

# ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ÖRNEK BİR SAHA ÜZERİNDE İNCELENMESİ

Berk TUNÇER, Engin ÇETİN

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
Bölümü, Kınıklı Yerleşkesi, DENİZLİ

[btuncer@pau.edu.tr](mailto:btuncer@pau.edu.tr), [engincetin@pau.edu.tr](mailto:engincetin@pau.edu.tr)

## ÖZET

*Son yıllarda fosil yakıt rezervlerindeki azalma ve artan sera gazı yayılımı, elektrikli araçlara olan yönelimi hızlandırarak sektörel gelişime olanak sağlamıştır. Elektrikli araçlara olan yönelimle birlikte elektrikli araç şarj istasyonlarının tasarımı, batarya teknolojileri ve batarya yönetim sistemi gibi konularda yapılan çalışmalar da hız kazanmıştır. Batarya sistemlerindeki gelişmeler, farklı tipte şarj ünitelerini ve şarj istasyonlarını ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda tasarlanan büyük güçlerdeki DC şarj istasyonları, şarj süresini önemli ölçüde azaltmıştır. Bununla birlikte, şarj talebinin fazla olduğu durumlarda dağıtım şebekesine olan aşırı yüklenme, şebekenin yetersiz kalmasına ve bu bağlamda ortaya çıkan gerilim dengesizliklerine yol açabilmektedir. Bu durum, dağıtım şebekesi elektrik kalitesini olumsuz yönde etkiler ve çeşitli güç kalitesi problemlerinin ortaya çıkmasına da zemin oluşturur. Yapılan bu çalışmada, Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi elektrik dağıtım şebekesi, reel saha verilerine dayanılarak DIgSILENT Powerfactory yazılımı ile modellenmiş ve şebeke dahilinde belirlenen üç farklı transformator merkezine iki farklı senaryoya göre entegre edilmesi planlanan toplam 180 kW kurulu gücündeki DC elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye olası etkileri belirlenerek, bu etkilerin yarattığı olumsuzlukların giderilmesine dair öneriler sunulmuştur.*

**Anahtar kelimeler:** Elektrikli Araç, Şarj İstasyonu, Elektrik Dağıtım Şebekesi, DIgSILENT Powerfactory.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda, dünyada ve ülkemizde gerçekleşen nüfus artışı ile birlikte fosil

yakıt kaynaklarının azalması ve fosil yakıt tabanlı araçların çevreye dair olumsuz etkileri, tüm dünyayı ulaşım sektöründe alternatif yollar aramaya itmiştir [1]. Elektrikli araçların tarihçesine bakıldığında, bu türden araçların ilk olarak 1800'lü yılların başında ortaya çıktığı görülmektedir. Ancak elektrikli araçların sahaya ilk çıktıkları dönemde, kısıtlı menzilleri ve görece düşük hızları sebebiyle çok fazla ilgi görmedikleri de bilinmektedir. Petrol kullanımının yaygınlaşması ve içten yanmalı motor yapısına sahip fosil yakıt tabanlı araçların yaygınlaşmasıyla, elektrikli araçların popülerliği zamanla azalmıştır. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizinden sonraki dönemde, elektrikli araçlar tekrar gündeme gelmiştir [2, 3]. 2012 yılına gelindiğinde ise, dünya çapında elektrikli araçların sayısı 180 bine, bu araçların toplam binek araçların içerisindeki payı ise %0,02'ye ulaşmıştır [4].

Türkiye'nin de üyesi olduğu Uluslararası Enerji Ajansı'nca (IEA), 2021 yılsonu itibarıyla, toplam 16,5 milyondan fazla elektrikli aracın aktif olarak yollarda olduğu açıklanmıştır [5]. Aynı veriye göre, 2016-2021 yılları arasında en fazla elektrikli araç satışlarının sırasıyla Çin, Avrupa Birliği ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) gerçekleştiği ortaya koyulmuştur. Bu tür araçların yakıt ihtiyacını karşılayan elektrikli araç şarj istasyonları sayılarına bakıldığında

ise, 2021 yılı sonunda dünyadaki 22 kW güç kapasitesi altındaki AC tip (yavaş şarj) şarj istasyonu sayısının 1,2 milyon, 22 kW üstü güç kapasitesine sahip DC tip (hızlı şarj) şarj istasyonu sayısının ise 560 bin olduğu da bilinmektedir.

Türkiye'deki hibrit olmayan elektrikli araç satışları ile ilgili istatistiklere bakıldığında, Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneği'nin (TEHAD) raporuna göre, 2021 yılında 2.849 adet elektrik araç satışı gerçekleşmişken, 2022 yılına gelindiğinde %188'lik artış ile 8.210 adetlik satış sayısına ulaşılmıştır [6]. TEHAD tarafından hazırlanan başka bir rapora göre, Türkiye'de 2022 yılı mayıs ayı itibarıyla toplam ticari elektrikli araç şarj istasyonu sayısı 2.981'dir ve bu istasyonların toplam kurulu gücü de 230 MW'tır [7].

Elektrikli araç şarj istasyonları konutlarda, alışveriş merkezlerinde ve halka açık birçok alanda yaygınlaşmaktadır. Bu durum, elektrikli araç şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine bağlantı noktalarında, dağıtım şebekesine ilave yük getirdiği anlamına gelmektedir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesi üzerindeki başlıca etkileri; gerilim kararlılığı sorunları, enerji kalitesinde bozulmalar, harmonik oluşumu v.b. şeklinde sıralanabilir [8]. Dolayısıyla, bu ünitelerin dağıtım şebekesine olan etkilerini araştırmak da önemli bir konu haline gelmiştir.

Elektrikli araç şarj istasyonları ile ilgili literatürdeki çalışmalar, genellikle şarj istasyonlarının uygun yerlere konumlandırılması ve şebekeye olan etkilerini inceleme üzerinedir. Geske ve arkadaşları [9], 10 kV ve 0,4 kV dağıtım sistemi içeren bir sahayı modellemiş, farklı elektrikli araç penetrasyon oranları ve belirli zaman dilimlerinde

şarj edilen araç sayısına göre farklı senaryolar oluşturmuşlardır. Bu senaryolar dahilinde besleme noktalarındaki yüklenme durumları, gerilim profilleri ve hat akımları analiz edilmiştir. Yapıcı ve arkadaşları [10], elektrikli araç şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine etkilerini incelemiş, çalışma kapsamında özellikle harmonikler üzerinde durulmuş ve elektrikli araçlar harmonik akım kaynağı olarak modellenmiştir. Modellemede AG seviyesinde 14 düğüm noktası oluşturulmuş ve oluşturulan bu düğümlerde elektrikli araçların %20 ve %80 penetrasyon oranları için farklı şarj durumu ve bunların şebekeye olan etkileri incelenmiştir. Etezadi-Amoli ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada [11] dört farklı bölge belirlenmiş olup, her bölge için maksimum elektrik araç sayısına göre yük modellemesi yapılmıştır. Farklı bölgeler için yük akış analizi, kısa devre analizi ve aşırı akım/kısa devre gibi durumlarda dağıtım transformatörlerinin korunabilmesi için gerekli koruma şartları ele alınmıştır. Selvam'ın yapmış olduğu bir diğer çalışmada ise [12], örnek bir dağıtım şebekesi ele alınmıştır. Ele alınan dağıtım şebekesi üzerinde konutların olduğu belirli noktalara elektrikli araç şarj istasyonları eklenmesiyle bu ünitelerin şebekeye olan etkileri incelenmiştir. Çalışmada, Danimarka'daki örnek bir evin kış aylarına ait günlük tüketim verileri kullanılmış, elektrikli araç sürücülerinin davranışları da bir anket çalışmasında elde edilen veriler ile gerçekleştirilmiştir. DIgSILENT Powerfactory yazılımı ile gerçekleştirilen benzetim çalışmasında, elektrikli araçların %50 ve %100 penetrasyon durumları için ilgili noktaların yüklenme, gerilim profili gibi analizleri de yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmada; Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi elektrik dağıtım şebekesi ile Denizli-4 380 TM Transformatör Merkezi arasındaki elektriksel sistem (enerji nakil hatları, dağıtım transformatörleri ve yükler) DIGSILENT Powerfactory yazılımı ile modellenmiştir. Modellenen mevcut şebekeye, seçilmiş noktalarda elektrikli araç şarj istasyonları entegre edilmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının yerleşke içindeki konumları ve sayıları ise, transformatörlerin farklı yüklenme senaryolarına göre belirlenmiştir. Yapılan analizler neticesinde; mevcut reel veriler ışığında belirlenen üç transformatör merkezine farklı senaryolar dahilinde hangi sayıda elektrikli araç şarj istasyonu entegre edilebileceği belirlenmiş, entegrasyon sonrası oluşabilecek olası elektriksel anomaliler ve bu anomaliler sonrası yapılması gereken revizyonlar irdelenmiştir.

## 2. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI

Günümüzde elektrikli araçlar; fosil yakıtlara bağımlı olmamaları ve hava kirliliğine neden olabilecek emisyonlarının bulunmaması gibi birçok nedenden dolayı tercih edilmekte ve popülerlikleri de günden güne artmaktadır [13], [14]. Elektrikli araçlar, Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA) ve Tam Elektrikli Araçlar (TEA) olmak üzere temelde iki türde sınıflandırılabilir [15]. HEA'larda hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru aynı anda bulunmaktadır. Aracın tipine göre bu iki motor birbirine bağlı veya bağımsız olarak çalışabilmektedir. Temelde HEA'lar harici olarak şarj edilemezler [11]. HEA'lar içinde şarj edilebilen türde olanlar ise Plug-in Hibrit

Elektrikli Araçlar (PHEA) olarak bilinmektedir. PHEA'lar bataryanın şarj durumuna göre, elektrik motorunu devreye sokabilir veya iki motor tipi de aynı anda çalışabilir [15]. TEA'lar ise sıfır emisyon ve sıfır fosil yakıt kullanımı sayesinde günümüzde fosil yakıt tabanlı araçların en önemli alternatifi durumundadır [10].

Elektrikli araçlar; kablolu, kablosuz ve batarya değişimi yöntemleri ile üç farklı şekilde ihtiyaçları olan enerjiyi sağlayabilirler. Çoğunlukla araçlarda kablolu şarj yöntemi kullanılmaktadır. Kablolu yöntem, AC ve DC tip olarak temelde iki şekildedir. Bu yöntemle elektrikli araçlar üç farklı seviyede şarj edilebilmektedir [13], [15]. Seviye 1, literatürde ev tipi şarj olarak geçmektedir ve genelde yavaş şarj tipi olarak bilinir. Ortalama şarj süresi araçtan araca değişmekte olup, 16-20 saat arasındadır [15]. Seviye 2, standart tip olarak bilinmektedir ve yavaş şarj tipine göre daha kısa sürede şarj imkânı sunmaktadır. Bu tipteki şarj istasyonları nüfusun yoğun olduğu şehir merkezi gibi yerlerde tercih edilmektedir. Seviye 3 tipi şarj işleminde, elektrikli araç şarjı hızlı bir şekilde olmakta ve şarj prosedürü hem AC hem de DC kaynak ile yapılabilmektedir [16].

Elektrikli araç şarj istasyonlarının özellikle de büyük güçlü DC tip istasyonların, şarj süresini ciddi seviyede azalttığı aşikârdır [13], [17]. Günümüzde yüksek güçteki şarj ünitelerinin sayısı günden güne artmakta olup, bu durum şebeke üzerinde de bazı etkiler oluşturmaktadır [14]. Elektrikli araç sayısındaki artış sebebiyle ek şarj istasyonları ihtiyacı oluşmaktadır. Bu taleple birlikte; istasyon sayısı, istasyonların kurulu gücü, mevcut elektrikli araç sayısı, şarj edilme sıklığı gibi farklı parametreler, dağıtım şebekesi üzerindeki stresi

arttırmaktadır. Yaşanan bu olumsuz durum, şebeke güvenliği için belirli standartların oluşmasını zorunlu kılmıştır [17].

Elektrikli araçlar ile ilgili standartların belirlenmesi ve altyapının oluşturulması için, üç ana kuruluş faaliyet göstermektedir. Bu kuruluşlar; Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission, IEC), CHAdeMO Derneği (Charge de Move) ve Otomotiv Mühendisleri Derneği (Society of Automotive Engineers, SAE) şeklinde sıralanabilir. SAE standartları ABD’de, IEC standartları Avrupa ülkelerinde, CHAdeMO standardı ise Japonya’da kullanılmaktadır [13], [14], [18]. Avrupa’da benimsenen IEC 62196 standardında, şarj konnektörlerinden ve bağlantı tiplerinden bahsedilmiş ve farklı şarj modları sunulmuştur. Bu standarda göre, dört farklı mod bulunmaktadır. Mod 1, 2 ve 3’te araçlar AC giriş ile şarj olmakta ve enerjinin DC’ye dönüşümü araç içerisindeki dahili ünitelerde gerçekleştirilmektedir. Mod 4’te ise araç doğrudan DC giriş ile şarj olmaktadır. Mod 1 ve Mod 2’de elektrikli araç, geleneksel tip AC soket ile şarj olmaktadır. Mod 3’te, “Mennekes” tipi konnektör ile şarj işlemi gerçekleştirilmektedir [19].

İlgili standartlar ve gereksinimler yerine getirilse bile, büyük çaplı dağıtım şebekelerinde elektrikli araç şarj istasyonları tesis edilmesi hususunda özellikle günümüz teknolojisiyle kurulu gücü 400 kW’ı bulan şart üniteleri, dağıtım şebekelerine büyük yük getirmektedir. Bu hususta, tesis edilecek bölgenin mevcut yük durumları, transformatör ve hat yüklenmeleri, kısa devre akımları ve gerilim düşümü gibi parametreler büyük önem arz etmekte olup, ilgili şebeke noktalarına elektrikli araç şarj istasyonu entegre edilmeden

önce, tüm bu elektriksel parametreler baz alınarak şebekenin analiz edilmesi gerekmektedir. Bu hususlar değerlendirilmek suretiyle, bu çalışma kapsamında ele alınan dağıtım bölgesine yönelik elektrikli araç şarj istasyonları için üç farklı tesis noktası belirlenmiştir.

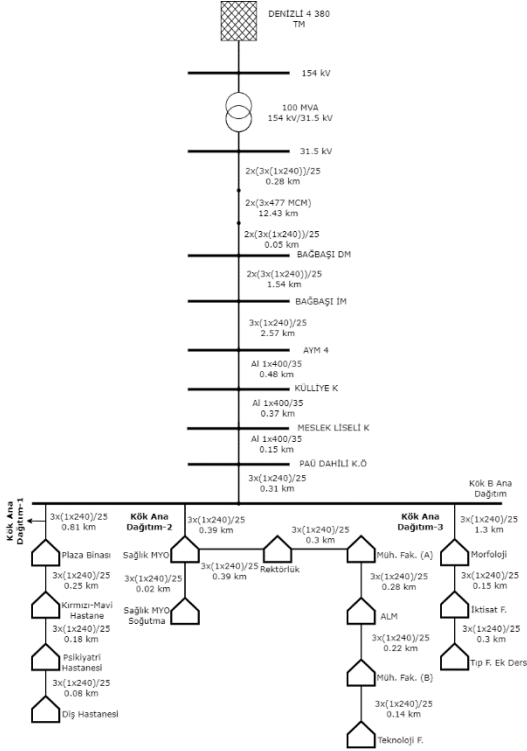
Kurgulanan çalışmada, DiGSILENT Powerfactory yazılımının Yarı-Dinamik Simülasyon (Quasi-Dynamic Simulation) modülü kullanılmıştır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının tesis edileceği üç TM için ilgili senaryolar dahilinde belirlenen sayılarda elektrikli aracın şarj olma durumu ve bunların şebekeye olan etkileri incelenmiştir.

### 3. ÖRNEK ŞEBEKE MODELİ

Örnek şebeke modeli olarak Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi içerisindeki dağıtım şebekesi ele alınmıştır. Bu dağıtım bölgesine enerji, Denizli-4 380 TM’den 31,5 kV seviyesinde gelmekte olup, kampüs içerisinde çok sayıda transformatör ile 0,4 kV seviyesine düşürülüp dağıtılmaktadır. Şebekenin modellenmesi, Denizli-4 380 TM’den başlayarak kampüs içerisindeki son yüklere kadar gerçek verilerle yapılmıştır. Şebeke modeline ait tek hat şeması, Şekil 1’de sunulmuştur.

Kampüse enerji giriş noktasında (Kök-B Ana Dağıtım), dağıtım üç kola ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla; Kök Ana Dağıtım-1, Kök Ana Dağıtım-2 ve Kök Ana Dağıtım-3’tür. Bu fiderlere bağlı TM’lerdeki transformatörlerin özellikleri sırasıyla Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3’te sunulmuştur. Transformatörlerin nominal gerilimleri 33/0,4 kV olmakla beraber primer

tarafındaki gerilim seviyesi 31,5 kV değerindedir.



Şekil 1. PAÜ Kınıklı Yerleşkesi enerji dağıtımına ait şema

Modelleme yapılırken, Kök Ana Dağıtım noktasına kadar olan ilgili transformatör merkezlerinin diğer fider noktalarındaki yükler de hesaba katılmış olup, yüklenme durumları bu şekilde ele alınmıştır. Şekil 2’de DIGSILENT Powerfactory yazılımında modellenen örnek şebekeye ait tek hat diyagramı sunulmuştur.

Benzetim çalışmasında kampüs içerisinde belirlenen üç TM’nin kendi yükleri ile birlikte elektrikli araç yüklerinin de ilavesi ile oluşan yüklenme durumları analiz edilmiştir. Bu üç TM için 24 saatlik yük profilleri oluşturulmuştur. Diğer TM’lerin yüklenme durumu ise Tablo 4’te gösterilen maksimum yük değerlerinde, zaman profili oluşturmadan sabit yük olarak modellenmiştir.

Tablo 1. Kök Ana Dağıtım-1 fiderine bağlı transformatörlerin özellikleri

	Nom. Güç (kVA)	Nom. Gerilim (kV)	Bağlantı Grubu	Kısa Devre Gerilimi (% $u_k$ )	Bakır Kayıpları (kW)
Kırmızı-Mavi Hastane-1	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Kırmızı-Mavi Hastane-2	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Plaza Binası-1	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Plaza Binası-2	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Plaza Binası-3	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Plaza Binası-4	1600	33/0.4	Dyn11	6	16.5
Psikiyatri Hastanesi	1000	33/0.4	Dyn11	5.75	9.9
Diş Hastanesi	630	33/0.4	Dyn11	4.28	5.4

Tablo 2. Kök Ana Dağıtım-2 fiderine bağlı transformatörlerin özellikleri

	Nom. Güç (kVA)	Nom. Gerilim (kV)	Bağlantı Grubu	Kısa Devre Gerilimi (% $u_k$ )	Bakır Kayıpları (kW)
Sağlık MYO	1250	33/0.4	Dyn11	6.05	12.9
Sağlık MYO-2	1250	33/0.4	Dyn11	6.05	12.9
Rektörlük	1600	33/0.4	Dyn11	6.03	16.5
Müh. Fak. (A)	1600	33/0.4	Dyn11	6.07	16.3
ALM	1600	33/0.4	Dyn11	5.89	16.9
Müh. Fak. (B)	1600	33/0.4	Dyn11	5.98	16.3
Teknoloji Fak.	1250	33/0.4	Dyn11	5.53	12.9

Tablo 3. Kök Ana Dağıtım-3 fiderine bağlı transformatörlerin özellikleri

	Nom. Güç (kVA)	Nom. Gerilim (kV)	Bağlantı Grubu	Kısa Devre Gerilimi (% $u_k$ )	Bakır Kayıpları (kW)
Morfoloji	2500	33/0.4	Dyn11	6	25
İktisat	1000	33/0.4	Dyn11	6	12.2
Tıp Fak. Ek Ders	1250	33/0.4	Dyn11	6	14

TM’ler içerisinde herhangi bir yük durumu izleme sistemi olmadığı için, transformatör yüklenme durumları Kök B Ana Bara Dağıtım noktasının verileri üzerinden ölçeklendirme yapılarak belirlenmiştir. Transformatörlere bağlı yüklerin güç faktörleri sabit olup, 0,95 olarak alınmıştır.



Şekil 2. PAÜ Kınıklı Yerleşkesi DIGSILENT Powerfactory yazılımı tek hat diyagramı

**Tablo 4.** Fiderlere bağlı ilgili TM'lerin maksimum yük değerleri ve yüklenme oranları

Fider	Transformatör	Maks. Yük (kW)	Yüklenme Oranı (%)
Kök Ana Dağıtım-1	Plaza Binası-1	156.6	10.7
	Plaza Binası-2	156.6	10.7
	Plaza Binası-3	156.6	10.7
	Plaza Binası-4	156.6	10.7
	Kırmızı-Mavi Hastane-1	156.6	10.7
	Kırmızı-Mavi Hastane-2	156.6	10.7
	Psikiyatri Hastanesi	97.8	10.7
Kök Ana Dağıtım-2	Diş Hastanesi	61.6	10.7
	Sağlık MYO	122.3	10.7
	Sağlık MYO Soğutma	122.3	10.7
	Rektörlük	156.6	10.7
	Müh. Fak. (A)	156.6	10.7
	ALM	156.6	10.7
Kök Ana Dağıtım-3	Müh. Fak. (B)	156.6	10.7
	Teknoloji Fak.	122.3	10.7
	Morfoloji	244.6	10.7
	İktisat	97.6	10.7
	Tıp Fak. Ek Ders	122.3	10.7

Elektrikli araçlar modellenirken, TOGG (Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu) T10X v2 modelinin elektriksel parametreleri kullanılmıştır. Tablo 5'te bu modelin teknik özellikleri sunulmuştur.

**Tablo 5.** TOGG "T10X" modeli teknik özellikleri [20].

Özellik	Değer
Batarya Kapasitesi	88.5 kWh
Maksimum Menzil	523 km
Enerji Tüketimi	0.169 kWh/km
Şarj Gücü	AC (11 kW)
	DC (180 kW)

Araçların şarj olmaya geldiği saatler, ilgili üç TM'nin yük profillerindeki yüklenme oranlarının fazla olduğu aralıklarda olacak şekilde belirlenmiştir. Buna göre; