

ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERİN DAĞITIM SİSTEMLERİ ÜZERİNDEKİ OLASI ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ömer Faruk BOSTAN
e-mail: ofbostan@gmail.com

Fatma Gül BAĞRIYANIK
e-mail: bagriyanikf@itu.edu.tr

Mustafa BAĞRIYANIK
e-mail: bagriy@itu.edu.tr

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü,
34469, Maslak, İstanbul, Türkiye*

Anahtar kelimeler: elektrikli otomobil, elektrik dağıtım sistemleri

ÖZET

Elektrikli otomobillerin önümüzdeki 20 yıllık süreçte motorlu taşıtlar pazarında hatırı sayılır bir payı olacaktır. Otomobillerin yakıt olarak elektriği kullanmasıyla fosil yakıtlardan karşılanan enerji, konutlardaki prizlerden talep edilir hale gelecektir. Bu durumda elektrik dağıtım sistemlerinden talep edilen güç miktarında kaçınılmaz bir artış meydana gelecektir. Bunun yanında günlük yük eğrilerinin karakteristiklerinde de değişen yük profili nedeniyle farklılıklar ortaya çıkması beklenmektedir. Çalışmamızda bir örnek tüketim bölgesi göz önüne alınarak, bu bölgede elektrikli otomobillerin yaygınlaşmaya başlamasıyla dağıtım sistemi ve talep açısından etkiler incelenmiştir.

I. GİRİŞ

Küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının oluşumuna sebep olan petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtların çoğunluğu motorlu taşıtlar tarafından kullanılmaktadır. DİE'nün 2008 yılında yaptığı araştırmalara göre Türkiye'deki toplam motorlu araç sayısının 12 milyonun üzerinde olduğu tespit edilmiştir [1]. Bu sayı diğer gelişmiş ülkelerde daha yüksek seviyelere çıkmaktadır. Bu istatistiğin yanında yıllık sera gazı salınımının %17'sinin ulaştırma sonucunda meydana geldiği gözlenmiştir [2], bu da fosil yakıt kullanan araçların doğaya olan zararlarının boyutları hakkında bilgiler vermektedir. Elektrikli otomobiller bu tablo karşısında çevrenin korunması için yapılan çalışmalarda büyük bir önem arz etmektedir ve önümüzdeki yıllarda binek otomobil pazarında büyük bir paya sahip olmaları beklenmektedir. Elektrikli otomobillerin yaygınlaşması ile petrole olan ihtiyacın ve havaya yapılan zehirli gaz salınımının azalmasının yanında elektrik üretim ve dağıtım sistemlerinin üzerinde de önemli etkilerinin olacağı anlaşılmıştır. Elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasıyla bu araçların ihtiyacı olan enerjinin bir kısmının park yerlerindeki prizlerden karşılanması durumuyla karşılaşılacaktır. Bu durumun yaratacağı elektrik enerjisi talebi, dağıtım sisteminde büyük bir yük artışına sebep olacağından, tüm elektrik enerji sistemi bileşenleri üzerinde (santraller, hatlar, transformatörler vb.) kapasite zorlanmalarına neden olabilecektir. Her ne kadar elektrik sistemlerinin bütün kademeleri artan talepten etkilense de araştırmamızın konusu bu artan talebin

elektrik dağıtım sistemleri üzerinde doğuracağı etkilerin incelenmesidir.

Elektrikli otomobillerin elektrik üretim sistemleri üzerinde doğuracağı sorunlar, petrol fiyatlarındaki muhtemel değişiklikler ve havaya verilen sera gazı oranındaki değişimle ilgili konulara yoğunlaşmış çeşitli ülkelerde gerçekleştirilmiş araştırma sonuçları literatürde bulunmaktadır. ABD'deki 13 bölgede elektrik dağıtım sistemlerinde meydana gelecek kapasite zorlanmaları ile ilgili çalışmalar yapılmıştır[3-4]. Bunun yanında 1 milyon elektrikli otomobilin ABD elektrik sistemlerine eklenmesiyle üretim kapasitesinin yeterliliğinin yanında, iletim hatlarında ve transformatörlerde oluşacak muhtemel etkiler üzerine çalışmalar da yapılmıştır. ABD'de gerçekleştirilmiş olan incelemede her bir bölge için havaya yayılan sera gazı salınımı miktarındaki değişimler de tespit edilmiştir. Ayrıca dağıtım sistemlerindeki etkilerin araştırılmasıyla ilgili yapılan saha araştırmalarına göre, otomobillerin şarj etme zamanları uygun biçimde planlanabilirse elektrikli otomobillerin oranının %20 olduğu duruma kadar kullanılan elektrik üretim sistemlerine ek enerji kapasitesi gerekmemektedir. Buna benzer bir çalışma Portekiz elektrik sistemleri üzerine yapılmıştır [5]. Bir bölgeye ait hava sıcaklığının en düşük olduğu kış mevsiminde bir haftalık günlük yük verileri alınmıştır. EPRI çalışmaları [6-7] dikkate alınarak kontrolsüz durumda ayrı ayrı gün içinde iki farklı zamanlama için benzetimler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, kontrolsüz şarj edilme durumunda, güç talebinin düşük olduğu saatler haricinde kapasite zorlanmaları oluşmaktadır.

Elektrikli otomobillerin yaygınlaşmasıyla meydana çıkacak problemlerin çözümüne yönelik araştırmalar da yapılmaktadır. Sistem kapasitesinin artırılmasına ilişkin yöntemlerden ilk akla gelebilecek olan var olan dağıtım transformatörlerinin ve iletkenlerin kapasitelerinin artırılmasıdır. Fakat bu çözüm oldukça masraflıdır ve yeni kaynaklara gereksinim duyulacaktır. Bu nedenle, var olan elektrik sistemini daha etkin kullanabilmek için, elektrik tüketim talebinin kontrolü daha uygun bir yöntemdir. Kontrollü sistem, araçtan şebekeye (V2G) uygulamasına ve talep yönetimine de olanak sağlayacaktır. Araçtan şebekeye (V2G) kavramı enerji saklama aygıtlarına sahip otomobillerin elektrik

şebekesiyle bağlantı halinde olması durumunda şebekeden talep edilen enerjinin yüksek olduğu durumda otomobillere ait dolu bataryaların şebekeye yedek güç sağlaması esasına dayanmaktadır [8]. Talep yönetimi ise gün içindeki tepe yüklerin etkisini azaltacaktır [9].

Bu çalışmada, elektrik dağıtım sistemi üzerinde elektrikli otomobillerin muhtemel etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın 2. Bölümünde elektrik otomobiller üzerine özet bilgi ve değerlendirmeler verildikten sonra, elektrikli otomobillerin günlük yük eğrileri üzerindeki olası etkileri üzerinde durulmuştur. Bu amaçla istanbulda yer alan bir transformator istasyonu verileri kullanılarak elektrikli otomobillerin kullanım oranının artması ile ne gibi etkiler ortaya çıkacağı incelenmiştir.

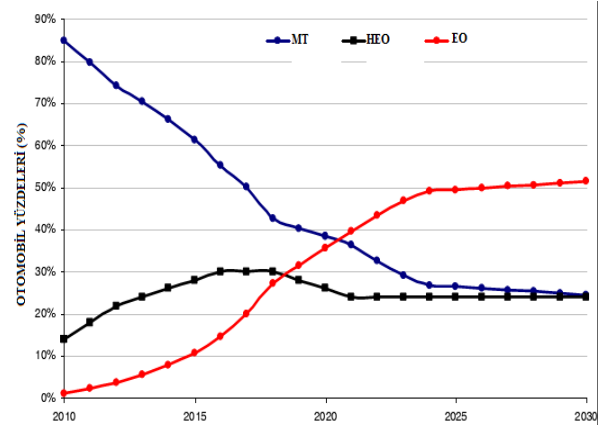
II. ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLER

Elektrikli otomobiller, bölgesel elektrik dağıtım şebekesinden yani özel konut prizlerinden şarj edilebilen, elektrik motorlarıyla bataryalarındaki elektrik enerjisinin hareket enerjisine çevrilmesiyle hareket eden ve bu sayede ulaşımda kullanılan motorlu kara taşıtlardır. Elektrikli otomobiller bataryasının büyüklüğüne göre yeniden şarj edilmeden 32km ile 97km arasında yol alabilirler [10]. Elektrikli araç teknolojisinin gelişmesi batarya teknolojisinin gelişmesine bağlıdır. Günümüzde elektrikli araç teknolojisinin öncülerinden Toyota'nın 2009 yılında piyasaya tanıttığı 1800cc motor hacmine sahip Toyota prius EV modeli (model ZVW30)'de 5.2kWh'lik lityum iyon batarya bulunmaktadır. 200V alternatif gerilim ile şarj olma süresi 180 dakika, elektrik verimi ise 6.57km/kWh'dir. Elektrikli otomobillere, otomobil kullanıcılarının, otomobil üreticilerinin ve hükümetlerin oldukça iyimser yaklaşımları bilinmektedir. Bu da elektrikli otomobillerin müşteriler için piyasaya sürülmesini takip eden sürede motorlu taşıtlar içindeki payının gelecek yıllarda nasıl bir değişim göstereceğinin belirlenmesi ihtiyacını doğurmuştur. Kullanımdaki otomobillerin tiplere göre yıllık pazar payı değişimi Şekil 1' de verilmiştir [11]. Bu şekilden de görüleceği üzere elektrikli otomobillerin önümüzdeki on yıllık sürede otomobil pazarındaki payının %25'lere ulaşması beklenmektedir.

Bu gün için bir elektrikli otomobilin şarj süresince şebekeden 10kWh'lik enerji çektiği kabul edilebilir. Çizelge 1'de örnek olarak Toyota prius PHEV30 tipi elektrikli otomobile ait bataryanın karakteristik özellikleri verilmiştir.

Bir bataryanın şebekeden talep edeceği güç belirli ve sabit olsa da elektrikli otomobil sahiplerinin hepsi bataryalarını aynı anda şarj etmeye başlamayacağı için tüketici başına yük karakteristiği sabit olmayabilir [3]. Bu nedenle tüketici davranışlarını ve batarya

özelliklerini göz önüne alarak tüketici yük profili oluşturulabilir.



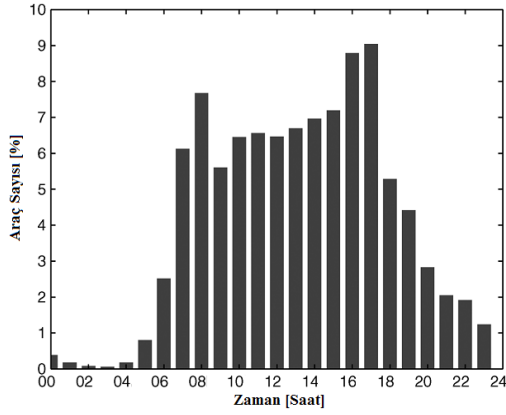
Şekil 1: Kullanımdaki otomobillerin tiplere göre yıllık pazar payı değişimi [11]

Çizelge 1: PHEV30 tipi elektrikli otomobile ait bataryanın karakteristik özellikleri

Batarya Tipi	Lityum-iyon
Enerji Kapasitesi	11kWh
Gerilim	220-240V
220V'da Tam Şarj Olma Zamanı	3-3.5 saat
Elektrik Menzili	30km

Elektrikli otomobillerin şarja başlama zamanı da şebeke üzerinde farklı etkiler doğurur. Bataryaların evlerden şarj edildiği durum için incelemeler yapılacaksa ilgili bölgede gün içinde saatlere göre yollardaki otomobillerin toplam otomobil sayısına oranları belirlenmelidir. Bir örnek çalışma sonucu Şekil 2'de verilmiştir [9]. Bu şekle göre gün içinde otomobillerin en yoğun kullanıldığı zaman aralıkları sabah saat 7 ile akşam saat 17 saatleri arasındadır. Otomobiller bu zaman diliminde yollarda daha yoğun bulunacağı için bataryaların şarj edilme oranı buna ters olarak daha az olacaktır. Çizelge 2'de elektrikli otomobillerin gün içinde farklı zamanlarda şarj edilme periyotları verilmiştir. Bu verilere dayanarak incelemeler için üç farklı şarj etme periyodu belirlenmiştir. Bunlardan ilki araçların çoğunun evlerde olduğu gece 23 ile 02 saatleri arasını içine alan zaman dilimidir. Bu zaman diliminde çalışanlar araçlarıyla işten çıktıktan sonra gün bitiminde bir sonraki gün için bataryalarını doldurmaktadır. İkinci şarj etme periyodu ise akşam 18 ile 21 saatlerini içine alan zaman dilimidir. Bu zaman aralığı gün içinde maksimum güç talebinin olduğu zaman aralığı ile çakışmaktadır. Fakat bu zaman diliminde şarj edilen araç sayısının birincisine göre daha az olması beklenmektedir. Bir diğer şarj etme periyodu ise sabah saat 10 ile öğlen 13 saatleri arasındaki zaman dilimidir. Bu dilimde büyük şehirlerdeki iş

merkezlerinin otoparklarında şarj edilme durumu göz önüne alınmıştır.



