



ELEKTRİKLİ ARAÇ ENTEGRASYONUNUN DAĞITIM SİSTEMİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ VE ŞARJ İSTASYONU ALTYAPISININ TAYİN EDİLMESİ

Dilan YILDIZHAN^{1*}, Ayşe Kübra ERENOĞLU², Ozan ERDİNÇ¹

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Elektrikli Araç,
Dağıtım Sistemi,
Şarj İstasyonu,
Transformatör,
Yük Akışı.*

Öz

Günümüzde hızla artan nüfusun paralelinde yaşamsal ihtiyaçlara bağlı tüketimler için ortaya çıkan teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. İlgili enerji ihtiyacı daha çok konvansiyonel kaynaklardan karşılanmakta ancak bu durum çevre kirliliğine sebebiyet vermektedir. Fosil yakıtların en çok tüketildiği ve doğal olarak karbon emisyonuna neden olan alanlardan biri olan ulaşım sektöründe ise ciddi değişimler meydana gelmektedir. Özellikle fosil kaynaklı araçlar yerini Elektrikli Araçlara (EA) bırakmakta ve birçok marka EA modelleri geliştirmeye yönelik önemli adımlar atmaktadır. Ancak EA'ların üretim ve kullanımının artması enerjiye olan ihtiyacı da katlamaktadır. Aynı zamanda bu araçların şarj ihtiyaçları için kurulması gereken şarj istasyonu sayısı ve yatırım gerektiren altyapı hizmetlerinin planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de hizmet veren bir dağıtım sistemi operatörlüğünde işletilen ve EA şarj istasyonu kurulması planlanan otopark alanları için DİGSILENT PowerFactory V15.1 programında detaylı analizler gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de hizmet veren bir otopark işletmecisi ile ortak çalışılacak alanlarda altyapı hizmetlerinin aksamaması ve olası güç sistemi arızalarının önüne geçebilmek amacıyla güç akışı analiz sonuçları paylaşılmıştır. Hatlardan akan aktif, reaktif güçler ve transformatör yüklenmelerine göre öneriler sunulmuştur.

THE EFFECTS OF ELECTRIC VEHICLE INTEGRATION ON THE DISTRIBUTION SYSTEM AND DETERMINATION OF CHARGING STATION INFRASTRUCTURE

Keywords

*Electric Vehicle,
Distribution System,
Charging Station,
Transformer,
Load Flow.*

Abstract

Today, the need for energy is increasing day by day with the technological developments and industrialization that have emerged in order to keep up with the consumption related to the vital needs that increase in parallel with the rapidly increasing population. This emerging energy need is mostly provided by non-renewable resources and also causes environmental pollution. Serious changes are occurring in the transportation sector, which is one of the areas where fossil fuels are consumed the most and naturally causes carbon emissions. In particular, fossil-based vehicles are replaced by Electric Vehicles (EVs), and many brands are taking important steps to develop EV models. However, the increase in the production and use of EVs also increases the need for energy. At the same time, it makes it necessary to plan the number of charging stations and infrastructure services that require investment for the charging needs of these vehicles. In this study, detailed analyzes were carried out in the DİGSILENT PowerFactory V15.1 program for the parking areas operated by a distribution system operator in Turkey and where an EV charging station is planned to be installed. Power flow analysis results were shared in order to prevent disruption of infrastructure services and possible power system failures in areas to be worked in partnership with a parking lot operator serving in Turkey. Suggestions are presented according to the active and reactive powers flowing from the lines and transformer loads.

* İlgili yazar / Corresponding author: dilanyildizhan@gmail.com, 0507-192-33-01

Alıntı / Cite

Yıldızhan, D., Erenoğlu, A.K., Erdiñç, O., (2022). Elektrikli Araç Entegrasyonunun Dağıtım Sistemine Etkilerinin İncelenmesi ve Şarj İstasyonu Altyapısının Tayin Edilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(4), 1232-1242.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

D. Yıldızhan, 0000-0002-2686-3440
A.K. Erenoğlu, 0000-0002-9578-6194
O. Erdiñç, 0000-0003-0635-9033

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	08.05.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	30.06.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	05.07.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2022

1. Giriş (Introduction)

Nüfus artışı ile fosil yakıtların bilinçsizce kullanımı küresel ısınma, iklim değişikliği gibi birçok sorunu ortaya çıkarmıştır. Karbon emisyonu da ilgili olumsuz sonuçlardan biri olmakla beraber atmosfere yayınlan CO2 miktarı olarak tanımlanabilir. Bu gazlar güneşten gelen ışınların yansımalarını önleyerek yer yüzünün sıcaklığının artmasına yani ısınmaya sebep olmaktadır.

Dünyada hali hazırda enerji ihtiyacının %83'si fosil yakıtlardan sağlanmaktadır (BP Statiscal,2021). Bu oran ilk olarak sanayi devrimden sonra artışa geçmiştir. Sanayi devriminden önce 280 milyonda bir (ppm) olarak ölçülen karbon salınımı 2013 yılında 400 ppm değerinde ölçülmüştür. Bu da 263 yıllık bir süreçte karbon emisyonu artışının %43 bandında olduğunu göstermiştir (Kibert, 2016).

Karbon emisyonu ve etkilerini azaltmak amacıyla 2019 yılında Avrupa Birliği Komisyonu Yeşil Mutabakat protokolü hazırlamış ve gerekli regülasyonlar ile yönetmelikleri içeren ilk paketini de onaya sunmuştur. Bu paket 2030 yılına kadar karbon emisyonunu %55 oranında azaltmayı hedeflemektedir (European Green Deal,2019). Bu yaptırımların sonucu ve getirilen karbon salınımı sınırlamaları ile birçok sektör bu tedbirlerden ciddi oranda etkilenecektir.

Etkilenecek sektörlerin başında gelen ulaşım sisteminde en radikal dönüşüm fosil yakıtlı araçların yerini EA'ların almasıdır. Fakat bu entegrasyon sadece ulaşım sistemini etkilemekle kalmaz aynı zamanda güç sistem altyapısının hazır olmasını zorunlu kılar. 2035 yılına kadar yakıtlı araçlardan kaynaklı karbon emisyonunun sifıra ulaştırılması hedeflenmektedir (European Comission, 2019). Hedefi gerçekleştirebilmek için ise hem küre ölçeğinde hem de ülkemizde piyasaya EA modeli sunma ve altyapı geliştirme faaliyetlerine ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Sadece EA'ların üretilmesi değil sürdürülebilir bir işletim için planlama, devreye alma, şarj istasyonu kurulumları, konum analizleri ve konvansiyonel güç sistemine olan etkiler de detaylı olarak incelenmelidir.

Avrupa için durum değerlendirildiğinde, EA satışları 2021'de yaklaşık %70 artarak 2,3 milyona ulaştı ve bunların yaklaşık yarısı şarj edilebilir hibrit araçlardır. Yıllık büyüme, satışların iki kattan fazla arttığı 2020'dekinden daha yavaş olsa da pandemiden henüz kurtulamayan genel bir Avrupa otomotiv pazarının zemininde gerçekleşti. 2021'deki toplam otomobil satışları, 2019'dakinden %25 daha düşük gerçekleşti. Avrupa'da 2019-2020 yıllarındaki EA satışlarındaki artış, kısmen yeni karbon emisyon standartlarından kaynaklanmıştır (International Energy Agency, 2022). Ülkemizde ise bu oranlar giderek artış göstermekte teşvikler ve yatırımlar ile pazar payının önemli bir seviyeye ulaşacağı öngörülmektedir. Türkiye'de 2013 yılından 2022 yılına kadar satılan EA'ların toplam sayısı 5004 olmakla beraber sadece 2021 yılında satılan EA miktarı 2020 yılında satılan EA miktarından yaklaşık %237 daha fazladır (Enerji Atlası, 2022). Diğer ülkelere nazaran araç talebinin yükselişi yeterli oranda belirgin olmasa da Türkiye'de yerel elektrikli araç üretim kapasitesinin yaratılması zaten var olan sanayi temelini etkileyebilir (Arnold ve Provan, 2019).

31 Mayıs 2018 yılında kurulan Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu tarafından üretilecek EA'ların 2022 yılı içerisinde kullanıma sunulması hedeflenmektedir (Sanal Savunma TOGG, 2022). Aralık 2019 yılında ilk EA prototipi kamuoyuna tanıtılmıştır. Ülkemizin attığı bu adımlar EA üretiminde küre ölçeğinde bir paydaş olmasını amaçladığını ortaya koymaktadır. Diğer ciddi bir yatırım olarak da Koç Holding'in Volkswagen AG ile yaptığı 1,4 milyar Euro bedelindeki elektrikli ticari araç üretimi anlaşmasıdır (Koç Medya, 2021).

Ülkemizdeki tüm bu gelişmeler ve öte yandan artan nüfus da göz önünde bulundurulduğunda EA'ların sayılarının gün geçtikçe artacağı aşikardır. İlgili talebi karşılamak amacıyla yaygınlaşacak şarj istasyonları hizmet veren dağıtım şirketlerinin alt yapılarını ciddi derecede etkileyecektir. Özellikle son zamanlarda site gibi yaşam alanlarının yoğunlaşması, diğer bir taraftan artan kentleşme ve nüfusla birlikte büyük kapasiteli otoparkların genişlemesiyle karşı karşıyayız. Bahsedilen alanlardaki EA girişimi, şebekeden talep edilen birim alan başına düşen gücü yükselterek dağıtım sisteminin olumsuz etkilenmesine sebebiyet verebilir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Alanla ilgili literatür irdelendiğinde EA fosil yakıtların tükenmesi ve çevresel baskı nedeniyle hızla geliştirilmektedir. Ancak esnek bir kaynak olarak EA şarjı belirsizliklerle doludur ve şebekeye geniş ölçekli entegrasyonu ile büyük bir dağıtık üretim sistemi gibi çalışabilir. Bu durumun dağıtım sisteminin güvenilir çalışmasını zorlaştırdığı ve güvenilirlik seviyesinin artırılması için sistemin doğrusal olmayan kısmının doğrusallaştırılması gerektiği iki dereceden koni esnekliği tekniği kullanılarak benimsenmiştir (Xue vd., 2022). Başka bir çalışmada ise EA şarjlarının dağıtım şebekesi güvenilirliği, gerilim düşümü, güç kaybı gibi etkilerinin getirdiği maliyetler temel alınarak EA şarjlarının optimal konumda olması gerektiği önerilmiş ve bu optimizasyonu sağlayabilmek için yapılan çalışmada evrimsel hesaplama metodu benimsenmiştir (Ahmaad vd., 2022). Bir çalışmada ise EA'ların günlük yük eğrisi üzerinde mevsimlerin etkilerini hesaba katmış ve düşünülenin aksine EA şarjının şebeke entegrasyonuna getirdiği zorluğun kış aylarındansa yaz aylarında daha fazla olduğunu sunmuştur (Nafi vd., 2022). EA'ların yoğun olduğu ilgili bölgelerde eş zamanlı çok sayıda EA şarjı ile şarj noktalarının ve transformatörlerin aşırı yüklenip yanması veya açması, gerilim düşümlerinin artması ve harmoniklerin oluşumu kaçınılmaz görünmektedir (Ucer vd., 2018). EA şarjları ile birlikte oluşacak olan yük talebinde güç sisteminin dengesi de etkilenecektir bu sebeple şebeke hattının bir bütün olarak çalıştığı göz ardı edilmemelidir (Das vd., 2020). Şarj istasyonlarının şebeke sistemine etkilerini azaltabilmek için şebeke sisteminin esnek çalışabilir hale gelmesi ve yük aktarımlarının yapılması gerektiği önerilmiştir (Liu vd., 2021). EA sayılarının artması ve piyasada rekabet edebilmeleri için dağıtım şebekesine entegrasyonundaki sorunları çözüme ulaştırmaları gerekmektedir (Araujo vd., 2021). Yine EA'ların şarjı, oluşacak aşırı harmoniklerle güç sisteminde potansiyel bir sorun teşkil eder (Staats vd., 1997). Aşırı harmonik akım bozulmasına sahip şarj sistemleri, ikincil dağıtım hattı ve transformatör değerinin düşmesine veya hizmet kalitesi sorunlarına neden olabilir (Bass vd., 2001).

Doğal olarak, dağıtım sistem operatörü hizmet sahasındaki koordinasyonsuz EA şarjının önüne geçebilmek ve potansiyel EA girişiminden sistem varlıklarını koruyabilmek için analizler gerçekleştirmelidir. Özellikle sistemin talebi kaldırabilme gücü ve gerilim düşümü gibi hesaplamalara göre elektriksel sistem varlıklarının belirlenen kriterleri aşmadan çalışabilmesine devam edebilmesi önem arz etmektedir. Düzgün bir sistem işletimi ancak analizler ve soruna yönelik stratejilerin geliştirilmesi ile sağlanabilir. Literatürde bazı çalışmalarda da görüleceği üzere şarj istasyonları üzerinden yapılan optimizasyon çalışmalarının dağıtım sisteminin daha güvenli, istikrarlı ve ekonomik çalışmasında önemli bir role sahip olduğu belirtilmiştir (Wang vd., 2019).

EA şarj ve deşarjını düzenleyen hem planlanma hem de işletimsel açıdan durumu ele alan birçok çalışma olduğu görülmüştür. Bir çalışmada EA'ların esnek yük olarak kabul edilmesi ve güç yönetimine katılımında şarj istasyonu üzerinden enerjinin ayarlanarak aracın şarj olabildiğini önerilmiştir (Diaz vd., 2018). Şarj istasyonlarının dağıtım sisteminde bulunan transformatör ömrüne etkisini inceleyebilmek amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda ise, transformatör ömrü ile şarj istasyonundan çekilen akımın toplam harmonik distorsiyonu ikinci dereceden bir bağıntıyla ortaya konmuş ve transformatör ömrünün azalmaması için toplam harmonik distorsiyon değerinin %25-30 bandında sınırlandırılması gerektiği ifade edilmiştir (Gomez ve Morcos, 2003; Xu vd., 2014; Lucas vd., 2015). Ayrıca toplam harmonik distorsiyon değerinin düşmesi için yapılan farklı bir analizde LCL(Endüktans-Kondansatör-Endüktans) filtre önerilmiş ve oransal olarak %30'dan fazla harmonik düşüşü görülebilmektedir (Güven ve Akbaşak, 2021). Başka bir çalışmada ise EA şarjının dağıtım sistemine etkilerinden olan güç faktörünün düşmesi ve akım harmoniklerinin oluşması kontrol edilebilir olmasına rağmen enerji verimliliğini artırırken olumsuz bir etki olarak maliyetleri arttıracığı ve sistemin daha da karmaşık hale gelmesi ile dağıtım sisteminin stabil kalabilmesi için çözüm olarak bir aktif güç sınırlandırılması getirilmesi gerektiği bu sınırı sağlayamayan EA şarj istasyonlarının ise kabul edilemez olması önerilmiştir (Berisha vd., 1996). Dağıtım sisteminde transformatör ömrü üzerine yapılan bir çalışmada ise EA şarj istasyonlarının transformatörler üzerinde yarattığı aşırı yüklenme ve yüklenme sonucu transformatörlerin termal ısılarının artmasının transformatör ömürlerini olumsuz etkileyeceği bu yüzden yüksek yalıtımlı dağıtım transformatörlerinin geleneksel dağıtım transformatörlerinin yerini alması önerilmiştir (Qian vd., 2021). Değişimin ve ilgili stratejilerin sadece dağıtım sistem tarafında yapılması yeterli olmayacaktır aynı şekilde EA şarj istasyonlarının seçimi konusunda da çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu konu ile ilgili yapılan bir çalışmada EA şarj istasyonları türleri karşılaştırılmış ve dağıtım sistemine olan etkileri üzerinden PWM şarj istasyonunun EA şarj istasyonları çalışmalarında sıklıkla tercih edilmesi gerektiği önerilmiştir (Bently vd., 2010).

