kuzey Amerika ülkeleri için tasarlanmış olan şarj istasyonları ile Avrupa ülkeleri için tasarlanmış olan elektrikli araç şarj istasyonların hem frekans hem de güç aktarım özellikleri bakımından farklıdırlar. Bu sebeple elektrikli araç şarj ünitelerinin tasarımında Avrupa için IEC protokollerine uyulması gerekli iken Kuzey Amerika ülkelerinde SAE protokollerine uyulması gerekmektedir.

Elektrikli araçlar batarya sistemlerinin yük tutması sebebiyle elektrikli araçlar kapasitif yükler olarak değerlendirilirler. Şebekeye bağlanmaları neticesinde şebeke üzerinde harmonik bozulmalara sebep olmaktadırlar. Araçların şebeke üzerinden şarj edilmeleri esnasında oluşturdukları harmonikler temel olarak 3. derece, 5. derece, 7. derece, 9. derece ve 11. derece olarak incelenmektedir.

Yapılmış olan çalışmalarda data setleri olarak farklı araç modelleri kullanılmaktadır. Örneğin Carter ve arkadaşları tarafından yapılmış olan çalışmada 2012 yılında İngiltere'de 32A ve 13A akım verebilen şarj istasyonları kullanılarak dört farklı araç verisi alınmıştır. Araçlarda iki tanesinin ürettikleri harmonik değerlerin yasal sınırlar dahilinde kaldığı iki tanesinin ise yasal sınırları aştığı görülmüştür [R. Carter 2012]. Öte yandan 2012 yılında Lauri Kütt tarafından yapılmış olan çalışmada dört farklı araç kullanılarak yapılmış olan çalışmada elektrikli araçların tümünün ürettikleri harmonik değerlerin yasal sınırlar içerisinde kaldığı ve şebekeye olumsuz etkiler bindirmedikleri görülmüştür [Lauri Kütt 2012].

Elektrikli araç teknolojisinde meydana gelen gelişmeler neticesinde elektrikli araçların şebekeye bindirdikleri harmonik bozulma etkileri kullanılan şarj üniteleri ve araç üzeri şarj ekipmanları ile azaltılmaktadır. Yaygınlaşan elektrikli araçlar neticesinde sayısal artışın şebekede oluşan harmonik bozulmaları arttırmasının önüne geçilmektedir.

KAYNAKLAR

Alexandre Lucas, Fausto Bonavitacola, Evangelos Kotsakis, Gianluca Fulli, Grid harmonic impact of multiple electric vehicle fast charging, Electric Power Systems Research 127 (2015) 13–21, 2015.

Anamika Dubey, and Surya Santoso, Electric Vehicle Charging on Residential Distribution Systems: Impacts and Mitigations, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2015.2476996, 2015.

Lauri Kütt, Harmonic Effects in Electrical Distribution Networks due to EV Charging, 14PESGM2765, National Travel Survey: 2012, 2012.

Nuno Melo, Francisco Mira, Aníbal de Almeida, Joaquim Delgado, Integration of PEV in Portuguese Distribution GridAnalysis of harmonic current emissions in charging points, 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation,Inspec Accession Number: 12476848, DOI: 10.1109/EPQU.2011.6128893, 2012.

R. Carter, A. Cruden, A. Roscoe, D. Densley, T. Nicklin, Impacts of Harmonic Distortion from Charging Electric Vehicles on Low Voltage Networks, EVS International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, Los Angeles, California, May 6 - 9, 2012.

Salman Habib, Muhammad Kamran, Umar Rashid, Impact analysis of vehicle-to-grid technology and charging strategies of electric vehicles on distribution networks e A review, Journal of Power Sources 277 (2015) 205e214, 2014.