

Elektrikli Taşıt Şarj Yüklerinin Şebekeye Etkilerinin Azaltılması Üzerine Bir İnceleme

Ahmet Doğan

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Erciyes Üniversitesi
Kayseri, Türkiye
ahmetdogan@erciyes.edu.tr

Mustafa Alçı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Erciyes Üniversitesi
Kayseri, Türkiye
malci@erciyes.edu.tr

Özet— Ulaşım maliyetlerini azaltması ve doğaya gaz salınımı yapmaması gibi avantajlarından dolayı son yıllarda Elektrikli Taşıt (ET) sayısında önemli bir artış yaşanmaktadır. ET'ler aynı zamanda fosil yakıt kaynakları yetersiz ülkelerin petrolde dışa bağımlılığını azalttığından birçok ülke ulusal çıkarları için ET'yi teşvik etmektedir. ET'ler birçok yönden kazanım sağlamasına rağmen ET sayısının artması elektrik şebekesi açısından bazı sorunlar doğurmaktadır. Araçların iş dönüşü şarj olmaya başlama saatleri genellikle elektrik tüketiminin yüksek olduğu saatlere denk gelmektedir. Tüketimin yüksek olduğu saatlerde ET'lerin de sisteme bağlanarak şarj edilmeleri, özellikle dağıtım sistemleri için risk oluşturmaktadır. ET'lerin sisteme etkisi aynı anda şarj edilen taşıt sayısı, şarj gücü, taşıtın batarya kapasitesi gibi etkenlere bağlıdır. Bu çalışmada farklı bağlantı sayılarındaki ET'lerin, IEEE-13 bara sisteminde oluşturulan bir dağıtım sistemi üzerindeki puant yükleri ve gerilimlere etkisi incelenmekle beraber ET şarj koordinasyonu ile toplu şarjın sisteme olumsuz etkilerinin azaltılması sağlanmıştır. Enerji tüketiminin yüksek olduğu saatlerde şarj yükü, sistem kayıpları ve gerilim düşümleri azaltılmıştır.

Anahtar Kelimeler— Elektrikli Taşıtların Entegrasyonu, Şarj Koordinasyonu, Puant Yüklerin Düşürülmesi, Talep Katılımı

I. GİRİŞ

Elektrikli Taşıtlar (ET) çevreye etkisinin az olmasından ve ekonomik olarak daha makul bir hale gelmesinden dolayı son yıllarda oldukça popüler hale gelmiştir. Paris Deklarasyonu çerçevesinde 2030 yılına kadar global olarak 100 milyon ET ve 400 milyon iki ve üç tekerlekli elektrikli taşıtların yollarda olması hedeflenmektedir. Fosil yakıtlar hususunda kıt kaynaklara sahip olan ülkeler de petrol bağımlılığını azaltma amacı ile ET kullanımını özellikle desteklemektedirler. 2015 yılında toplam 550 bin ET satılmıştır ve kullanımdaki ET oranı bir önceki yıla göre 70% artmıştır. ET pazar payı 1%'in üzerinde olan ülkeler: Norveç, Hollanda, İsveç, Danimarka, Fransa, Çin ve İngiltere'dir. Norveç ET'lerin en yoğun olduğu ülke olarak 2016 yılı itibari ile Pazar payı 22.39% seviyesindedir. Bu kategoride AB ülkeleri arasında Hollanda yaklaşık 10% ile ilk sırada bulunmaktadır. ABD'de ET'nin pazar payı 2010 yılında 0.003% iken bu değer 2016 yılının üçüncü çeyreği için 0.83% olmuştur. ABD'nin en büyük eyaletinde olan Kaliforniya'da bu oran 3.3%'tür [1,2]. ET şarj

istasyonlarının sayısı 2015 yılında tüm dünyada 0.82 milyondan 1.45 milyona çıkmıştır. Bunların 13%'ü kamuya açık şarj istasyonları iken geri kalan kısmı şahsa ait şarj istasyonlarıdır [1]. ET ile ilgili verilen bu istatistikler ET pazar payının ne denli hızla arttığını göstermektedir.