- Yapılan bu çalışmada ise dağıtım sistem operatöründen alınan gerçek veriler ışığında ihtiyaca binaen kurulması planlanan şarj istasyonlarının güç sistemine etkileri detaylı analizler ışığında irdelenmiştir.
- Sistem operatörünün işletim sahasında bulunan ve şarj istasyonu altyapısı kurulabilecek belli noktaların şebeke varlıkları üzerinde neden olabileceği potansiyel değişimler tablo ve grafiklerle detaylandırılmıştır.
- Otopark işletmecisinden alınan gerçek araç verileri işlenerek farklı durum analizleri gerçekleştirilmiş ve geleceğe yönelik tavsiyeler sistem operatörü perspektifinden sunulmuştur.

Çalışmada kullanılan dağıtım sisteminin tanıtılması, DigSILENT PowerFactory V15.1 ortamında gerçekleştirilen test ve analizlerin sonuçları ise 3. Bölümde anlatılmıştır. Elde edilen kapsamlı sonuçlar 4. Bölümde detaylı bir şekilde irdelenmiş ve sunulmuştur.

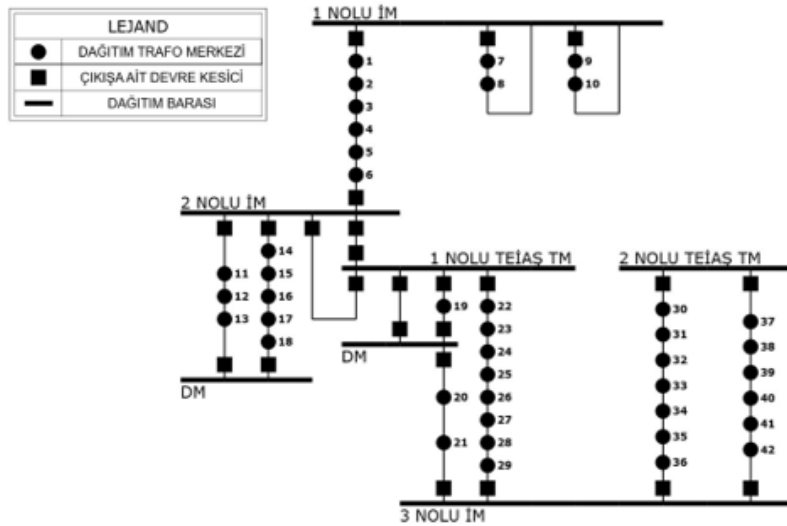
3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada incelenen dağıtım sistemi, bölge özelliklerine ve yapısına göre değişmekle birlikte çoğunlukla dengeli yüklerin olduğu ring şebeke yapısına sahiptir. Ring şebeke yapısının sistem operatörüne sağladığı esneklikler arasında arızaların giderilme süresi ve arızadan etkilenen abone sayısının azalması yer almaktadır. Arıza noktasının tespit edilmesinden sonra arızalı envanterin ayrılıp abonelerin başka bir merkez üzerinden beslenmesi manevra talimatlarına göre yapılmaktadır. Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından belirlenen yönetmeliklere göre dağıtım sistem operatörlerinin tedarik sürekliliği performans göstergeleri bulunmaktadır. Bu performans göstergelerinden bir tanesi ortalama kesinti süresi göstergesi performans puanı (SAIDI) bir diğeri ise ortalama kesinti sıklığı göstergesi performans puanı (SAIFI) olarak belirlenmiştir (EPDK Kalite Faktörü, 2021).

Türkiye’de bulunan dağıtım sistem operatörlerinin arıza sayısının ve süresinin iyileştirilmesi kapsamında dikkat ettiği özelliklerden bir tanesi de uygun transformator seçimleridir. Genellikle yağlı ve kuru tip transformatorler tercih edilmektedir. Dağıtım sistem operatörüne ait çalışma yapılan bölgede çoğunlukla kuru tip transformatorler kullanılmaktadır. Kuru tip transformatorler yağlı tip transformatorlerle karşılaştırıldığında kısa devre önleme kabiliyeti, ısı dayanımı, mekanik ve elektriksel mukavemet gibi birçok özellik bakımından daha üstün performansa sahiptir. Bu performans üstünlükleri ile kurulum kolaylığı bakımından daha yaygın kullanılmaktadır (Ding ve Ning, 2012). Tüm bunların yanı sıra kuru tip transformatorlerin ısıl geçirgenliği yağlı tip transformatorlerden daha düşük olması sebebiyle transformator ömrünü ve performansını olumsuz olarak etkiler (Shaker, 2011; Rahimpour ve Azizian, 2007).

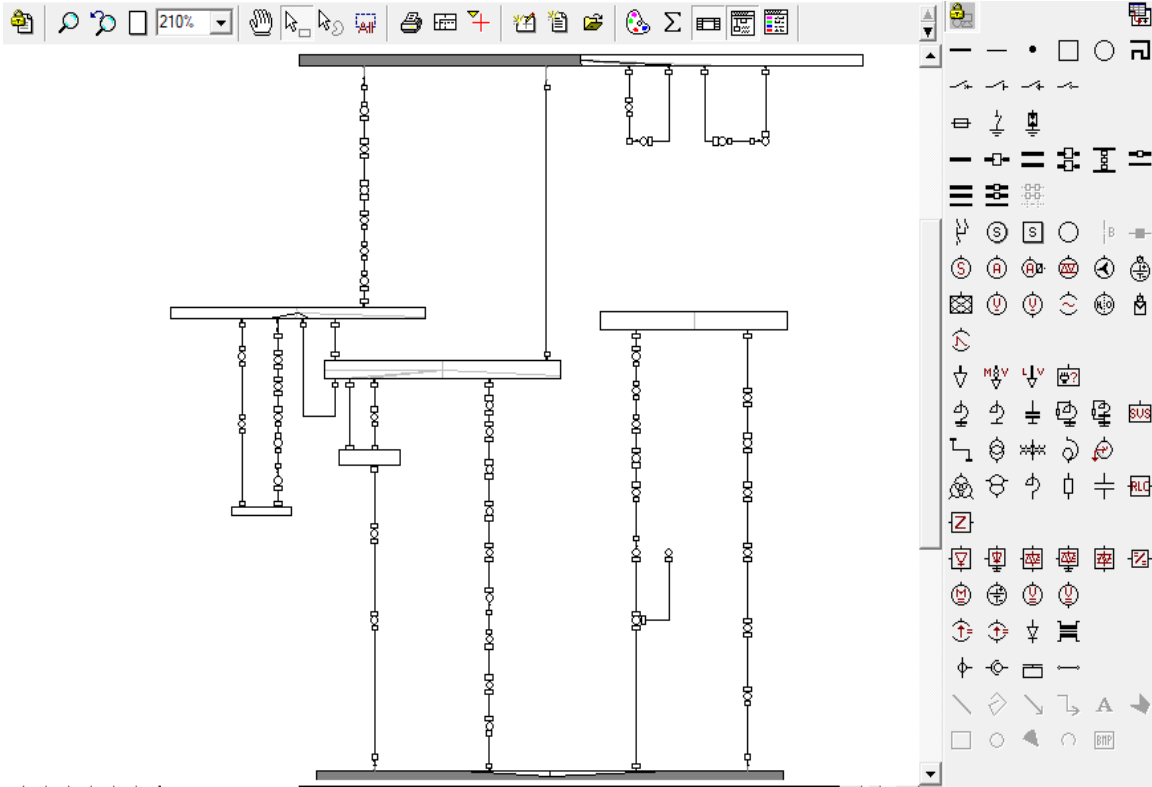
Bu çalışmada dikkate alınan dağıtım sisteminin ilgili bölgesine ait 34,5kV tarafı tek hat verisi Şekil 1’deki gibidir. Burada iletim sistemi yani TEİAŞ bağlantı noktaları görülmektedir. İndirici merkezler ile 34,5 kV seviyesindeki gerilim 10 kV seviyelerine getirilmektedir. Çalışma bölgesinde ilgili TEİAŞ merkezlerinden beslenen 42 adet transformator merkezi görülmektedir. Bu merkezlerde gerektiğinde manevra yapılarak besleme yönü değiştirilmektedir. 1 Nolu İndirici Merkezde toplamda 10 adet dağıtım transformator merkezi, 2 Nolu İndirici Merkezde 8 adet ve sırasıyla 1 Nolu TEİAŞ Transformator Merkezi ve 2 Nolu TEİAŞ Transformator Merkezinde ise 11 ve 13 adet dağıtım transformatorü çıkışları alınmıştır.