Şekil 2: Yollarda bulunan otomobil sayısı

Çizelge 2: Elektrikli otomobillerin şarj edilme periyotları

Birinci periyot	23.00-02.00
İkinci periyot	18.00-21.00
Üçüncü periyot	10.00-13.00

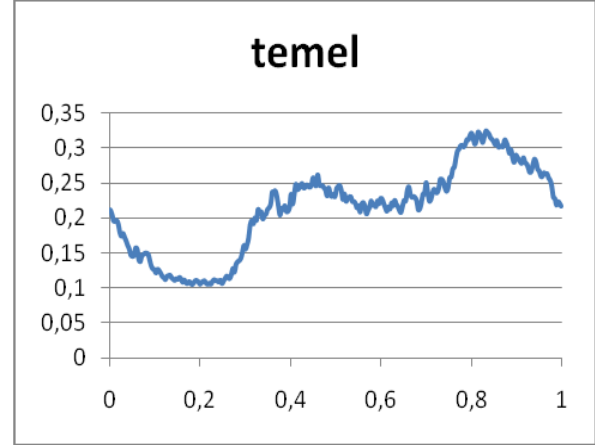
III. GÜNLÜK YÜK DEĞİŞİMİ ÜZERİNDEKİ OLASI ETKİLER

Elektrik dağıtım sistemlerinde tüketici talebi, özellikle mevsimsel etkilere bağlı olarak farklılıklar gösterebilir. Elektrikli otomobillerin tüketiciler tarafından yaygın olarak kullanılması ile var olan maksimum talep ve günlük talep değişimi üzerinde değişiklikler meydana gelecektir. Elektrikli otomobillerin, dağıtım sistemi üzerine olan etkilerinin araştırılması için elektrikli otomobillerin şarj edilmesiyle günlük yük eğrilerinin üzerinde nasıl etkilere sebep olacağına incelenmesi gerekmektedir.

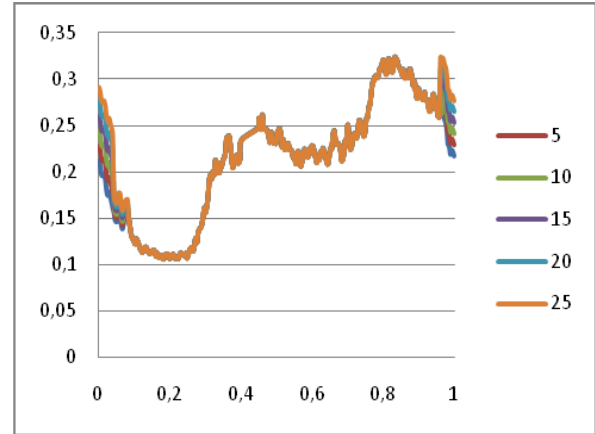
Bu çalışmada elektrikli otomobillerin getireceği etkileri incelemek amacıyla İstanbul'da 1250 kVA gücünde bir dağıtım transformator merkezi günlük yük ölçüm sonuçları temel alınmıştır. Mart ayı ölçüm verilerinden oluşturulan örnek günlük yük eğrisi değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Bu şekilde yatay eksen normalize edilmiş olarak bir günlük zaman dilimini (24 saat=1.0 birim), dikey eksen ise transformatorün nominal gücü kullanılarak normalize edilmiş ilişkin tüketilen gücü göstermektedir.

DİE'nün istatistiklerine göre [1] Türkiye'de yaklaşık olarak her dört haneden birinde otomobil olduğu görülmektedir. Bu istatistiği elimizdeki bölgeye uyarlayarak örnek transformator merkezi için tahmini araç sayısını belirleyebiliriz. Eğer transformatorün 350-400 haneyi beslediği kabul edilirse, transformator merkezinden beslenen tüketicilere ait yaklaşık olarak 100 otomobil olacaktır. Elektrikli araçların otomobil pazarındaki payının önümüzdeki 10-15 yıl içinde %25 oranına yükseleceği öngörüsü dikkate alınarak günlük

yük talebi üzerindeki etkilenmeleri inceleyebiliriz. Bu amaçla elektrikli araçların otomobil pazarındaki payının %5, %10, %15, %20 ve %25 olduğu durumlar için incelemeler gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Tüketici davranışlarını ve batarya özelliklerini göz önüne alarak oluşturulmuş olan batarya şarj yük profili kullanılmıştır [10]. İncelemeler Çizelge 2 de verilen üç ayrı şarj edilme senaryosu için ayrı ayrı tekrarlanmıştır.



Şekil 3: Bir kış gününe ait günlük yük eğrisi

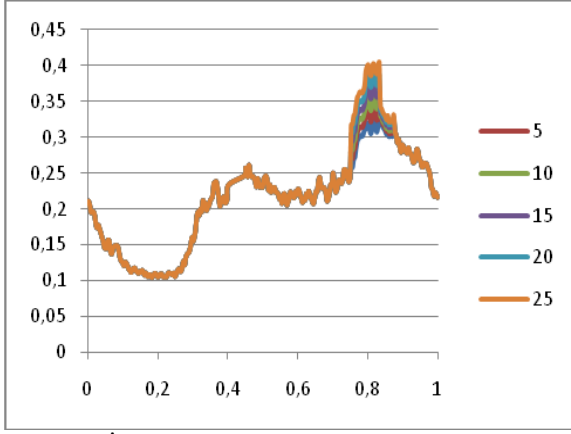


Şekil 4: Birinci şarj edilme periyodunda oluşan yeni yük eğrisi

Birinci senaryo olarak, 23.00-02.00 saatleri arasında şarj edildiği kabul edilmiştir. Bu zaman aralığı güç talebinin az olduğu saatler ile çakıştığı için talebin tepe değerinde bir artış görülmemektedir. Ancak elektrikli araçların payının %25 lere yükselmesi ile gece ikinci bir tepe talep oluşmaktadır. Araç payının daha da artması ile, günlük en yüksek tepe talebin şarj zaman dilimine kayması gibi bir sonuç ortaya çıkacaktır.

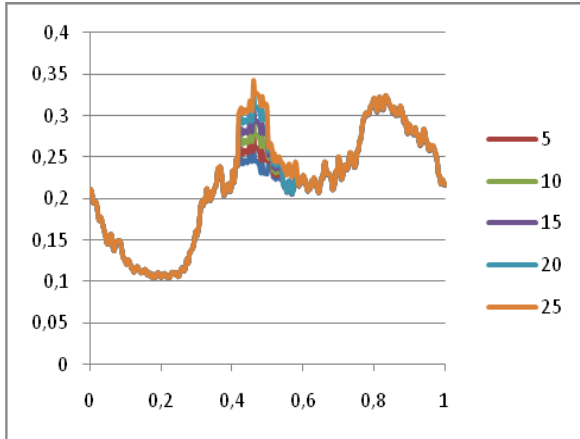
İkinci senaryo olarak, göz önüne alınan aracın 18.00-21.00 saatleri arası şarj edilmesi durumunda elde edilen sonuçlar, Şekil 5'de verilmiştir. İkinci şarj etme periyodunda bataryalar akşam saat 18'de şarj edilmeye başlandığı için elektrikli otomobillerin getirdiği ek yükler ile günlük yük eğrisinin tepe noktası çakışmakta ve maksimum güç talebinde artışlar

meydana gelmektedir. Elektrikli otomobillerin bütün pay oranları için, elektrik tüketimi tepe noktasında artış görülmektedir. Göz önüne alınan değerler ile elektrikli araçların kullanılan otomobiller içindeki payındaki her %5'lik artış için, enerji talebinin tepe noktasında yaklaşık 18kW'lık artma meydana gelmektedir.



Şekil 5: İkinci şarj edilme periyodunda oluşan yeni yük eğrisi

Şekil 6'da ise saat 10 ile 13 saatlerini içine alan üçüncü şarj etme periyodundaki elektrikli otomobillerin getirdiği ek yükler ile oluşan günlük yük eğrisi durumları verilmiştir. Bu şarj etme periyodunda bataryalar enerji talebinin düşük olduğu sabah saatlerinde doldurulduğu için elektrikli araçların küçük pazar payları için talebin tepe değerinde büyük bir artış görülmemektedir.



Şekil 6: Üçüncü şarj edilme periyodunda oluşan yeni yük eğrisi

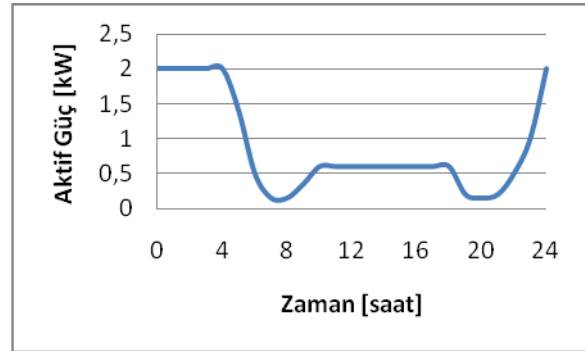
Göz önüne alınan transformatör normalde %30-40 civarında yüklendiği için, gelecekte elektrikli araçların şarj periyotlarının etkisiyle oluşacak etkilenmeler açısından sıkıntı gözükmemektedir. Ancak elektrikli araçların yaygınlaşması ile beraber %25lik bir araç oranında transformatör yükü üzerine yaklaşık %20 civarı bir ilave yük geleceği de görülmektedir. Bu ilave yüklenme, normal şartlarda %80 ler

mertebesinde yüklü transformatörler için aşırı yüklenme durumları yaratabilecektir.

Elde edilen sonuçlara göre otomasyon ve eniyilemeli talep kontrolü ile elektrikli otomobillerin şarj etme periyodu güç talebinin az olduğu saatlere kaydırılarak dağıtım sistemi üzerindeki olumsuz etkiler azaltılabilir. Bu durumda elektrikli otomobillerin sebep olacağı ek yükler günlük yük eğrisindeki vadileri dolduracağından sistem kapasitesi daha etkili kullanılabilir.

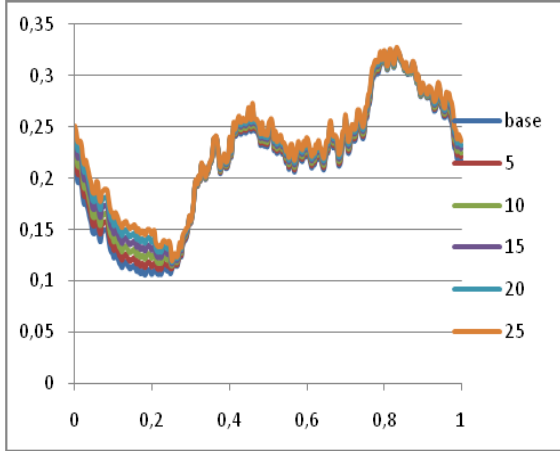
Dağıtım sistemlerinde kapasite zorlanmalarının ve talebin tepe değerinde artışın önüne geçmek için akıllı sayaç tarifelendirmelerinin kullanılması da yararlı olacaktır.

TEDAŞ'ın uyguladığı elektronik sayaç üçlü tarife sisteminin (gündüz, puant, gece) kullanılması durumu için de modelleme yapılmıştır. Bu tarifelere göre güç talebinin tepe yaptığı akşam saatlerinde yüksek fiyatlandırma neticesinde talep azalma eğilimi gösterip, fiyatların düşük olduğu gece saatlerine kayması beklenmektedir. Bu sayede elektrikli otomobillerin şebekeye eklenmesiyle artan güç talebi gece saatlerine kaydırılarak dağıtım sistemlerindeki kapasite zorlanmalarının önüne geçilebilecektir. Elektrikli otomobillerle beraber elektronik sayaçların da yaygın kullanılmasıyla daha önce bahsedilen bataryaların şarj etme karakteristiği üzerindeki etkiler de göz önüne alınarak oluşturulmuş olan bir elektrikli otomobile ait indirgenmiş gün içi yük eğrisi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7: Tarifeli sistem için araç yük eğrisi

Otomobillerin şarjında eşzamanlılığı ve tüketici tercihini yansıtan bu yük karakteristiğinde saat 17 ile 22 saatleri arasında elektrikli otomobillerin şebekeye getireceği ek yükler düşük tutulmuştur. Şekil 8'da tarifeli sistem durumunda elektrikli otomobillerin %5, 10, 15, 20 ve 25'lik pazar paylarında temel yük eğrisi üzerinde gösterdiği etkiler görülmektedir. Tarifeli sistem durumunda talebin geceye kayması beklendiğinden günlük tepe talep üzerinde etki az olmaktadır.



Şekil 8: Tarifeli sistem için elde edilen günlük yük eğrisi

IV. SONUÇ

Elektrikli otomobillerin, çevrenin korunması için yapılan çalışmalar nedeniyle önümüzdeki yıllarda binek otomobil pazarında büyük bir paya sahip olmaları beklenmektedir. Bu araçların ihtiyacı olan enerjinin bir kısmını park yerlerindeki prizlerden karşılayacak olması, dağıtım sisteminde büyük bir yük artışına sebep olacağından, tüm elektrik enerji sistemi bileşenleri üzerinde (santraller, hatlar, transformatörler vb.) kapasite zorlanmalarına neden olabilecektir.

Bu çalışmada, elektrik dağıtım sistemi günlük yük dağılımı üzerinde elektrikli otomobillerin olası etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmamızın sonucunda elektrikli otomobillerin yaygın bir şekilde kullanılmasıyla oluşacak ek yüklerin herhangi bir düzenleme yapılmadan sisteme eklenmesiyle akşam saatlerindeki tepe güç talebinde artışlar görüleceği ortaya çıkmıştır. Elektrikli otomobillerin pazar payının belirli bir oranın üzerine çıktığında farklı şarj etme zamanlamalarında farklı tepe noktaları doğurabileceği ve dağıtım transformatörlerinde kapasite zorlanmalarına yol açabileceği görülmüştür. Günlük yük eğrileri üzerinde yapılan analizler sonucu müşterilerin bataryaları gece şarj etmeye başladığı durumda kısa vadede elektrikli otomobillerin sisteme eklenmesi dağıtım sisteminde bir altyapı sorunu çıkarmamaktadır. Uzun vadede ise gerekli altyapı yatırımlarının yapılması gerekmektedir.

Akıllı şebeke, akıllı sayaç teknolojileri ve yük yayma, konut yük kontrolü gibi yöntemlerle gün içinde elektrikli otomobillerin bataryalarının güç talebinin gün içinde düşük olduğu saatlerde şarj edilmesi sağlanarak olası kapasite zorlanmalarının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca araçtan şebekeye yöntemiyle park halindeki otomobillerin dolu bataryalarının güç talebinin tepe yaptığı saatlerde yedek güç olarak kullanılması gibi çözüm yolları ortaya atılmıştır. Elektrikli otomobillerin, akıllı şebeke sistemleri ile beraber elektrik teknolojilerinde gelişme alanı oldukça geniştir.

KAYNAKLAR

- [1] TÜİK Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri, "Kullanım amacına göre motorlu kara taşıtları sayısı", Ankara, 2008.
- [2] TÜİK, "Sera gazı emisyon envanteri", Ankara, 2007
- [3] Michael Kintner-Meyer, Kevin Schneider, Robert Pratt, "Impacts assessment of plug-in hybrid vehicles on electric utilities and regional u.s. power grids", Part 1: technical analysis, *Pacific Northwest National Laboratory(a)*, November, 2007.
- [4] Michael J. Scott, Michael Kintner-Meyer, Douglas B. Elliott, William M. Warwick, "Impacts assessment of plug in hybrid vehicles on electric utilities and regional u.s. power grids" Part 2: economic assessment. *Pacific Northwest National Laboratory(a)*, November, 2007.
- [5] C. Camus, C.M. Silva, T. L. Farias, J. Esteves, "Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicle in the Portuguese Electric Utility System" *POWERENG '09 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Lisbon, Portugal, March 18-20, 2009.
- [6] EPRI, "Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options", *EPRI Report*, 1000349. July 2001.
- [7] EPRI, "Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options for compact sedan and sport utility vehicles", *EPRI Report*, 1006892. July 2002
- [8] Sanjaka G. W., Schofield N. and Emadi, A., "Plug-in Hybrid Electric Vehicle Developments in The US: Trends, Barriers, and Economic Feasibility," *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Harbin, China 2008.
- [9] Clement-Nyns, K. and Haesen E. "The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid," *IEEE Transactions on Power Systems*, VOL.25,NO.1, 2010.
- [10] Hadley, S. W., Tsvetkova, A. A. "Potential Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation," *The Electricity journal*, 2009.
- [11] Taylor J., Maitra A., Alexander M., Brooks D. "Evaluation of the Impact of Plug-in Electric Vehicle Loading on Distribution System Operations", *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2009.