Global teşvik politikaları ile beraber ET sayısındaki bu hızlı artış birçok konuda avantajlar sunduğu gibi ET'lerin şarj işlemi elektrik sistemleri için yeni problemlerin kaynağı olmaya adaydır. ET'lerin şebekeye yoğun bir şekilde dahil olması puant değerlerin artmasına ve yeni puant yüklerin oluşmasına, trafo ve fiderlerin aşırı yüklenmesine ve gerilim çökmelerine neden olabilmektedir [3]. Hatta The Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı (ORNL) artan ET şarj talebinin karşılanabilmesi için her bölgenin ek yeni enerji üretim tesislerine ihtiyacı olduğunu belirtmektedir [4]. [5] ve [6]'da ET şarjından kaynaklanan sistem kayıpları üzerine çalışmalar yapılmıştır. [7]'de bir kaç evi besleyen dağıtım transformatörünün aşırı yüklenmesi problemini üzerine çalışma yürütülmüştür.

ET şarj yüklerinin sisteme etkilerinin azaltılması üzerine çalışmalar son dönemlerde yoğunlaşmıştır. ET'nin potansiyel etkilerinin üstesinden gelmek için farklı şarj stratejileri literatürde sunulmuştur. [8-13]. [14]'de farklı sayılardaki ET için hızlı ve normal şarj uygulanarak sisteme etkileri incelenmiştir. Farklı stratejiler uygulanarak puant yükün azaltılması ve yük faktörünün geliştirilmesi sağlanmıştır.

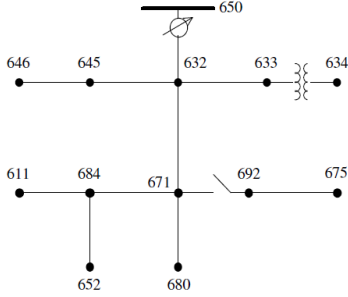
Elektrik şirketleri tarafından elektrik şebekesinin puant değerinin azaltılması için talep katılım programları uygulanmaktadır. Bu programlar çerçevesinde enerji talebinin yoğun olduğu saatler için enerji tüketiminin azaltılması hedeflenmektedir. Puant saatlerinde şebekeye ciddi bir yük getiren elektrikli taşıtların şarjı için talep katılım uygulamasına başvurulmaktadır. [15-18]'de talep yönetim algoritmaları uygulanarak ET şarj yükleri kontrol edilmiştir.

Bu çalışmada 1000 konuttan oluşan bir dağıtım sisteminin benzetimi gerçekleştirilerek şebeke yük profili oluşturulmuştur. Şebekeye farklı oranlarda ET'ler dahil edilerek yük değişimi incelenmiş ve puant saatlerde artan şarj yükleri için bir şarj koordinasyon algoritması sunulmuştur.

II. FİDER YÜK PROFİLİ

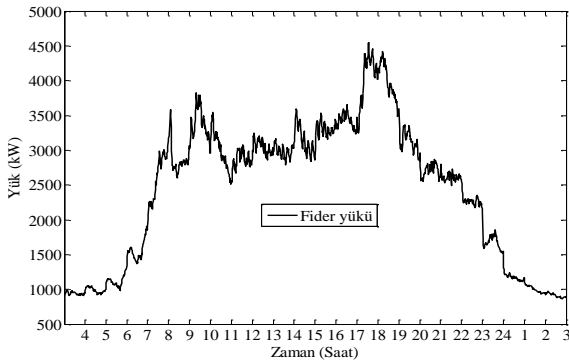
1000 konuttan oluşan dağıtım sistemi yük profili GridLAB-D'de oluşturulmuştur. GridLAB-D, Pacific Northwest Ulusal Laboratuvarı (PNNL) tarafından geliştirilen açık kodlu güç sistem modelleme ve benzetim aracıdır [19]. GridLAB-D yazılımı her bir elektrikli cihazın ve her bir konutun ayrı ayrı güç tüketim profili benzetiminin yapılmasına olanak sağlamaktadır.

1000 konut Şekil-1'de verilen IEEE-13 bara test sisteminde rastgele yerleştirilmiş ve bir yaz günü için benzetimi yapılmıştır. Bu çalışmada dış ortam sıcaklığı olarak ABD'nin Washington eyaletine bağlı Yakima şehrinin yıllık meteorolojik verileri kullanılmıştır.