Bölge tek hattı ve transformator verileri DigSILENT PowerFactory V15.1 ortamında işlenmiş ve test edilmiştir. Kararlı hal, dinamik ve geçici hal modellemeler yapabilmek için uygun bir çalışma ortamı sunan ilgili program, elektrik güç sistemlerinde analizler yapmak amacıyla kullanılan bir mühendislik yazılımıdır. Elektrik güç sistemleri üzerinde yapılması zor ve karmaşık olan birçok analizi gerçekleştirmeye olanak sağlar. Yük akışı analizi, gerilim düşümü analizi, kısa devre analizi, kararlılık analizi, harmonik hesaplamaları, mesafe ve aşırı akım zaman koruma, optimal yük akışı ve güvenilirlik analizlerini yapabilmektedir. Bu çalışmada ise detaylı güç akışı analizleri ilgili programın arka planında çalışan Newton-Raphson yaklaşımıyla sağlanmıştır.



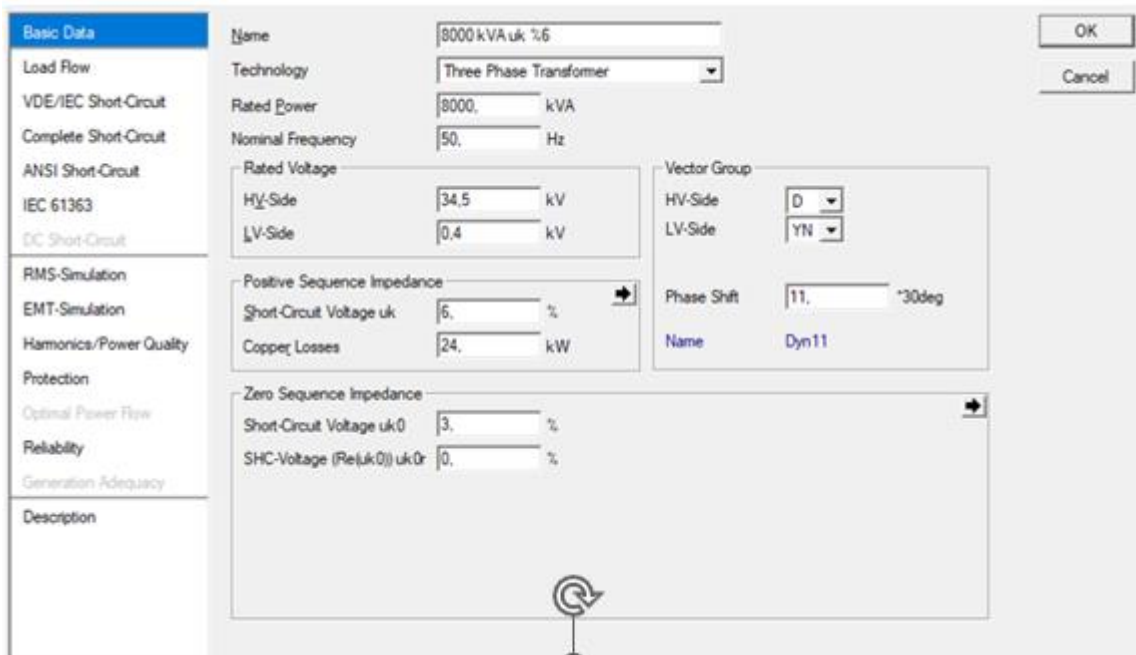
Şekil 1. Çalışma Bölgesindeki Dağıtım Merkezleri ve İletim Sistemi Bağlantılarına Ait Tek Hat Gösterimi (Single Line Display Of Distribution Centers and Transmission System Connections In The Study Area)

PowerFactory V15.1 ortamına aktarılmış olan dağıtım sisteminin ara yüzü Şekil 2’de gösterildiği gibidir. Ekranın sağ kısmında yer alan editör bölgesinde transformatörler, bağlantı elemanları gibi elektrik devre componentleri yer almaktadır. Akım, gerilim ölçümleri de buradaki yapılar kullanılarak sağlanabilmektedir.



Şekil 2. Çalışma Bölgesine Ait Tek Hat Diyagramının DigSILENT PowerFactory ortamında Modellenmesi (Transfer Of The Review To The DigSILENT PowerFactory V15.1 Program)

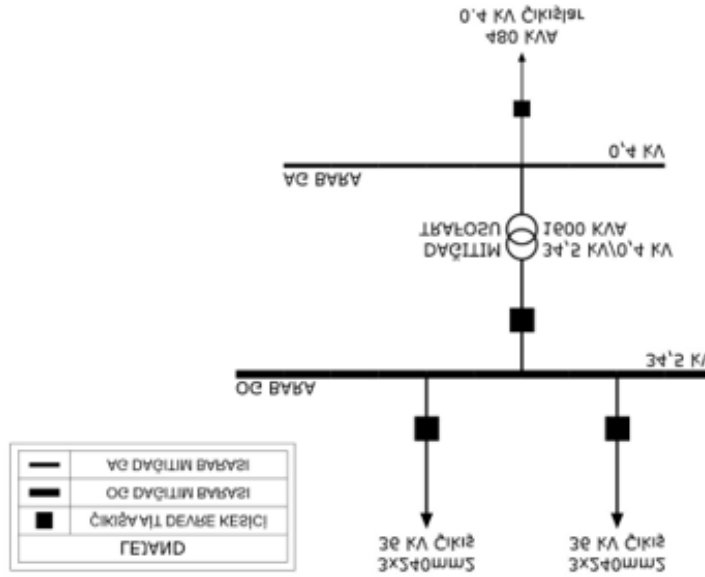
Şekil 1’de tek hat gösterimi verilen sistemin DigSILENT ortamında detaylı modellenmesi sağlanmıştır. Transformatör merkezleri gerçek veriler ışığında programa aktarılmıştır. İlerideki bölümlerde kapsamlı olarak veri girişleri ve elemanların özellikleri tartışılacaktır.



