

Konut Bölgelerinde Elektrikli Taşıt Şarj İstasyonlarının Elektrik Şebekesine Entegrasyonunun Analizi

Recep Buğra MERT^{1*}, Nurettin UMURKAN²

Öz

Ekonomik ve çevresel etkenler elektrikli taşıt sayısını küresel boyutta önemli bir seviyeye ulaştırmıştır. Bu durum, dağıtım şebekelerinin tasarım ve yönetimi üzerine etkilerinin incelenmesi gerekliliğini zorunlu kılmaktadır. Elektrikli taşıtların dağıtım şebekelerine etkisi üzerine birçok çalışma yapılmasına rağmen, Türkiye dağıtım şebekesine uygulanan çalışmalar çok fazla yapılmamıştır. Çevre dostu olan elektrikli taşıtların gerekli altyapı hazır olmadan yaygınlaşmasıyla birlikte taşıtların şarj işlemlerinde problemlerin ortaya çıkması beklenmektedir. Toplu konut projelerinde kurulu ve talep güçleri arasında ciddi fark bulunmaktadır. Bu farktan dolayı konut bölgeleri içerisinde elektrikli taşıt şarj istasyonu kurulması planlama açısından daha uygun olacaktır. Bu çalışma, konut bölgelerinde elektrikli taşıtların Türkiye alçak gerilim dağıtım şebekelerine entegrasyonu analizi üzerine yoğunlaşmaktadır. Gerçek kullanıcı verileri ile ortaya çıkan durumlara göre elektrikli taşıt şarj istasyonları kullanım karakteristiği entegre edilmiş dağıtım şebekesi modellenip incelenmiştir ve geniş çaplı elektrikli taşıt şarj istasyonu kullanım modeli geliştirilmiştir. Ek olarak, transformatör yüklenmeleri, hat yüklenmeleri ve şebeke kayıplarına dayalı sonuçların elde edilmesi ve sunulması üzerine bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, dağıtım şirketlerinin gerekli yatırımları ve zamanlarını belirlemede yardımcı olacaktır. Dağıtım şirketlerinin planlama mekanizmasını geliştirip dağıtım şirketlerinin daha gerçekçi ve doğru yatırım planlarını düzenleme kuruluna ibraz edebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Taşıt, Dağıtım Şebekesi, Şarj İstasyonu, Akıllı Şebekeler.

Analysis of The Electrical Vehicles Charging Stations into Electrical Distribution Network in Residential Areas

Abstract

The number of electrical vehicles has reached a substantial value all over the globe due to economic and environmental factors. The increasing penetration of EVs to the distribution grids urges the requirement to investigate the impacts of EVs on the planning and operation of distribution networks. Despite the fact that there are numerous studies discussing the impacts of EVs on distribution grids, a particular study concerning the Turkish distribution networks does not enough. It is expected that some problems will occur in the charging process of vehicles with eco-friendly electric vehicles becoming widespread without the necessary infrastructure ready. Differences between installed power and demand power in residential projects. This study focus on the impacts of EVs of low voltage distribution networks in residential areas in Turkey. In this study, Integrated distribution network with real user data and the usage characteristics of the revealed situations electric vehicle charging stations was modelled and examined. A large-scale use of an EVs charging stations has been developed. A methodology is developed to obtain and present network results based on transformer overloads, cable overloads and grid losses. This methodology will help the decision maker determine the investments on the distribution networks and associated time frame. That will develop the planning mechanism of distribution companies and they will submit more realistic and accurate investment plans to the regulatory agencies.

Keywords: Electric Vehicle, Distribution System, Charging Station, Smart Grids.

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Tesisleri Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye, rbugramert@gmail.com

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, umurkan@yildiz.edu.tr

¹<https://orcid.org/0009-0006-2570-1921>

²<https://orcid.org/0000-0002-4001-4066>

1. Giriş

Günümüzde çevre ve hava kirliliğinin artması geri çevrilemez derecede önemli etkiler oluşturmaya başlamıştır. Bu etkileri azaltmak için fosil yakıt kullanımının azaltılması ve hatta terk edilmesi için çeşitli çevrelerden son derece ciddi uyarılar yapılmaktadır. Hava kirliliğinin artmasıyla sera gazlarının normalden yüksek derecede salınımı sonucu küresel ısınma ve iklim değişikliği problemleri oluşmaktadır.

Dünyadaki elektrik enerjisi talebinin %83'ü son istatistiklerde fosil yakıtlardan karşılandığı görülmektedir (BP Statiscal,2022). Tarihte ilk defa sanayi devrimiyle birlikte fosil yakıtların kullanımı artma başlamıştır. Fosil yakıtların kullanımının artması veya azalmasını havada bulunan CO2 değerinin ölçülmesi ile belirlenmektedir. 2013 yılında 400 ppm olarak ölçülen karbon emisyonu oranı sanayi devriminden öncesinde ölçülen zaman diliminde 280 ppm olarak ölçülmüştür. Bu ölçümler göz önüne alındığında yaklaşık 263 yıllık bir dönemde %43 civarlarında bir karbon emisyonu artışı gözlemlenmiştir (Kibert, 2016).

Avrupa Birliği Komisyonu Yeşil Mutabakat protokolü karbon emisyonu ve karbon emisyonunun neden olacağı sonuçları minimum düzeye indirmek amacıyla 2019 yılında hazırlanmıştır. Bu protokolde etkilerin azaltılmasını sağlayacak regülasyonlar ve yönetmelikler onaya sunulmuştur. Hedef olarak 2030 yılına kadar karbon emisyonu değerinin %55 oranında indirilmesi belirlenmiştir (European Green Deal,2019). Bu protokol içeriğinde bulunan regülasyon ve yönetmeliklerde bulunan karbon salınımı sınırlamaları nedeniyle birçok sektör önemli oranda etkilenecektir.

Elektrikli taşıtlar, fosil yakıtlı taşıtların yerini almasıyla ulaşım sektörü karbon salınımı sınırlaması nedeniyle etkilenecek sektörler listesinin başında yer almaktadır. Elektrikli taşıtların bu nedenle sayısının artması ile ulaşım sektörünün yanında güç sistemi altyapısının geliştirilmesi gerektiğinden dolayı enerji sektörünü de etkileyecektir. Rapor incelendiğinde fosil yakıtlı araçların neden olduğu karbon emisyonu değerinin 2035 yılına kadar sıfıra ulaştırılması planlanmaktadır (European Comission, 2019). Bu hedef kapsamında başarı sağlamak adına hem dünyada hem de ülkemizde elektrikli taşıt modellerinin piyasaya sürülmesi ve doğacak olan enerji talebinin karşılanması adına altyapı yatırımlarının yapılması gerekmektedir. Elektrikli taşıtlara geçişin sürdürülebilir bir modelde yapılması için şarj istasyonlarının kurulumları, yerleşim analizleri, güç sistemlerine olan etkileri ve optimize edilmiş şarj modelleri detaylı olarak incelenmelidir.