Şekil-1. IEEE-13 bara test fideri

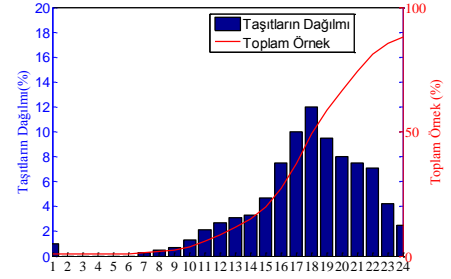
Konutların yüz ölçümleri $150 \text{ m}^2 - 250 \text{ m}^2$ arasındadır, konutlarda yaşayan kişi sayısı ise 2 ile 6 arasında rastgele olarak seçilmiştir. Benzetim için göz önünde bulundurulmuş elektrikli ev cihazları; iklimlendirme sistemleri, su ısıtıcısı, buzdolabı, çamaşır makinası, çamaşır kurutucusu, bulaşık makinası ve ocaktır. Bu cihazların güç tüketimlerinin hesaplanmasında fiziksel modelleri kullanılmıştır. Bununla ilgili daha detaylı bilgi [14] ve [20]'de yer almaktadır. Elektrikli cihazların güç tüketimi ve İklimlendirme sistemi ısıtma ve soğutma ayar noktaları sırası ile $21.1^\circ\text{C} - 23.8^\circ\text{C}$ ve $18.3^\circ\text{C} - 20.5^\circ\text{C}$ arasında her bir konut için rastgele seçilmiştir. Su ısıtıcı ayar noktası ise $45^\circ\text{C} - 55^\circ\text{C}$ arasında rastgele seçilmiştir. Bu şartlar altında 1000 konuttan oluşan test fiderinin yük profili Şekil-2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, sabah saatlerinde sistemden çekilen toplam güç 3822 kW 'a kadar çıkarken, puant yük 17.33 'de 4.546 kW olarak gerçekleşmiştir.



Şekil-2. 1000 konuttan oluşan test fideri yük profili

III. ET ŞARJ YÜKÜ

ET yük profilinin gerçekçi bir şekilde elde edilebilmesi için 2009 yılı ABD Hanelerin Ulusal Seyahat Araştırması'ndan taşıtların günlük seyahat bilgileri kullanılmıştır [21]. Bu çalışmada taşıtların seyahat süreleri dağılımı verilmiştir ve taşıtların günlük seyahat mesafesi 63 km olarak hesaplanmıştır [22]. Araçların işten çıkıp eve ulaşma saatleri dağılımı Şekil-3'de verilmiştir [23]. Araçların 14% 'ü gün içerisindeki hareket etmezken taşıtların 86% 'sı için eve ulaşma verileri elde edilmiştir. Taşıtların yoğunlukla 17-18 saatleri arasında evlerine ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada taşıtların eve ulaşma zamanı 17.30 ortalamasının 1 saatlik standart sapması alınarak Gauss olasılık dağılımı hesaplanmıştır.



Şekil-3. Taşıtların eve ulaşım zamanları dağılımı

Sisteme dahil edilen elektrikli araçların teknik bilgileri Tablo-1'de verilmiştir. Benzetimi için, Nissan Leaf 30% , Smart fortwo 40% ve Mitsubishi i 30% oranında sistemde olduğu farz edilmiştir.

TABLO I. SİSTEMDEKİ ET'LERİN TEKNİK VERİLERİ

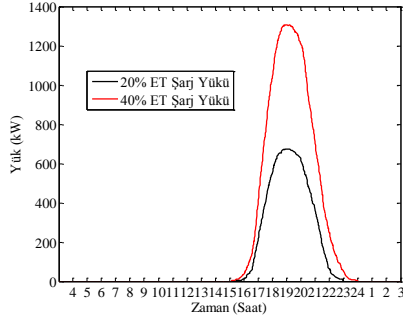
ET Marka ve Model	Batarya Kapasitesi (kWh)	Menzil (km)	Şarj Gücü (kW)	Sistemdeki Toplam ET'ye oranı (%)
Nissan Leaf	30	135	3.6	30
Smart for two	17.6	110	3.3	40
Mitsubishi i	16	100	3.3	30

Eşitlik-1 ve Eşitlik-2 sırasıyla şarj ve deşarj durumunda batarya şarj durumunu ifade etmektedir. Batarya Güncel Şarj Oranı ($BGŞO$) bataryanın güncel enerjisinin batarya kapasitesine oranı olarak ifade edilir. Şarj olurken Batarya Güncel Şarj Oranı ($BGŞO_s$) artmaktadır. Bu değer bataryanın o anki güncel enerjisine (E_g), batarya kapasitesine (B_k), şarj enerjisine (E_s) ve şarj etkinliğine (e_s) bağlıdır. Deşarj olduğunda yani yolculuk sonunda ($BGŞO_{d_s}$) düşmektedir. ($BGŞO_{d_s}$) ise bataryanın güncel enerji durumuna ve batarya kapasitesinin yanında, seyahatin mesafesine (M) ve ET'nin km başına etkinliğine (e_{km}) bağlı olarak değişmektedir.

$$BGŞO_s = \frac{E_g + E_s * e_s}{B_k} * 100 \quad (1)$$

$$BGŞO_{d_s} = \frac{E_g - \frac{M}{2 * e_{km}}}{B_k} * 100 \quad (2)$$

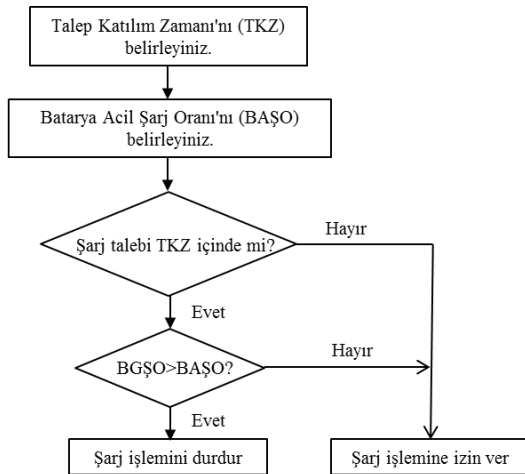
ET toplam konut sayısının 20% ve 40% oranında şebekeye entegre edilmiş ve şarj yük değerleri Şekil-4'de verilmiştir. Bu şekiller herhangi bir koordinasyon sağlanmadan sisteme eklenen ET yüklerini göstermektedir. Bu durumda bütün ET'ler eve ulaşır ulaşmaz şarj olmaya başlar ve bataryaları dolduğunda şarj işlemi sonlanır. ET'ler 18.54'de en yüksek şarj gücüne ulaşmıştır ve 20% seviyesinde şarj gücü 674.7 kW olurken 40% seviyesinde şarj gücü 1306.8 kW olarak gerçekleşmiştir.



Şekil-4. 20% ve 40% ET oranlarında şarj yükü profili

IV. ŞARJ KOORDİNASYONU

Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere ET'lerin şarj işlemi sisteme fazladan ciddi bir yük getirmektedir. Bu yük sisteme dahil olan ET sayısı arttıkça artmaktadır. Birçok aracın eve varış zamanı birbirine çok yakın olmakla beraber elektrik talebinin yoğun olduğu saatlere denk gelmektedir. Bu araçların puant saatlerde toplu halde sistemden yük çekmeleri şebeke için ciddi bir risk oluşturmaktadır ve önemli problemlere neden olabilmektedir. Dağıtım sistemlerinde bu yük çok daha fazla hissedilmektedir. Taşıtların şarj işleminin puant saatlerin dışına taşınması sistemi rahatlatacaktır. Fakat bu işlem ET'ye ihtiyaç duyulan acil durumlar için kullanıcıyı da mağdur etmemelidir. Bu yüzden ET'lerin şarj işleminin taşıt sahibinin acil şarj ihtiyacı göz önünde bulundurularak koordine edilmelidir. Şekil-5'de önerilen Şarj Koordinasyon (ŞK) yönteminin akış diyagramı verilmiştir.



Şekil-5. Önerilen şarj koordinasyonu akış diyagramı

Bu çalışmada elektrik güç tüketiminin yoğun olduğu saatler Talep Katılım Zamanı (TKZ) olarak belirlenmiş ve bu saatlerde ET'lerin şarj işlemine izin verilmesi şartına bağlanmıştır. Bu şart için Batarya Acil Şarj Oranı (BAŞO) belirlenir ve Batarya Güncel Şarj Oranı (BGŞO) bu değere ulaşmaya kadar ET bataryasının şarj olmasına izin verilmektedir. Bu değere ulaştığında ise şarj etme işlemi TKZ bitene kadar bekletilir. TKZ dışında ise ET bataryalarının şarj edilmesine herhangi bir sınırlama getirilmemiştir. Bu işlem her bir ET için ayrı ayrı uygulanmaktadır ve her bir zaman dilimi için tekrarlanmaktadır.

V. ÖRNEK ÇALIŞMA

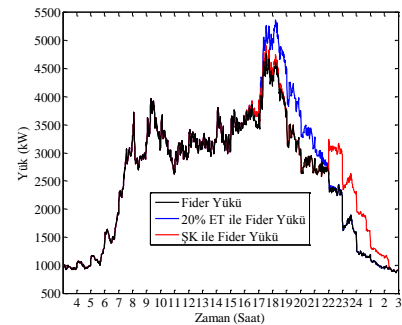
Örnek çalışmalar Bölüm-II'de verilmiş olan dağıtım şebekesi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Şebekeye 20% ve 40% oranında ET dahil edilerek benzetimler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra önerilen şarj koordinasyonu yöntemi ile belirtilen seviyelerdeki ET'lerin şebekeden şarj işlemi gerçekleştirilmiştir. Talep Katılım Zamanı 17-22 arası belirlenirken, Batarya Acil Şarj Oranı ise yüzde 50 olarak belirlenmiştir. Batarya Güncel Şarj oranı 50% veya üzerinde olan ET'ler şarj işlemi 22'ye kadar durdurulacak ve şarj işlemi 22'den sonra devam edecektir.

A. 20% oranında ET için Şarj Koordinasyonu

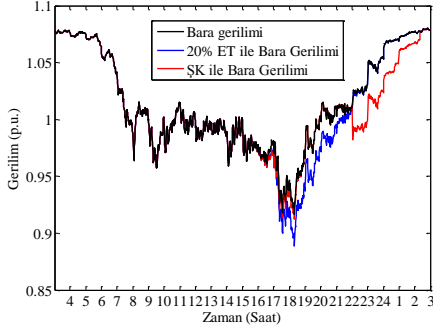
1000 konutluk bir dağıtım fiderine 200 ET'nin dahil edildiği farz edilen durumdur. ET'siz, 20% ET şebekeye bağlandığında ve ET şarj koordinasyonu sağlandığındaki sistemden toplam çekilen yük grafiği Şekil-6'da verilmiştir. Şebekenin puant değeri 17.33'de 4771 kW ile oluşurken sisteme 20% oranında ET'nin şarj yükü de bindiğinde bu değer 18.13'de 5371 kW olmaktadır. Önerilen yöntem ile bu değer 4905 kW'a indirgenirken fidere bağlı ET'lerin GBŞO acil durumlar için 50% ve üzeri durumdadır.

Şekil-7'de yukarıda verilen durumlar için IEEE-13 bara sistemin en son barası olan 680 nolu baranın gerilim değerleri verilmiştir. Sistemde ET bulunmadığında bara gerilim en düşük 0.916 p.u. (per unit) iken bu değer ET'lerin şarj olmaya başlaması ile 0.888 p.u.'e düşmüştür. Şarj koordinasyonu uygulandığında bu değer 0.912 p.u.'a yükseltilmiştir.

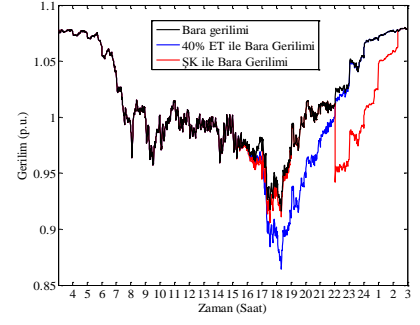
Şekil-8'de görüldüğü üzere IEEE-13 bara sisteminde toplam kayıplar puant zamanda 270 kW'dan 250 kW'a düşürülmüştür.



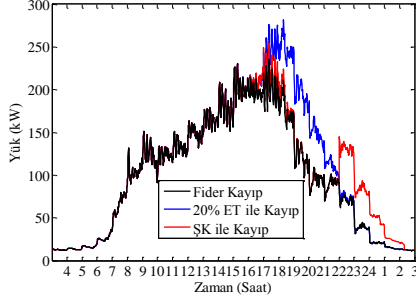
Şekil-6. ET'siz, 20% ET'li ve ŞK ile fider yükleri