Şekil 3. Çalışma Bölgesinde Bulunan 34,5/0,4 kV Gerilime Sahip Transformatörün DigSILENT PowerFactory Programında Veri Girişinin Yapılması (Transfer Of Transformer Parameters To The DigSILENT PowerFactory)

Çalışılan bölgedeki sistem varlıklarına ait elektriksel parametreler Şekil 3'te gösterildiği gibi benzetim ortamına aktarılabilir. Burada örnek olarak çalışma bölgesindeki 35 kV primer gerilimi ve 8000 kVA görünür güce sahip transformatörün özellikleri tanımlanmıştır. 50 Hz şebeke frekansında çalışan bu üç fazlı transformatörün kısa devre anındaki gerilim değişimi değerlerine de ilgili şekilden ulaşılabilmektedir. Veri girişi ve/veya değişikliğinin yapılabileceği bu ara yüz ile farklı durum analizleri gerçekleştirilebilir. Dağıtım sistem operatörünün yönettiği tüm alanda veya istenildiği takdirde seçilen belirli bir bölümde de yük akışı analizi yapılabilir.

Bu bilimsel çalışmada, Türkiye'nin en yoğun semtlerinden biri dikkate alınmış ve sonuçlar detaylandırılmıştır. Şekil 4'te EA bağlantısının yapılacağı transformatör merkezine ait dağıtım sistem modeli görselleştirilmiştir. EA bağlantısı gerçekleştirilmeden önce ilgili çalışma bölgesindeki güç akışı analiz sonuçları OG barası, AG barası ve transformatör için alınmıştır. İlgili transformatör merkezinden beslenen mevcut yük 792 kW aktif güç, 112,85 kVar reaktif güç ve 0,99 güç faktörüne sahiptir. EA bağlantısının yapılacağı 0,4 kV AG barada aktif ve reaktif güç herhangi başka bir yük olmadığından dolayı mevcut yükün değerleri ile aynıdır. Yapılan yük akışında AG barada %2,2, OG barada ise %1,5 gerilim düşümü ölçülmüştür.



Şekil 4. EA Bağlantısının Gerçekleştirileceği Dağıtım Merkezinin Tek Hat Gösterimi (Single Line Diagram of The Distribution System for EV Connection)

Şebeke modelinde EA bağlantısının yapılacağı YXYX isimli transformatörün akış sonucu mevcut elektriksel değerleri Tablo 1'de ifade edildiği gibidir. 1600 kVA görünür güce sahip ilgili transformatörün yüzde gerilim düşümü ve kısa devre gerilim değerleri sırasıyla 3,94 ve 6 olarak verilmiştir.

Tablo 1. EA Bağlantısının Gerçekleştirileceği Transformatörün Elektriksel Özellikleri (Electrical Characteristics Of The Transformer For EV Connection)

PARAMETRELER	TRANSFORMATÖR YXYX
GÖRÜNÜR GÜÇ	1600 KVA
FREKANS	50 Hz
GÜÇ FAKTÖRÜ	0,98
GERİLİM SEVİYESİ	34.5/0.4 kV
GERİLİM DÜŞÜMÜ	%3,94
KISA DEVRE UK	6

Çalışma bölgesindeki YXYX numaralı transformatör merkezinden beslenmesi beklenen ilgili otoparkın özellikleri Tablo 2'de ifade edildiği gibidir. Hali hazırda bu otopark, 790 araç kapasiteli, sözleşme gücü 620 kW, 24 saat hizmet veren ve turistik bölge olduğundan nüfus olarak yoğun bir otopark tipidir. Doğal olarak araç sirkülasyonunun yüksek olduğu bu otopark için yapılan analizler benzeri yapıdaki diğer otoparklara uygulanabilir haldedir.

Tablo 2. Çalışmada Dikkate Alınan Otoparkın Genel Özellikleri (General Features Of The Parking Area Considered In This Study)

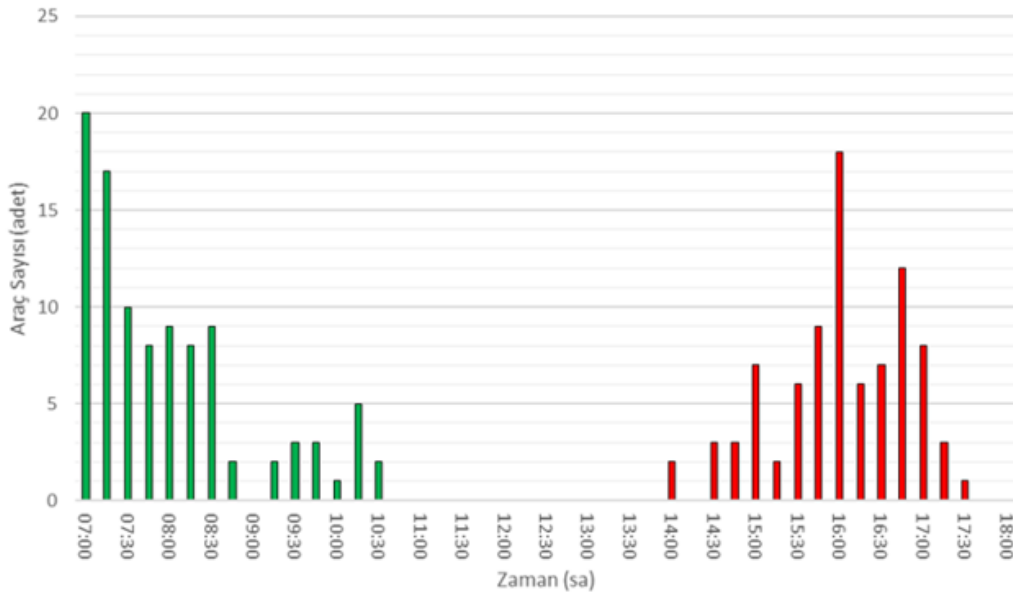
XY Otopark	
ARAÇ KAPASİTESİ	790
SÖZLEŞME GÜCÜ	620 kW
OTOPARK TİPİ	Açık
ÇALIŞMA SAATLERİ	24 Saat

Otopark işletmecisinin araç kapasitesine ve sistem operatörünün müsaade ettiği sözleşme gücüne göre 20 adet AC şarj istasyonu kurulumu yapabileceği öngörülmüştür. İlgili şarj istasyonunun özellikleri Tablo 3'te verilmiş olup burada 22 kW güçle araçların şarj edilebilmesi mümkündür. Nominal gerilim değeri 400 V mertebesinde olan bu şarj istasyonunda 2 adet soket bulunmaktadır. Maksimum besleme akımı ise 32 A mertebesindedir. Çalışmanın yapılacağı sisteme ise bu şarj istasyonlarından kurulduğu varsayılmıştır.

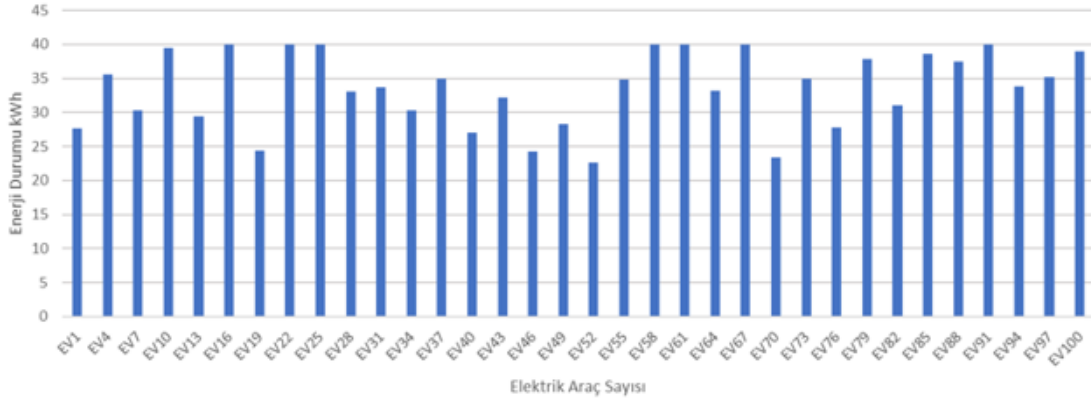
Tablo 3. Çalışmada Dikkate Alınan Şarj İstasyonuna Ait Özellikler (Features Of The Charging Station Considered In This Study)

SERİ	EVLINK
ÜRÜN ADI	EVlink Parking
MONTAJ TİPİ	Dikili
NOMİNAL GERİLİM	230 V AC 50/60 Hz Kontrol Devresi 380..415 V AC 50/60 Hz Güç Devresi
SOKET SAYISI	2
MAKSİMUM BESLEME AKIMI	32 A
MAKSİMUM GÜÇ	22 kW

Farklı bir bölgede bulunan otopark işletmecisinden alınan gerçek araç verileri işlenmiştir. 100 tane EA'nın otoparka geliş ve gidiş zamanının dağılımı Şekil 5'deki gibidir. İlgili şekilde görüldüğü üzere araçlar saat 07:00'dan itibaren otoparka giriş yapmaktadır. Yoğunluklu olarak günün ilk saatlerinde otoparka varan araçların otoparktan ayrılışı ise saat 14:00'da başlayabilmektedir. Özellikle akşam saatlerinde yani 16:00-17:00 aralığında araç gidişlerinin artış gösterdiği söylenebilir. EA'ların güç sistemine etkisi irdelenirken mobileden kaynaklı belirsizliklerin dikkate alınması önem arz etmektedir.

**Şekil 5.** Çalışmada Dikkate Alınan EA'ların Otopark Alanına Geliş Gidiş Saatleri (Arrival And Departure Times Of EVs To The Parking Area)

Araçların şarj olmaya başlamadan önce yani otoparka vardıklarındaki enerji durumları ise Şekil 6'da görselleştirilmiştir. En düşük enerji durumu seviyesi 22 kWh, en yüksek enerji durumu ise 40 kWh'tir. Araçların gidiş-geliş zamanlarındaki belirsizliğin yanı sıra EA şarj istasyonundan talep edilecek gücün de belirsizliği böylelikle çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. 100 adet aracın hepsinin verileri yerine seçilen bazı araçlar detaylandırılmıştır.



Şekil 6. Çalışmada Dikkate Alınan EA'ların Başlangıçtaki Enerji Durumu (Initial State Of Energy EVs)

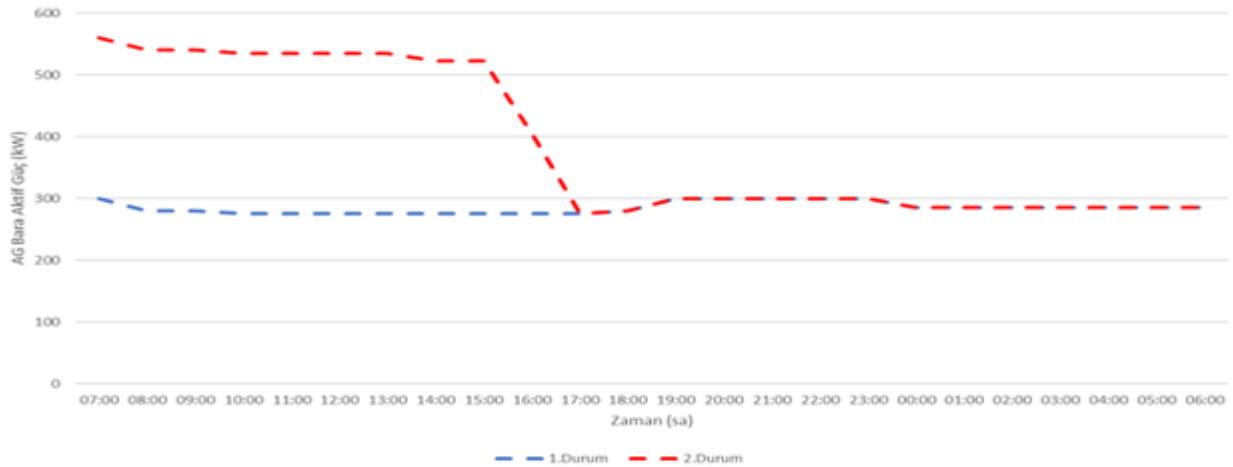
Dikkate alınan EA'ların teknik özelliklerinin Tablo 4'deki gibi olduğu ve aynı özellikteki araçların otoparkta şarj olduğu varsayılmıştır. Maksimum enerji durumunun 50 kWh, minimum enerji durumunun 10 kWh olduğu bu araçlar 6 kW güçle şarj/deşarj edilebilmektedir. Aracın verimi ise 0,95 olarak işlenmiştir. Ayrıca park alanından ayrılacak aracın en az %85 seviyesinde enerjiye ulaşması kısıt olarak eklenmiştir.

Tablo 4. Çalışmada Dikkate Alınan EA'ların Teknik Özellikleri (Technical Specification Of EVs Considered In This Study)

EA (1-100)	
MAKSİMUM ENERJİ DURUMU	50
MİNİMUM ENERJİ DURUMU	10
ŞARJ GÜCÜ	6 kW
ŞARJ VERİMİ	0,95

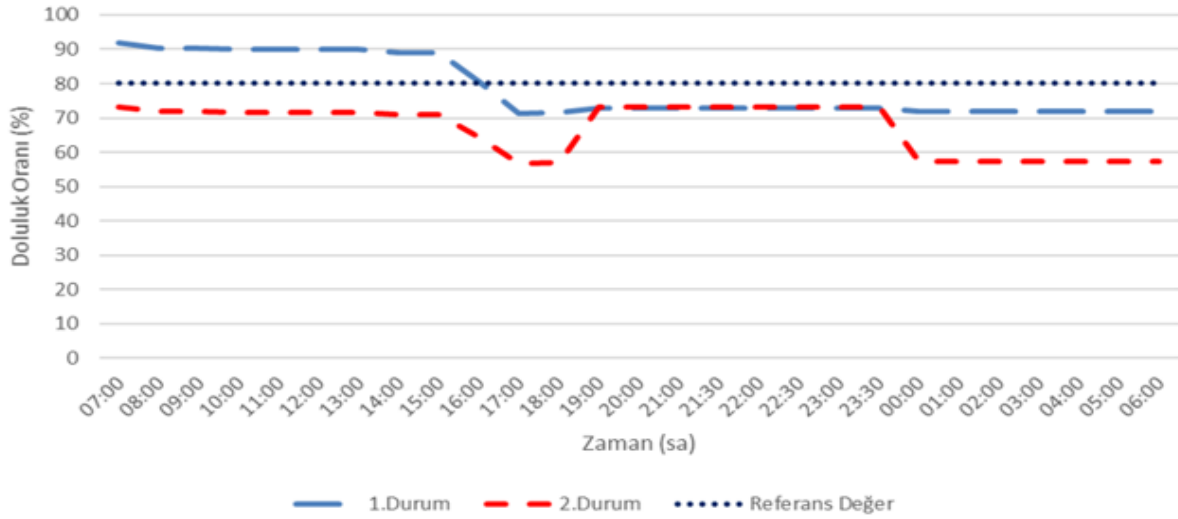
4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Dağıtım sisteminin AG barasından bağlanması düşünülen otopark alanının 100 tane EA'yı şarj etmesi ve belirlenen %85 sınırında enerji durumuna ulaştırması durumunda araçların dağıtım sistemine olan etkileri bu bölümde detaylandırılacaktır. Benzetim çalışması 24 saatlik bir zamanda ve 15 dakikalık zaman aralığında elde edilmiştir. EA bağlantısının yapılmadığı ilk durum analizinde ilgili otopark alanının ve mevcut AG yükün AG baradan çekilen aktif güç Şekil 7'de 1.durum olarak, EA bağlantısı yapıldığında AG baradan çekilen aktif güç ise 2.durumda yük akışı analizi sonucunda karşılaştırmalı olarak verilmiştir. İkinci durumda EA bağlantısı ile birlikte yükün yoğun saatlerde neredeyse iki katına çıktığı görülebilmektedir. Çünkü bu saatlerde otoparka gelen ve dolayısıyla şarj istasyonundan talep edilen güçte ciddi artış yaşanmaktadır. Neredeyse iki katına çıkan talebin merkezden beslenmesi güç sistem varlıkları üzerinde olumsuz bir etkiye neden olabilir. Bu etkiyi dikkate alacak şekilde planlamanın yapılması ve böylece yaşanma ve diğer arızaların önüne geçilmesi hedeflenmelidir. Saat 07:00'da başlayan araç şarjı saat 17:00'a kadar sürmekte ve sonrasında iki durum analizinin sonuçları aynı noktada kesilmektedir.



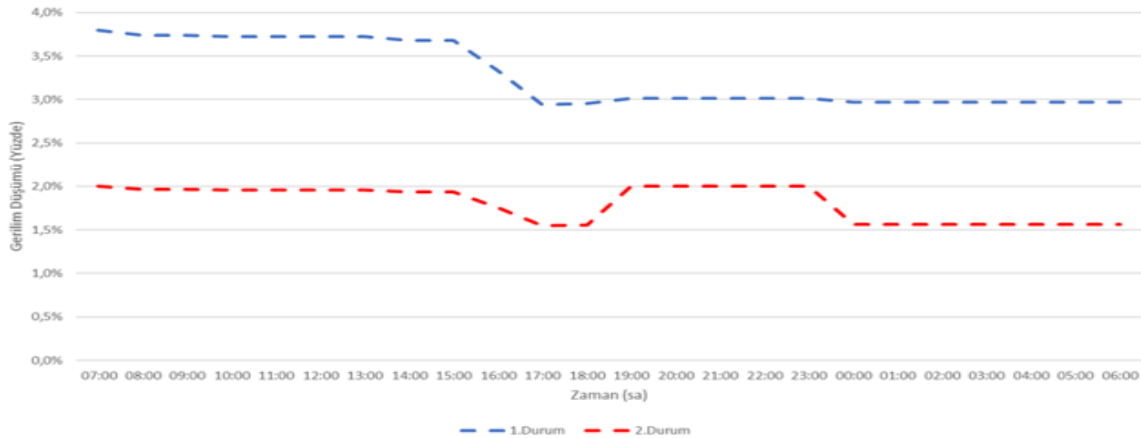
Şekil 7. EA Bağlantısı Yapılmadan Önce ve Sonra AG Barasının Aktif Güç Analizi (LV Bus Active Power Analysis Before And After EVs Connection)

Dağıtım sisteminde transformatörlerin % 80'den daha fazla yüklenmesi istenmediği için sınır değeri %80 olarak belirlenerek mevcut transformatör gücü üzerinden yüklenme oranları yük akışı analizi sonucunda belirlenmiştir. Şekil 8'de 1.Durumda bir günlük benzetim sonucunda transformatörün yüklenmesi ve %80'lik band gösterilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere özellikle sabah saatlerinde, transformatörün yüklenmesinin %80 değerinin üzerinde ya da çok yakınında olduğu gözlenmiştir. Çünkü belirtilen saat aralığında araçlar otoparka giriş yapmakta ve çıkış saatine kadar şarj edilmektedir. Doğal olarak şarj işleminin gerçekleştiği zamanlarda aşırı yüklenmeler ve pik talep oluşumu meydana gelmiştir. Sistemi bu şekilde işletmek transformatörün aşırı yükten açmasına ve dağıtım sistem operatörlerinin uygulamakla yükümlü olduğu Kalite Faktörü Yönetmeliği Uygulaması Usul ve Esaslarına göre tedarik sürekliliğini sağlayamamasına sebep olacaktır. İkinci durum analizinde ise transformatörün gücünün yükseltilmesi ve böylece talebin karşılanması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, mevcut transformatör gücünün 1,25 katı olacak şekilde 2000 KVA görünür güç değerine sahip transformatör analizlerde dikkate alınmıştır. DİGSILENT PowerFactory V15.1 ortamında elde edilen günlük transformatör yüklenmesi ve %80'lik band Şekil 8'deki 2.durum gibi elde edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 8. Mevcut Transformatör Gücü Doluluk Oranı ile 1,25 Katı Transformatör Gücü Doluluk Oranı Karşılaştırması (Comparison Of Current Transformer Power Occupancy Rate With 1.25 Times Transformer Occupancy Rate)

EA'ların dağıtım sistemine etkilerinden biri olan gerilim düşümüne ait analiz sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. 1.durum analizinde mevcut transformatör gücü ile EA bağlantısının yapıldığında transformatörün AG barasında meydana gelen gerilim düşümü, 2.durum analizinde ise mevcut transformatör gücünün 1,25 katı ile meydana gelen gerilim düşümü karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Gerilim düşümü bir şebekede kayıpları ifade edebilir ayrıca cihaz hasarlarına sebebiyet verebilir bu bakımdan dağıtım sistem operatörleri tarafından AG barada gerilim düşümünün her zaman %3'ten düşük olması istenir. Mevcut yükte EA bağlantısı ile gerilim düşümü oldukça yükselmiş ve bu da hem işletilen şebekede kayıplara hem de son kullanıcı olan tüketicinin cihazlarında hasarlara neden olacaktır. Transformatör gücünün yükselmesi ile AG baradaki gerilim düşümü %3 seviyesinden aşağı düşmektedir ve daha sağlıklı bir şebeke için imkân tanımaktadır.



Şekil 9. AG Barada Mevcut Transformatör Gücü Gerilim Düşümü İle 1,25 Katı Transformatör Gücü Gerilim Düşümü Karşılaştırması (Comparison Of Current Transformer Power Voltage Drop And 1.25 Times Transformer Power Voltage Drop In LV Bus)

Sonuçlar irdelendiğinde, transformatör gücünün 2000 kVA değerine çıkartılması ile transformatör yüklenme oranları ve gerilim düşümü ciddi oranda azalmış ve günlük çalışma periyodunda bu değer %80'in ve %3'ün altında seyretmiştir. İki durum analizi kıyaslandığında yüksek güçlü transformatörün ilgili otopark işletmecisi için tercih edilmesi gerektiği ifade edilebilir. Öte taraftan, düşük güçlü transformatör gücünün dikkate alındığı durumda şarj istasyonunun 24 saat boyunca talebinin 120 kW bandında olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, seçilen şarj istasyonu ortalama bir istasyon olup daha hızlı ve güçlü DC şarj istasyonları kullanıldığında yüksek güçlü transformatörün dahi yeterli olmayacağı aşikardır. Ayrıca çalışılan bölgenin nüfusunun dinamik ve artma eğiliminde olduğu göz önünde bulundurulursa sadece şarj istasyonlarının ya da araç sayısının %5 arttığı bir senaryoda yine yüksek güçlü transformatörün gücünün talebi kaldırmaya yeterli olmayacağı öngörülmektedir. Yani kısa vadede çözüm sunan transformatör gücünün artırılması seçeneği ilerleyen zamanlarda yetersiz kalacak ve dağıtım sistem operatörlerinin farklı stratejiler geliştirmesinin zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Yapılan detaylı analizler sonucunda EA'ların hatlardaki ve transformatörlerdeki yüklenmelerin ciddi oranda arttığı ve sınırların üzerine çıktığı gösterilmiştir. 100 aracın otopark bölgesine geldiği durumda bağlı olan transformatör merkezinin 1,25 katına çıkarıldığı hali karşılaştırılmıştır ve düzgün işletim için transformatör gücünün 1,25 katına çıkarılması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. İlk senaryoda yani transformatör gücünün 1600 kVA olduğu durumda en yüksek transformatör yüklenmesinin sabah saatlerinde %91,93 seviyesinde olduğu yani dağıtım sistem operatörünün belirlediği %80 dolulukla çalışma bandını geçtiği görülmüştür aynı zamanda en yüksek gerilim düşümünün %3,75 seviyesinde olduğu ve operatörün belirlediği maksimum %3 gerilim düşümünü de aştığı görülmüştür. Aynı parametreler transformatör gücünün 2000 kVA olduğu durumda ölçüldüğünde en yüksek transformatör yüklenmesinin sabah saatlerinde %73,16 seviyesinde, gerilim düşümünün ise en yüksek %2 seviyesinde olduğu görülmüştür. Bu sayede transformatör gücünün artırılması ile yaşlanma maliyetlerinin azalacağı ön görülmüş. Hem artan nüfustan hem de EA'ların sayısının gün geçtikçe artacağı bunun gibi analiz çalışmalarının da artması gerektiği sonucunu doğurmaktadır. Bu konuda dağıtım şebekeleri bir plan yapmalıdır. Bu çalışmalardan en kolay transformatör gücünün artırılması gibi görünse de bu çözümde ilerleyen zamanlarda maalesef yeterli olmayacaktır. Çalışmanın incelendiği otopark işletmecisi gibi toplu elektrik şarj istasyonu kurulacak bölgelere ait bir transformatör tesis edilebilir ancak bu da çalışmanın yapıldığı bölge gibi alanın yeterli olmadığı sıkışık ve kalabalık semtlerde transformatör tesisi için uygun alanın bulunması konusunda zorluk çıkaracaktır. Dağıtım sistem operatörleri çözüm önerisi olarak tesis edeceği merkezin konumu ve alanını, anlaşma yapacağı otopark sahiplerinin bulmasını veya kendi alanlarından bir kısmını ayırmasını isteyerek ilerletebilir. Tüm bu sonuçlar ışığında EA popülasyonunun artmasında birinci dereceden etkilenecek olan dağıtım sistem operatörlerinin geleceğe yönelik planlar ve analizler yapmasını kaçınılmaz kılacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Ahmad F., Iqbal A., Ashraf I., Marzband M., Khan I., 2022. Placement of Electric Vehicle Fast Charging Stations using Grey Wolf Optimization in Electrical Distribution Network. 2022 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy.
- Araujo A., Araujo D., Vasconcelos A., Rosas P., Medeiros L., Conceicao J., 2021. A Proposal for Technical and Economic Sizing of Energy Storage System and PV for EV Charger Stations with Reduced Impacts on the Distribution Network. CIRED 2021 Conference.
- Arnold, M., Provan, S., 2019. German industrial output fall exacerbates fears of recession. Financial Times.
- Bass, R., Harley, R., Lambert, F., Rajasekaran, V., & Pierce, J., 2001. Residential harmonic loads and EV charging. In: Proceedings of the 2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Volume 3, 803-808.
- Bentley E. C.; Suwanapingkarl P.; Weerasinghe S.; Jiang T.; Putrus G. A.; Johnston D., 2010. The interactive effects of multiple EV chargers within a distribution network.
- Berisha, S., Karady, G., Ahmad, R., Hobbs, R. and Karner, D., 1996. Current Harmonics Generated by Electric Vehicle Battery Chargers. Proceedings of the 1996 International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, New Delhi, 8-11 January 1996, 584-589.
- BP Statistical Review of World Energy, 2021.
- Das, H. S., Rahman, M. M., Li, S., & Tan, C. W. (2020). Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid Integration: A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, Article 109618. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109618>
- Diaz, C., Ruiz, F., & Patino, D., 2018. Smart Charge of an Electric Vehicles Station: A Model Predictive Control Approach. In: Proceedings of the 2018 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA), 54-59

- Enerji Atlası, 2022. Türkiye'deki Elektrikli Otomobil Sayıları (<https://www.enerjiatlası.com/haber/turkiye-deki-elektrikli-otomobil-sayısı>)
- EPDK, Kalite Faktörü Uygulaması, 2021. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/4-283/kalite-faktoru-uygulamasina-iliskin-usul-ve-esas>
- European Commission, 2019. Communication from the commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal [Online].
- European Green Deal, 2019. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf.
- EPDK, Kalite Faktörü Uygulaması, 2021. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/4-283/kalite-faktoru-uygulamasina-iliskin-usul-ve-esas>
- Gómez, J. Carlos, Morcos, Medhat M., 2013. Impact of EV Battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems 2013. IEEE.
- Güven A.F, Akbaşak S.B., 2021. Elektrikli Araçlarda DA hızlı Şarj Ünitelerinin Şebeke Altyapısına Etkilerinin İncelenmesi. International Energy Agency, 2022. Electric cars fend off supply challenges to more than double global sales, Leonardo Paoli, Clean Energy Technologies analyst Timur Gül, Head of the Energy Technology Policy Division Commentary.
- Koç Medya, 2021. <https://www.koc.com.tr/medya-merkezi/haberler/2021/turkiyenin-en-buyuk-yatirimi-yine-ford-otosandan>.
- Liu Yanping, Li Xin, Liang Yi, Shunqi Zeng, 2021. Assessment of Impacts on Integration of Disorderly EV Charging Load to Flexible Distribution Network. 2021 11th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering.
- Lucas Alexandre, Fausto Bonavitacola, Evangelos Kotsakis, Gianluca Fulli, 2015. Grid harmonic impact of multiple electric vehicle fast charging, Electric Power Systems Research, Volume 127, 2015, Pages 13-21.
- Nafi Mahmud I., Tabassum S., Hassan Rafid Q., Abid F., 2022. Effect of Electric Vehicle Fast Charging Station on Residential Distribution Network in Bangladesh. IEEE 2021 2021 5th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT) Military Institute of Science and Technology (MIST), Dhaka-1216, Bangladesh
- Rahimpour E., Azizian D., 2006. Analysis of temperature distribution in castresin dry-type transformers, Electr Eng (2007), pp.301-309, April 2006.
- Sanal Savunma TOGG, 2022. <https://www.sanalsavunma.com/togg-2022-yili-sonunda-seri-uretim/>
- Sen Qian;Xiaojing Zhang;Chuan Chen;Hongkang Wang;Jinghong Guo;Yang Xu., 2021. Ageing Evaluation of the Distribution Transformer under Varying Load due to Electric Vehicle Charging.
- Shaker 隼 Yomna O., 2011. Sensitivity Study of Transient Temperature of Cast-Resin Dry Type Transformer. Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS), 2011 2nd International Conference on, 15-17 Nov. 2011.
- Staats, P. T., Grady, W. M., Arapostathis, A., & Thallam, R. S., 1997. A statistical method for predicting the net harmonic currents generated by a concentration of electric vehicle battery chargers. IEEE Transactions on Power Delivery, 12(3), 1258-1266.
- Ucer, E., Kisacikoglu, M. C., & Cafer Gurbuz, A. (2018). Learning EV Integration Impact on a Low Voltage Distribution Grid. In: Proceedings of the 2018 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), 1-5. doi:10.1109/PESGM.2018.8586208
- Wang Lu;Wan Youhong;Weitao Cao;Chunxia Fan, 2019. Chinese Automation Congress (CAC). Optimizing Strategy of Spatial Orderly Charging for EVs Based on Complex Network Theory.
- Xu Y., Chen Z., Peng F. and Beshir M., 2014. Harmonic analysis of electric vehicle loadings on distribution system. 2014 IEEE International Conference on Control Science and Systems Engineering, 2014, pp. 145-150.
- Xue Ping;Xiang Yue, Shafie-khah Miadreza, Zhou Run, 2022. Robust Joint Planning of Electric Vehicle Charging Infrastructures and Distribution Networks. IEEE Conference Paper.
- Xueqian Ding;Wang Ning, 2012. Analysis of the Dry-type Transformer Temperature Field Based on Fluid-solid Coupling. Second International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control.