Avrupa'daki elektrikli taşıt sayılarına göz atarsak, elektrikli taşıt satış oranları yaklaşık %70 artarak 2021 yılında 2.3 milyon seviyelerine ulaşmış bulunmaktadır. Elektrikli taşıtların yarısı şarj edilebilen hibrit araç modellerinden oluşmaktadır. 2019 yılındaki elektrikli taşıt satış oranı 2021 yılına göre %25 daha fazla gerçekleşmiştir. 2020 yılındaki elektrikli taşıt satış sayısı, 2021 yılındaki

sayılara göre iki kattan daha fazla sayıdadır. 2019 ve 2020 yıllarındaki elektrikli taşıt satış sayısının fazla olması yeni karbon emisyon standartlarından kaynaklanmaktadır (International Energy Agency, 2022). Ülkemizdeki elektrikli taşıt sayısı artış göstermekte olup sağlanan teşvik ve yatırımlar ile elektrikli taşıt pazar payı gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye’de 2021 yılında satılan elektrikli taşıt sayısı 2020 yılında satılan elektrikli taşıt sayısından %237 fazla olup 2022 yılına kadar toplamda 5004 elektrikli taşıt satılmıştır (Enerji Atlası, 2022). Talep artışı belirgin olmasa da yerel elektrikli taşıt üretim kapasitesi zaten var olan sanayi temelini etkileyecektir (Arnold ve Provan, 2019).

Ülkemizde Türkiye’nin Otomobili Gelişim Grubu’nun üretimini sağladığı elektrikli taşıtların 2023 yılı içerisinde satışına başlanacağı ve artan nüfus göz önünde alındığında elektrikli taşıtların sayısının gün geçtikçe artacağı aşikardır. Elektrikli taşıtların bataryalarını şarj amacıyla sayısının artması gereken şarj istasyonlarının neden olacağı enerji talebi nedeniyle elektrik dağıtım şirketlerinin altyapıları etkilenecektir. Günümüzde toplu yaşam alanlarının yoğunlaşması, diğer yandan kentleşmenin ve nüfusun artmasıyla birlikte büyük kapasiteli otoparklar yaygınlaşacaktır. Bahsedilen alanlardaki elektrikli taşıtların girişimi, elektrik şebekesinden talep edilen birim alan başına düşen enerji miktarını yükselterek dağıtım sisteminin olumsuz etkilenmesine sebebiyet verecektir.

2. Literatür Taraması

Konut bölgelerinde elektrikli taşıt şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine etkisinin analizi ile ilgili literatür incelendiğinde, elektrikli taşıtların fosil yakıt kullanması ve çevresel etkilerinden dolayı gelişimi hız kazanmıştır. Ancak elektrikli taşıt şarjı esnek bir kaynak olarak belirsizliklerle doludur ve geniş ölçekli bir dağıtım üretim sistemi gibi şebekeye entegre edilebilir. Bu durum, dağıtım sisteminin güvenilir çalışmasını zorlaştırdığından, doğrusal olmayan kısımların doğrusallaştırılması gerektiği iki dereceden koni esnekliği tekniği kullanılarak güvenilirlik seviyesinin artırılması benimsenmiştir (Xue vd., 2022). Farklı bir çalışmada elektrikli taşıtların şarj edilmesinde elektrik dağıtım şebekesi güvenilirliği, gerilim düşümü, güç kaybı gibi etkilerinin oluşturduğu ek maliyetler temel alınarak elektrikli taşıtların şarj edilirken optimal konumda olması gerektiği önerilmiş ve evrimsel hesaplama metodu benimsenerek optimizasyonu sağlanmaya çalışılmıştır (Ahmaad vd., 2022). Elektrikli taşıtların günlük yük eğrisi üzerinde mevsimsel etkilerini hesaba katan bir çalışmada, düşünülenin aksine, elektrikli taşıtların şebekeye entegrasyonunda yaz aylarında kış aylarına göre daha fazla zorluk çıkardığı ve şarj anında daha fazla zorluk yarattığı sunulmuştur (Nafi vd., 2022). Elektrikli taşıtların sayısının fazla olduğu lokasyonlarda aynı zamanda fazla sayıda elektrikli taşıtların şarj edilmesi ile şarj istasyonlarının ve dağıtım transformatörlerin yüklenme oranlarının hızlı bir biçimde artması yanmaya veya açma neden olup, gerilim düşümlerinin artması ve harmoniklerin ortaya çıkmasına neden olması kaçınılmazdır (Ucer vd., 2018). Elektrikli

taşıtlar şarjlarıyla birlikte oluşacak yük talebinde elektrik güç sisteminin dengesi etkilenecektir. Bu nedenle, elektrik şebeke hattının bütünsel olarak çalıştığı göz ardı edilmemelidir (Das vd., 2020).

Elektrik şebeke sisteminin esnek çalışabilir hale gelmesi ve yük aktarımlarının yapılması, şarj istasyonlarının elektrik şebeke sistemine etkisini azaltmak için önerilmiştir (Liu vd., 2021). Elektrikli taşıtların sayılarının artması ve rekabet edebilmeleri için dağıtım şebekesine entegrasyonundaki sorunları çözmeleri gerekmektedir (Araujo vd., 2021).

Dağıtım sistem operatörü, koordinasyonsuz elektrikli taşıt şarjının potansiyel etkilerinden korunmak ve sistem varlıklarını korumak için analizler yapmalıdır. Özellikle, sistemin talep karşılama kapasitesi ve gerilim düşümü gibi hesaplamalar, elektrikli sistem varlıklarının belirlenen kriterleri aşmadan çalışabilmesi için önemlidir. Sorunsuz bir sistem işletimi, analizlerin ve soruna yönelik stratejilerin geliştirilmesiyle sağlanabilir. Ayrıca, literatürdeki bazı çalışmalar, şarj istasyonları üzerinden yapılan optimizasyon çalışmalarının, dağıtım sisteminin daha güvenli, istikrarlı ve ekonomik çalışmasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Wang vd., 2019).