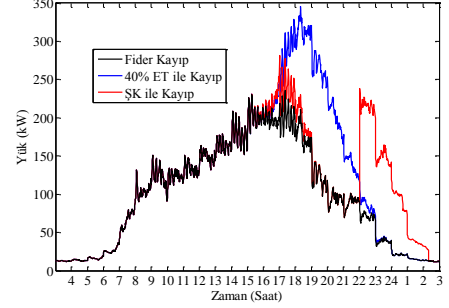
Şekil-7. 680 numaralı baranın ET'siz, 20% ET'li ve ŞK ile gerilimleri



Şekil-10. 680 numaralı baranın ET'siz, 40% ET'li ve ŞK ile gerilimleri



Şekil-8. ET'siz, 20% ET'li ve ŞK ile sistem güç kayıpları



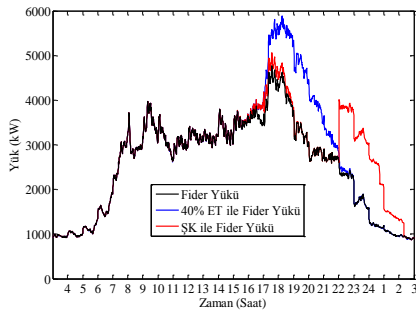
Şekil-11. ET'siz, 40% ET'li ve ŞK ile sistem güç kayıpları

B. 40% oranında ET için Şarj Koordinasyonu

40% oranında ET şebekeye dahil edildiği durumda en yüksek şarj gücü 18.13'de 5883 kW olarak gerçekleşmiştir. Şarj koordinasyonu sağlandığında bu değer 5061 kW ile sınırlı kalmaktadır. ET şarjları koordinasyonu sağlandığında puant yük 14% oranında azalmaktadır. Şekil-9'da 40% oranında ET ile sistem yükü gösterilmiştir.

Şekil-10'da sistemin son barası olan 680 numaralı bara için gerilim değerleri verilmiştir. Görüldüğü üzere ET'lerin koordinasyonlu şarjı sonucu gerilim değerlerinde ciddi oranda bir düşme görülmüş ve şebeke için tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Koordinasyonlu şarjda son bara gerilimi 0.864 p.u. olurken şarj koordinasyonu sağlandığında bu değer 0.906 p.u. olarak gerçekleşmektedir.

IEEE-13 bara sisteminde şarj koordinasyonu ile puant saatlerdeki kayıplarda da çok ciddi düşüş sağlanmış ve dolayısıyla sistem daha güvenli bir hale gelmiştir. Şekil-11'de görüldüğü üzere puant noktada kayıp 345 kW iken bu değer 281 kW'a düşürülmüştür.



Şekil-9. ET'siz, 40% ET'li ve ŞK ile fider yükleri

VI. SONUÇ

Bu çalışmada 1000 konut IEEE-13 test fiderine rastgele yerleştirilerek bir dağıtım sisteminin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Konutlardaki elektrikli cihazların güç tüketim modelleri kullanılarak fider yük profili elde edilmiştir. Bu dağıtım fiderine 20% ve 40% oranında Elektrik Taşıt bağlantısı yapıldığı farz edilerek dağıtım fideri üzerindeki olumsuz etkileri gösterilmiştir. Birçok Elektrikli Taşıttın şarj işlemi puant saatlere denk geldiği için puant yükleri artırmakla beraber bara gerilimleri de önemli ölçüde düşmektedir. Önerilen şarj koordinasyonu yöntemi ile sistemden şarj olan Elektrikli Taşıtların puant saatler içinde acil ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde araçlarını şarj etmelerine müsaade edilirken, bataryanın tamamen şarj olması işlemine puant saatler dışında tamamlanmaktadır. Böylece hem Elektrikli Taşıtların belirli mesafeler için kullanılabilirken şarj işleminin sebep olduğu puant yükün artması, aşırı gerilim düşümü gibi şebekeye olumsuz etkileri de en aza indirilmektedir.

REFERANSLAR

- [1] I. E. A. International and E. Agency, "Global EV Outlook 2016 Electric Vehicles Initiative," *Iea*, 2016.
- [2] California New Car Dealers Association (CNCDA), "California Auto Outlook," vol. 11, no. 1, pp. 1-4, 2015.
- [3] W. Khamphanchai, M. Pipattanasomporn, S. Rahman, and A. T. Al-Awami, "Impact of electric vehicles on household voltage profiles and possible mitigation approach," *IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur.*, vol. 2015-January, no. January, pp. 1-6, 2015.
- [4] Stanton W. Hadley, (2006, Oct.) "Impact of Plug-in Hybrid Vehicles on the Electric Grid", Oak Ridge Nat. Lab., Oak Ridge, TN. [Online]. Available: http://web.ornl.gov/info/ornlreview/v40_2_07/2007_plug-in_paper.pdf

- [5] L. Pieltain Fernández, T. Gómez San Román, R. Cossent, C. Mateo Domingo, and P. Frías, "Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, no. 1, pp. 206–213,
- [6] K. Clement-Nyns, E. Haesen, and J. Driesen, "The impact of Charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 1, pp. 371–380, 2010.
- [7] S. Shao, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Demand response as a load shaping tool in an intelligent grid with electric vehicles," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 4, pp. 624–631, 2011.
- [8] P. Richardson, D. Flynn, and A. Keane, "Optimal charging of electric vehicles in low-voltage distribution systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 1, pp. 268–279, Feb. 2012.
- [9] X. Luo and K. W. Chan, "Real-time scheduling of electric vehicles charging in low-voltage residential distribution systems to minimize power losses and improve voltage profile," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 8, no. 3, pp. 516–529, Mar. 2014.
- [10] J. Hu, S. You, M. Lind, and J. Østergaard, "Coordinated charging of electric vehicles for congestion prevention in the distribution grid," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 2, pp. 703–711, Mar. 2014.
- [11] J. Zhang, Q. Zhou, and M. Li, "Research on Large Scale EV Charging Optimization Strategy," in *Proc. IEEE Power System Technology (POWERCON)*, Sep 28- Oct 1, 2016, pp. 1-6.
- [12] P. Sanchez-Martin, S. Lumbreras, and A. Alberdi-Alen, "Stochastic programming applied to ev charging points for energy and reserve service markets," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 31, no. 1, pp. 198–205, 2016.
- [13] S. Babaei, D. Steen, T. A. Le, O. Carlson, and L. Bertling, "Effects of plug-in electric vehicles on distribution systems: A real case of Gothenburg," in *Proc. IEEE Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur. (ISGT Eur.)*, Oct. 11–13, 2010, pp. 1-8.
- [14] A. Dogan, M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, S. Rahman, and T. Yalcinoz, "Impact of EV Charging Strategies on Peak Demand Reduction and Load Factor Improvement," in *Proc. IEEE Electrical and Electronics Engineering Conference (ELECO)*, Nov 26-28, 2015, pp.3–7.
- [15] S. G. Yoon, Y. J. Choi, J. K. Park, and S. Bahk, "Stackelberg-Game-Based Demand Response for At-Home Electric Vehicle Charging," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 6, pp. 4172–4184, 2016.
- [16] M. R. V. Moghadam, R. Zhang, and R. T. B. Ma, "Randomized Response Electric Vehicles for Distributed Frequency Control in Smart Grid," *IEEE Smart Grid Comm*, vol. 7, no. 1, pp. 139–144, 2013.
- [17] F. Rassaei, W. S. Soh, and K. C. Chua, "Demand Response for Residential Electric Vehicles with Random Usage Patterns in Smart Grids," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 4, pp. 1367–1376, 2015.
- [18] P. Richardson, D. Flynn, and A. Keane, "Optimal charging of electric vehicles in low-voltage distribution systems," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 27, no. 1, pp. 268-279, Feb 2012.
- [19] D.P. Chassin, K. Schneider, C. Gerkensmeyer, "GridLAB-D: An open-source power systems modeling and simulation environment," *Transmission and Distribution Conference and Exposition*, 21-24 April 2008, pp.1-5.
- [20] J.C. Fuller, B. Vyakaranam., N. Prakash Kumar, S. M. Leistriz, G. B. Parker, "Modeling of GE Appliances in GridLAB-D: Peak Demand Reduction," PNNL, WA, Tech. Rep. PNNL-21358- April 2012.
- [21] National Household Travel Survey. 2009; Available from:<http://nhts.ornl.gov/>.
- [22] J. Krumm, "How People Use Their Vehicles: Statistics from the 2009 National Household Travel Survey," *SAE 2012 World Congr. Exhib.*, pp. 1–12, 2012.
- [23] J. Taylor, A. Maitra, M. Alexander, D. Brooks, and M. Duvall, "Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations," in *Proc. IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, Jul. 26–30, 2009, pp. 1-6.