Bu alanda yapılan birçok çalışmaya baktığımızda elektrikli taşıtların şarj ve deşarj durumlarını düzenleyen hem planlama hem de işletme perspektiflerin incelendiğini görülmektedir. Yapılan bir çalışmada esnek yük olarak belirtilen elektrikli taşıtların elektrik güç sistemi yönetiminde elektrikli taşıt şarj istasyonu üzerinden enerjinin ayarlanarak elektrikli taşıtın şarj olabilmesi önerilmiştir (Diaz vd., 2018). Bir çalışmada elektrikli taşıt şarj istasyonlarının elektrik dağıtım sisteminde yer alan dağıtım transformatörlerinin ömrüne olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, dağıtım transformatörünün ömrü ve elektrikli taşıt şarj istasyonundan çekilen akımın toplam harmonik distorsiyonu ikinci dereceden bir hesaplama ile formülize edilmiştir. Toplam harmonik distorsiyon değerinin azaltılması için farklı bir analiz çalışmasında, LCL filtresi kullanılması analiz edilmiştir ve %30 oranında harmonik seviyesinde azalma gözlemlenmiştir (Güven ve Akbaşak, 2021). Başka bir çalışmada, geleneksel dağıtım transformatörleri yerine yalıtımı yüksek seviyede olan dağıtım transformatörlerinin kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Elektrikli taşıtlar şarj esnasında dağıtım transformatörlerinin doluluk oranını arttırmaktadır. Dağıtım transformatörünün aşırı yüklenmesi sonucu termal sıcaklıkların artmasının ömrünü kötü yönde etkilemesi bu seçim için neden olarak gösterilmiştir (Qian vd.,2021).

• Yapılan bu çalışmada ise dağıtım sistem operatöründen alınan gerçek veriler ile toplu konut bölgesinde kurulması planlanan şarj istasyonlarının güç sistemine etkileri irdelenmiştir.

• İnceleme yapılan toplu konut bölgesinde şarj istasyonu altyapısı kurulabilecek belli noktaların şebeke varlıkları üzerinde neden olabileceği değişimler tablo ve grafiklerle detaylandırılmıştır.

• Elektrikli taşıt şarj istasyonu üreticisinden alınan teknik veri tablosuna göre veriler işlenerek belirlenen durumlar ışığında analizler gerçekleştirilmiş, geleceğe yönelik tavsiyeler sistem operatörü perspektifinden sunulmuştur (Vestel Proje Ortağım, 2023).

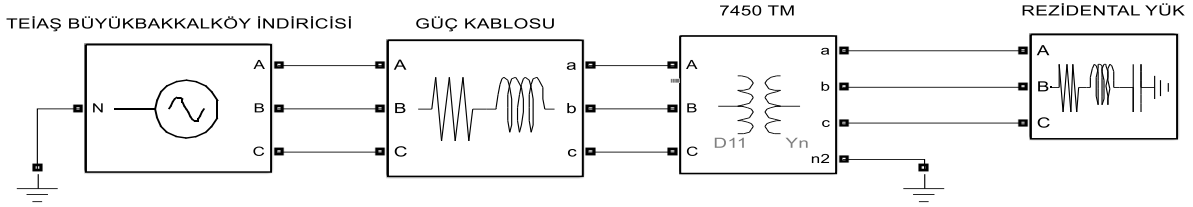
- Ortaya çıkan durumlar ve Türkiye'nin 2025 ve 2030 yılları elektrikli taşıt sayısı tahminleri dikkate alınarak ekonomik analizler yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan elektrik dağıtım sisteminin simülasyonu Matlab&Simulink 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

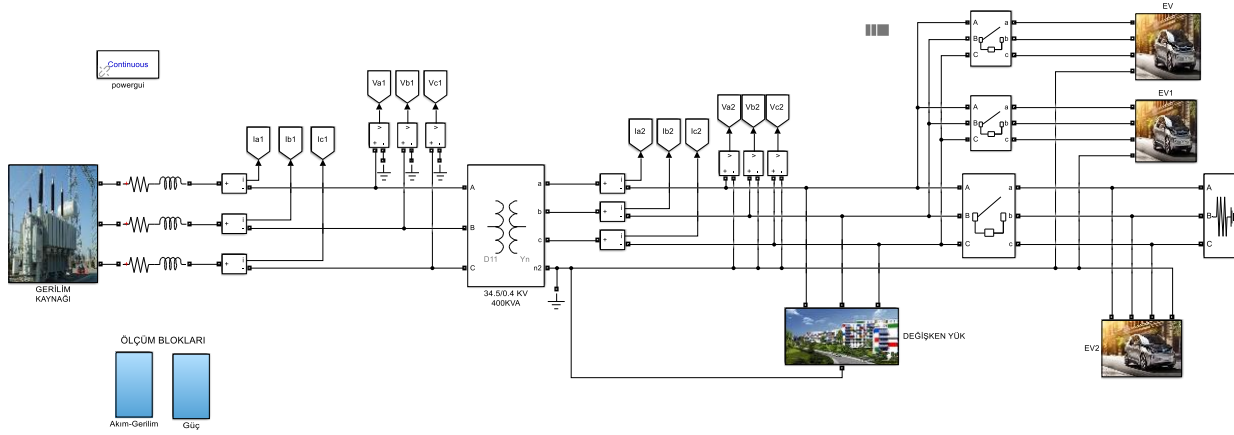
Bu çalışmada incelenen elektrik dağıtım sistemi, toplu konut projelerinin yoğunlukta olduğu çoğunlukla dengeli yüklerin olduğu ring şebeke yapısına sahiptir. Ring şebeke yapısının elektrik dağıtım sistemine sağladığı kolaylıklar arasında arızaların giderilme süresi ve arızadan etkilenen abone sayısının azalması yer almaktadır. Arıza noktasının belirlenmesi sonrasında, arızalı şebeke envanteri ayrılır ve abonelerin başka bir noktadan beslenmesi, manevra talimatlarına uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından belirlenen yönetmeliklere ve uygulama esaslarına göre, dağıtım sistem operatörlerinin tedarik sürekliliği performans göstergeleri bulunmaktadır. Bu performans göstergelerinden biri, ortalama kesinti süresi (SAIDI), diğeri ise ortalama kesinti sıklığı (SAIFI) olarak tanımlanmaktadır (EPDK Kalite Faktörü, 2021).

Bu çalışmada simülasyonu oluşturulan elektrik dağıtım sisteminin ilgili bölgesine ait 34.5 kV gerilim seviyesine ait tek hat modeli Şekil 1'deki gibidir. Elektrik dağıtım şebekesindeki enerji tabirleri temiz enerji ve kirli enerjidir. Temiz enerji TEİAŞ indiricisinden çıkan fiderdir. Buna primer fider de denir. Kirli enerji ise TEİAŞ indiricisinden dağıtım merkezine geldikten sonra bu dağıtım merkezi etrafında yapılan ringler arasındaki fiderlerdir. Enerji, dağıtım merkezinden ring hat üzerindeki trafo merkezlerine elektrik enerjisini iletmek için kullandığı her ring fiderinden sonra kirlenir. Burada kirlenme terimi, enerjinin geçtiği transformatör merkezleri üzerindeki yüklerin enerjinin kalitesini düşürdüğü için kalitesi düşmüş enerji tanımındadır. Temiz enerji de gerilim düşümü ve nispeten harmonik seviyeleri oldukça düşüktür. Alınacak ölçümlerin daha doğru olması amacıyla TEİAŞ indiricisinden gelen fiderin uğradığı ilk dağıtım merkezi olan toplu konut bölgesi seçilmiştir.



Şekil 1. Seçilen Çalışma Bölgesinin Simulink Programında Elektrik Dağıtım Şebekesi Basit Simülasyonu (Basic Simulation of the Electrical Distribution Network in the Simulink Software)

Simulink programı üzerinden oluşturulan detaylı simülasyon devresi Şekil 2'deki gibidir. Burada güç transformatörü, kullanılan güç kablosu, dağıtım transformatörü, değişken yük (konut bölgesinin çektiği güç), 3 adet elektrikli taşıt şarj istasyonu ve ölçüm blokları oluşturulmuştur.



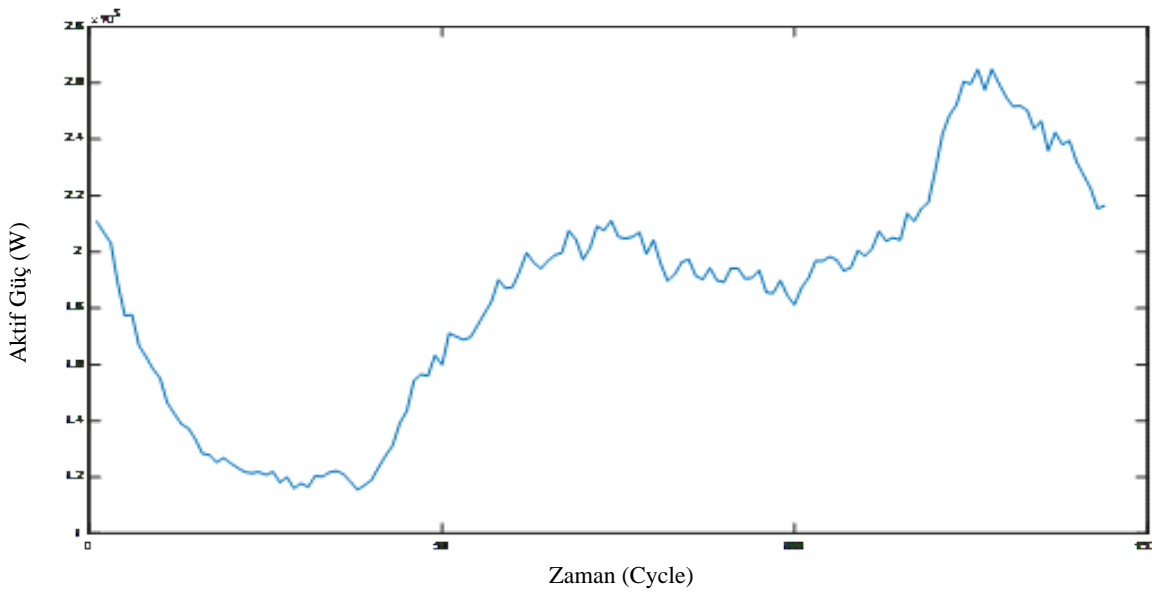
Şekil 2. Seçilen Çalışma Bölgesinin Simulink Programında Elektrik Dağıtım Şebekesi Detaylı Simülasyonu (Detailed Simulation of the Electrical Distribution Network in the Simulink Software)

Oluşturulan simülasyondan bahsetmek gerekirse burada TEİAŞ Büyükbakkalköy indiricisinden gelen Tepe (H11) fideri 7450 ve o ringde bulunan diğer trafoları beslemektedir. 7450 Dağıtım Merkezi (DM) fiderin ilk uğradığı merkezdir. Buradan diğer transformatör merkezlerine gitmektedir. Dağıtım transformatörünün gücü 1600 kVA olup alınan ölçümler sonucu trafonun sadece %5 doluluk oranı olduğu saptanmıştır. Bunun üzerine sistemin davranışını daha iyi incelemek, elektrikli taşıt eklendiğinde sistemde oluşan farkların daha doğru incelenmesi ve gerçeğe yakın elektrikli taşıt sayısını sağlamak amacıyla simülasyonda 400 kVA alınmıştır. Transformatör Dyn11 bağlantı gruplu hermetik tipte dağıtım trafosudur. Yükte kaybı 14310 W, boştaki kaybı 2033 W, %uk değeri 2.76 olup 6 kademeli (mevcut durumda 4. kademede bulunmaktadır), ONAN soğutma sınıfı, primer akımı 27.9 A ve sekonder akımı 2309.4 A özellikleri bulunmaktadır. (İlk kademe 28500V ve son kademe 36000V) Yüksek gerilimde genelde 3x240 Cu veya 3x400 Al kablo kullanılır. Kullanılan 7450 DM'ye gelen kablolar 3x400 Al kablo olduğu için 3x400 Al kablonun km başına empedans değerleri alınmıştır. Evsel yük değerleri ise trafonun AG tarafında bağlanan güç kalite cihazı (GKC)

ve dağıtım merkezine gidilerek alınan akım, gerilim vb. ölçüm sonuçları ile oluşturulan bir yük modellemesidir.

İncelemesi yapılan bölgenin; elektriksel değerleri, İstanbul Anadolu Yakası bölgesinin elektrik dağıtımından sorumlu olan ilgili dağıtım şirketine ait SCADA merkezi ve güç kalite cihazı aracılığıyla ölçülmüştür (G. Erten, kişisel iletişim 05 Ocak 2023). SCADA merkezinden ve güç kalite cihazından alınan veriler 10'ar dakikalık periyotlarda alınan ölçüm sonuçlarını içerisinde barındırmaktadır.

Seçilen bölgedeki dağıtım merkezinden beslenen sitenin güç kalite cihazından ve dağıtım merkezinden alınan yük kayıtlarına göre profili Şekil 3'teki gibidir.



Şekil 3. Seçilen Çalışma Bölgesinin Simulink Programında Yük Profiline Simülasyonu (Simulation of Load Profile in The Simulink Software)

Burada 7450DM'nin dağıtım trafosunun AG tarafındaki çıkışından alınan bir günde aktarılan toplam gücü göstermektedir. Maksimum talebin olduğu saatler 20.00-21.00 arası ve minimum talebin olduğu aralık ise 03.00-04.00 olduğu görülmektedir. Sabah 7.00'dan sonra enerji talebinin arttığı ve akşam saatlerinde maksimum olduğu görülmektedir. Maksimum noktadan alınan ölçümde yaklaşık olarak 260 kW enerji çekildiği ve minimumda ise yaklaşık 120 kW olduğu sonucu çıkmaktadır.

Bu bilimsel çalışmada, toplu konut bölgelerinin içerisinde yer alan elektrikli taşıt şarj istasyonlarının etkilerinin analizi yapılmıştır. Kullanılmış verilerin ve gerçekleşen analizlerin tümü gerçek veriler ışığında yapılmıştır. Kullanılan elektrikli taşıt şarj istasyonunun teknik karakteristiği Tablo 1'de verilmiştir (Vestel Proje Ortağım, 2023).

Tablo 1. Elektrikli Taşıt Şarj İstasyonu Elektriksel Karakteristiği (Electrical Characteristics of the Electrical Vehicle Charging Station)

MODEL	EVCO2-11
Güç	11 kW
Gerilim	400V AC, 3 Faz
Akım	1x16A
Soket Tipi	TIP2EU
Boyut	647X180X184
Ağırlık	11.2 Kg
IK Sınıfı	IK10

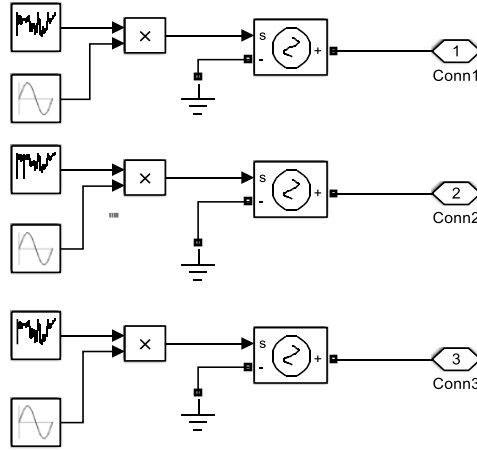
Bu çalışmada simülasyon devresinde oluşturulan elektrikli taşıt şarj istasyon blokları kullanılarak belirlenen şarj edilme durumlarının analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu durumlar, Türkiye’de kullanılan elektrik tariflerine göre oluşturulmuştur. Türkiye elektrik sisteminde mesken tüketici grubunda toplamda 2 adet abonelik türü bulunmaktadır. Abonelik türü olarak karışımımıza tek zamanlı ve çift zamanlı tür olarak belirtilmektedir. Çift zamanlı içinde 3 adet tarife bulunmaktadır.

Bu tarifeler gündüz, puant ve gece tarifesidir (EPDK Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları,1 Ocak 2023). Elektrikli taşıtların tarifelere göre homojen yüklenme dağılımları, gündüz ve puant tarifelerinde yüklenme dağılımları, düzenli olarak işe giden insanların kullanım alışkanlıklarına göre dağılımlar ve sadece gündüz tarifesinde yüklenme dağılımı olarak 4 ana grupta sınıflandırılmıştır. Bu durumlar Tablo 2’deki gibidir.

Tablo 2. Elektrikli Taşıt Şarj İstasyonu Şarj Durumları (Situations of the EV Charging Stations)

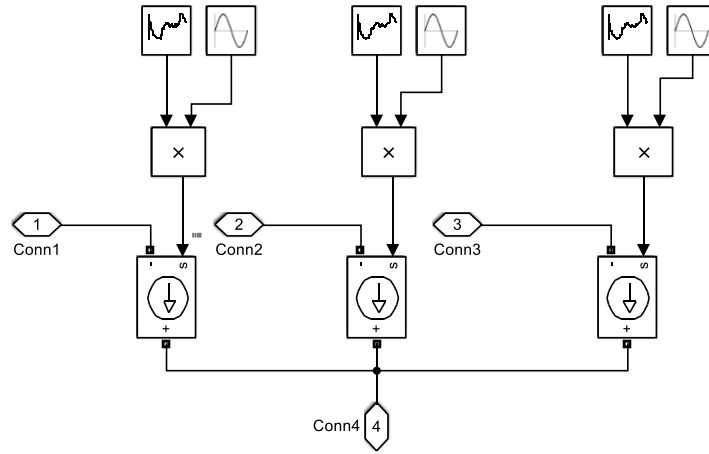
DURUM SIRASI	ŞARJ OLAN TAŞIT SAYISI	ŞARJ YÜZDELERİ	ŞARJ SAATİ
1	5	16.67%	02:00-06:00
1	5	33.33%	05:00-08:00
1	5	0%	19:00-00:00
2	7	0%	08:00-13:00
2	5	0%	12:00-17:00
2	3	33.33%	11:00-14:00
3	10	0%	00:00-05:00
3	7	0%	12:00-17:00
3	6	16.67%	19:00-23:00
4	5	50%	06:00-08:00
4	7	0%	13:00-18:00
4	4	16.67%	20:00-00:00

Gerilim kaynağı olarak TEİAŞ trafosu modellenmiştir. Anadolu Yakasındaki TEİAŞ’taki indirici merkezlerin giriş gerilimleri 154 kV veya 380 kV olarak değişmektedir, çıkış gerilimleri ise 10 kV veya 34.5 kV gerilim seviyeleri olarak değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan TEİAŞ’ta bulunan güç transformatorü 154/34.5 kV gerilim seviyesinde indirici özellikte güç trafosudur. Şekil 2’de gösterilen sistemdeki gerilimi modellemek için kullanılan gerilim kaynağının alt bloğu Şekil 4’te gösterilmiştir.



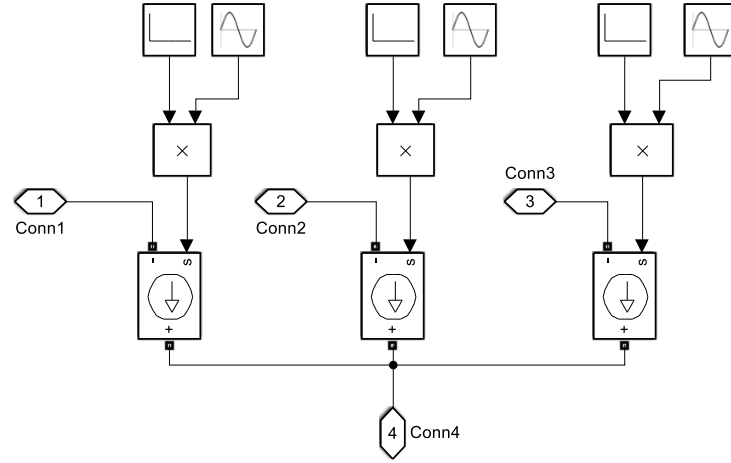
Şekil 4. Gerilim Alt Bloğu Simulink Programındaki Simülasyonu (Simulation of the Voltage Subblock in the Simulink Software)

Evsel bölgelerde enerji kullanımı saatlik hatta dakikalık olarak değişmektedir. Şekil 1’de görülen sistemde bulunan değişken yük 10 dakikalık periyotlar halinde 7450 DM’den GKC sayesinde ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda alınan veriler aşağıdaki Şekil 5’te görüldüğü üzere alt bloğunun içerisine işlenerek değişken yük oluşturulmuştur.



Şekil 5. Değişken Yük Alt Bloğu Simulink Programındaki Simülasyonu (Simulation of the Variable Load Subblock in The Simulink Software)

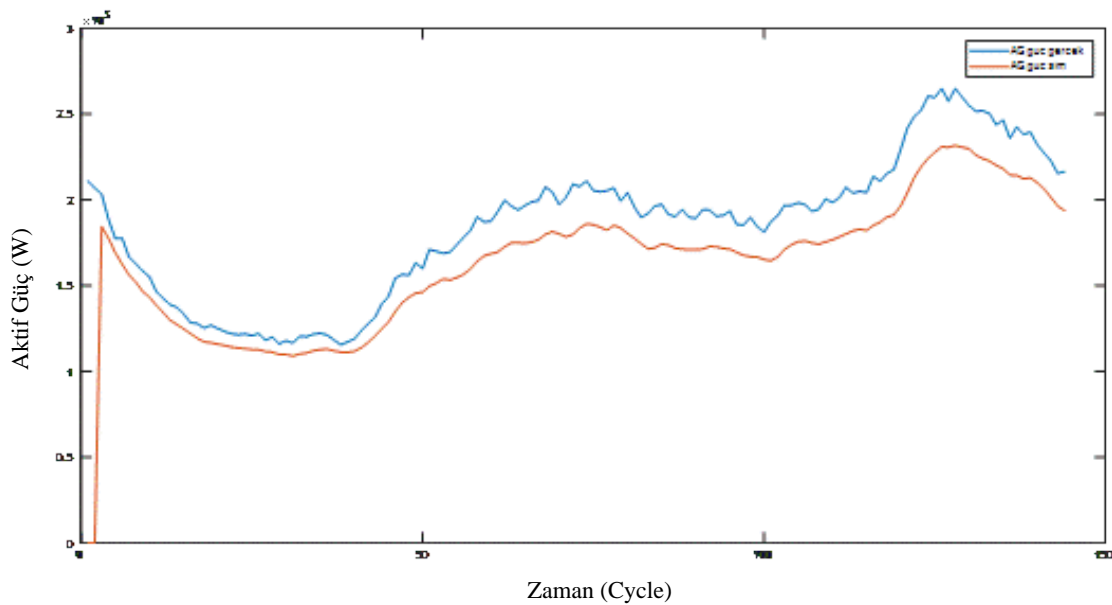
Elektrikli taşıtları şarj ederken elektrikli taşıt şarj istasyonlarından çekilen akımlar hesaplanıp Şekil 6’da elektrikli taşıt alt bloğunun içerisine işlenerek elektrikli taşıt bloğu oluşturulmuştur.



Şekil 6. Elektrikli Taşıt Alt Bloğu Simulink Programındaki Simülasyonu (Simulation of the Electrical Vehicle Subblock in The Simulink Software)

4. Deneysel Sonuçlar

Simülasyon sonucunda elde edilen aktif güç değerleri ile gerçekte ölçülen aktif güç değerleri arasında %9 oranında bir hata payı mevcuttur. Bu hata payının oluşmasının nedenleri simülasyonda kullanılan elemanların ideal olması, reaktif güçlerin simülasyonda hesaba katılmamasından ve kullanılan kabloların gerçekte birçok yerden ek yapılması, kablonun yaşı vb. nedenlerden dolayı fark oluşmuştur. Elektrikli taşıt şarj istasyonlarının dahil edilmediği zaman sistemdeki değişken yükün çektiği ve gerçekte 7450 DM'nin transformatöründen çekilen aktif gücün grafiği aşağıda Şekil 7'te görülmektedir. Bu grafikte herhangi bir elektrikli taşıt bağlantısı söz konusu değildir. Sadece simülasyon verisi ile sistemden çekilen gerçek verilerin kıyaslanması ele alınmaktadır.

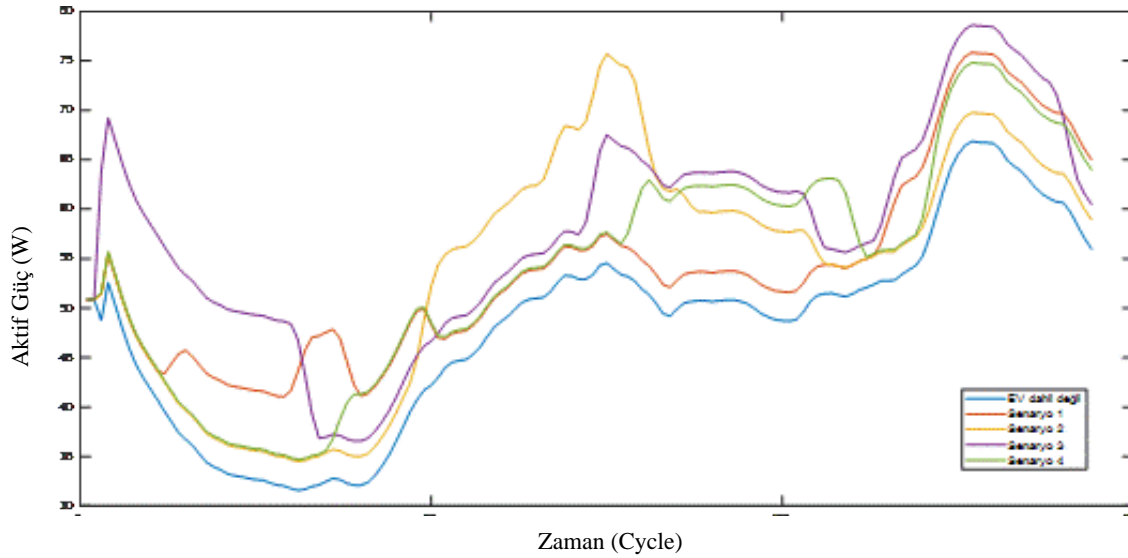


Şekil 7. Elektrikli Taşıt Dahil Edilmeden Önce ve Sonra AG Barası Aktif Güç Analizi (Active Power Analysis of the LV Bus Before And After EVs Connection)

Elektrik dağıtım sisteminde kullanılan transformatörlerde maksimum doluluk oranı %70 olarak belirlenmektedir. %70'in üzerine çıktığı zaman transformatörün gücünü arttırılmaktadır. Eğer transformatör gücü 1600 kVA ise sisteme yeni bir transformatör bağlantısı yapılmaktadır. Yapılan analiz sonucunda konut bölgesi genelinde elektrikli taşıt kullanılmadığında transformatörün ortalama doluluk oranının %48 olduğu gözlemlenmiştir. Kısmen gece vakitlerinde %70 bandına yaklaştığı görülse de genel olarak %48 bandındadır. Durum 1'de eşit sayıda elektrikli taşıt elektrik sistemi tarifelerine göre sisteme bağlanmıştır. 02.00-08.00 arasında bağlanılan elektrikli taşıtlar şebeke tarafında sorun teşkil etmemektedir. Saat 05.00 ile 06.00 arasında iki şarj istasyonunda bağlı olan araçların çakışması söz konusudur. En düşük enerji tüketimleri bu saatler olduğundan şebeke zorlanmayacaktır. Görüldüğü üzere o saatler arasında transformatörün yüklenme oranı %50 bandında seyretmektedir. Fakat 19.00-00.00 arasında bağlanacak araçlar en yüksek tüketim bandında bağlanacağından doluluk oranının %70 bandını aşarak %77 bandına çıkarttığını gösterir. Durum 2'de farklı sayıda elektrikli taşıt gündüz tarifesinde sisteme bağlanmıştır. 08.00-13.00 arasında bağlanılan 7 adet elektrikli aracın transformatörün doluluk oranını arttırıp %70 bandına çıkardığı gözükmemektedir. 12.00-17.00 arasında bağlanan 5 araç o saatlerdeki enerji tüketim ile birleşerek doluluk oranını %65 bandında tuttuğunu lakin 11.00 ve 14.00 saat diliminde bağlanan 3 araç ile bir önceki saat diliminde çakışma durumunun yaşandığı saatlerde doluluk oranının %75 in üzerine çıkardığı bariz olarak görülmektedir. Durum 3'de farklı sayıda elektrikli taşıt gündüz ve puant tarifelerinde sisteme bağlanmıştır. 12.00-17.00 arasında bağlanan 7 araç ile insanların enerji kullanım yoğunluğunun yüksek olduğu öğlen zamanlarında transformatörün doluluk oranını %70 sınırlarına çıktığı gözlenmektedir. 19.00-23.00 zaman dilimi arasında bağlanan 6 araç transformatörün doluluk oranının %80 bandına doğru yaklaştırdığı görülmektedir. 00.00-05.00 arasında bağlanan 10 araç gece inen transformatör doluluk oranını ciddi bir oranda artarak %70 civarında seyrettiği gözleniyor. Durum 4'te farklı sayıda elektrikli taşıt öğlen en yoğun saatlerinde ve akşamları kısa süre sisteme bağlanmıştır. 06.00-08.00 arasında bağlanan 5 araç ile transformatörün doluluk oranını %45 sınırlarına çıktığı gözlenmektedir. 13.00-18.00 zaman dilimi arasında bağlanan 7 araç transformatörün doluluk oranını %65 bandına doğru yaklaştırdığı görülmektedir. 20.00-00.00 arasında bağlanan 4 araç gece inen transformatör doluluk oranının artarak %75 bantlarında seyrettiği gözlenmiştir. Doluluk oranı hesaplama yöntemi aşağıdaki gibidir.

$$\text{Trafo Doluluk Oranı [\%]} = \frac{\text{Kullanılan Aktif Güç [W]}}{\text{Trafonun Gücü [VA] * \cos(\alpha)}} \times 100 \quad (1)$$

Belirlenen durumlara göre transformatörün yüklenme oranlarının grafiğini Şekil 8'de bulunmaktadır.



Şekil 8. Transformatör Gücü Doluluk Oranının Durumlar Bazında Karşılaştırması (Comparison Of Loading Ratio Of The Transformer Power According To The Situations)

Şekil 8’de bulunan grafikte elektriğin üretim aşamasından son kullanıcıya iletiildiği süreçte kayıplar incelendiğinden en zayıf noktanın elektrik dağıtım şebekesi olduğu görülmektedir. Elektrik dağıtım şebekesindeki kayıplar kaçak enerji kullanımı, kablaj esnasında yapılan hatalar ve transformatörlerin düşük verimde çalışması olarak sıralanabilir. Simülasyon çalışmasında elektrikli taşıtlar bağlı değilken ve farklı durumların etkileri nedeniyle oluşan hat kayıpları üç fazda da incelenmiştir. Üç fazda da oluşan hat kayıpları Tablo 3’de görülmektedir.

Tablo 3. Durumlara Göre Hat Kayıpları (Line Losses According to the Situations)

	GERÇEK SİSTEM KAYBI (W)	DURUM 1 (W)	DURUM 2 (W)	DURUM 3 (W)	DURUM 4 (W)
A FAZI	5.302	6.986	5.825	6.11	6.783
B FAZI	4.842	6.443	5.331	5.596	6.249
C FAZI	5.205	6.871	5.721	6.017	6.67

Elektriksel açıdan incelendiğinde yukarıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçları ekonomik olarak değerlendirmek de mühendislik açısından önemlidir. Ülkemizde EPDK tarafından elektrik birim fiyatları belirlenmektedir. Birim fiyatlar orta gerilim, alçak gerilim, iletim sistemi kullanıcısı vb. kategorilere ayrılmıştır. Her bir kategori de kendi içerisinde alt kategorilere ayrılmıştır (EPDK

Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları,1 Ocak 2023). Bizim ele aldığımız bölge alçak gerilimden beslenen tek terimli ve mesken (8 kWh/gün ve altı) kategorisinde bulunmaktadır. Tek terimli ve çok terimli olarak enerji maliyetleri karşılaştırılmış olup araç toplam ve araç başına maliyetler hesaplanmış olup Tablo 4'te özetlenmiştir.

Belirlenen şarj edilme durumlarına bağlı olarak elektrikli taşıtların şarj maliyetleri tablosuna bakıldığında taşıt başına maliyet satırına bakmak gerekmektedir. Bunun nedeni elektrikli taşıt şarj istasyonlarının enerjisi ortak alandan karşılanmasının gerektiğinden ve şarj anında farklı sayıda araç bulunmasıdır. Ekonomi açısından incelendiğinde en ekonomik sonuç birinci durumun olarak göze çarpmaktadır. Bu durumda 02:00 – 06:00 saatleri arasında 5 adet, 05:00 – 08:00 saatleri arasında 5 adet ve 19:00 – 00:00 saatleri arasında 5 olacak şekilde 15 adet taşıtın şarj edilmesi gerçekleşmiştir. Bu durumun ekonomik analizini özetlersek maliyetlerin %10'unun T1 zaman diliminde, %40'ının T2 zaman diliminde ve %50'sinin T3 zaman diliminde oluştuğu görülmektedir. En ekonomik olmayan durum ise ikinci durum olduğu göze çarpmıştır. Bu durumda 08:00 – 13:00 saatleri arasında 7 adet, 12:00 – 17:00 saatleri arasında 5 adet ve 11:00 – 14:00 saatleri arasında 3 olacak şekilde 15 adet taşıtın şarj edilmesi incelenmiştir. Bu durumun ekonomik analizini özetlemek gerekirse maliyetlerin %100'ünün T1 zaman diliminde oluştuğu görülmektedir. Tek terimli abonelik kullanmanın çok terimli abonelik kullanılmasına göre enerji maliyetinin birinci duruma göre %23, ikinci duruma göre %34, üçüncü duruma göre %30 ve dördüncü duruma göre %38 oranında düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Şarj Durumlarına Göre Tüketilen Enerji Maliyetlerinin Karşılaştırılması (Comparison of the Cost of Consumed Energy According to Charging Situations)

	Birim Fiyat (kWh/krş)	Gerçek Durum Fiyat (TL)	Durum 1 Fiyat (TL)	Durum 2 Fiyat (TL)	Durum 3 Fiyat (TL)	Durum 4 Fiyat (TL)
T ₁	236,1424	7,4810	128,7921	1622,5911	811,2908	938,7794
T ₂	345,0771	6,9568	508,0915	0,0000	846,7847	519,3686
T ₃	149,0277	0,8584	613,5813	0,0000	731,4280	121,8987
Toplam	-	15,2961	1250,4649	1622,5911	2389,5035	1580,0467
Araç Başına Maliyet	-	-	83,3643	108,1727	103,8915	98,7529
Tek Terim	156,6703	9,0242	961,1770	1076,5192	1691,6476	986,7910
Araç Başına Maliyet	-	-	64,0785	71,7679	73,5499	61,6744

5. Sonuçlar ve Öneriler

Teknolojinin gelişmesiyle ve çevreye olan hassasiyetin artmasıyla insanlar artık konvansiyonel

araçlar yerine elektrikli taşıtları tercih etmeye başlamıştır. Elektrikli taşıtların sayısının artmasıyla birlikte elektrikli taşıtların şarj talebi hızla yükselmektedir. Bu şarj talebini karşılamak için elektrikli taşıt şarj dolmuş istasyonlarının sayısı giderek fazlalaşacaktır. Şehir içerisinde şarj istasyonları elektrik dağıtım seviyesinde bağlanacaktır. Mevcut durumda enerji ihtiyacının fazla olduğu kentsel bölgelerde elektrikli taşıt şarj istasyonlarının şebekeye entegrasyonu ile bu talep daha da artacaktır. Bu artan talep doğrultusunda şebekeye elektrikli taşıt bağlantısı yapıldığı zaman transformator yüklenme oranının %70'in üzerlerine çıktığı gözlenmiştir. Bu durumda hâlihazırda var olan 400 kVA gücündeki transformatorün gücü artırılarak 630 kVA seçilmelidir. Fakat şebeke yatırımları 15 yıllık yapıldığı için bu 15 yıl içerisinde elektrikli taşıtların daha fazla artacağı ve bölge genelinde kentleşmenin artacağı dikkate alındığında 1600 kVA gücünde transformator konulmalıdır. Bu çalışmada sisteme dahil edilen elektrikli taşıtların şarj sırasındaki maliyetleri, tek ve çok terimli aboneliklere göre maliyetler analiz edilmiş olup tek terimli aboneliklerde şarj maliyetinin çok terimli aboneliğe göre bu simülasyonda en az %23 tasarruf sağladığı ve elektrikli taşıtların batarya grubunun bu simülasyona göre en fazla 74 TL'ye şarj edildiği gözükmektedir. Türkiye'nin elektrikli taşıt gelişim planı çerçevesinde 2025 ve 2030 yıllarında oluşacak ihtiyaçlar incelendiğinde 2025 yılında 270 bin elektrikli taşıt ve 2030 yılında 1 milyon 600 bin elektrikli taşıt olması öngörülmüştür (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022). Bu ihtiyaçları karşılamak için bu simülasyonda kullanılan elektrikli taşıt şarj istasyonu teknik karakteristiği dikkate alındığında 2025 yılına kadar 25 bin 568 elektrikli taşıt şarj istasyonu ve 2030 yılına kadar 151 bin 515 elektrikli taşıt şarj istasyonu kurulması gerekmektedir. Sadece elektrikli taşıt şarj arzının sağlanması için oluşacak enerji ihtiyaçları hesaplandığında 2025 yılında 13500 MWh ve 2030 yılında 80000 MWh enerji talebi oluşmaktadır. Bu simülasyon çalışmasında yapılan elektriksel analizler, maliyet analizleri ve Türkiye gelişim planına ait öngörülerin doğruluğu ihtiyaçlar göz önüne alındığında elektrik dağıtım sisteminin acil olarak altyapı hazırlıklarının başlanması gerektiğini göz önüne koymuştur.

Bu çalışmada, kışların soğuk ve yoğun kar yağışıyla geçtiği Bitlis ilinin yeni yerleşim alanında kurulan Bitlis Eren Üniversitesi kampüsündeki eğitim binalarının, ısı kaybı, ısıtma amaçlı yakıt maliyetleri ve oluşan CO2 emisyonları incelenerek enerji verimliliği bakımından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışma, Prof. Dr. Nurettin UMURKAN danışmanlığında Recep Buğra MERT tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Ahmaad 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 PowerElectronics, 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.
- BP Statistical Review of World Energy, 2022.
- 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: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-sayisi>)
- 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>
- 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-yineford-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/>

- Saner C.B., Çakır Y., İşbitiren G., Dağıtım Şebekelerinde Kayıp/Kaçakların Azaltılması için Uygulanabilecek Metodoloji
- 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.
- 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.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Türkiye İçin Elektrikli Araç Şarj Altyapısı, 2022. <https://sarjdestek.sanayi.gov.tr/turkiye-icin-elektrikli-arac-sarj-altyapisi>
- Vestel Proje Ortağım, Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Teknik Karakteristik, 2023. http://www.vestelprojeortagim.com.tr/docs/default-source/default-document-library/elektrikli-arac-sarj-istasyonu-evc02-serisi---ürünlerimiz.pdf?sfvrsn=c512be05_0
- EPDK, Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları, 1 Ocak 2023. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>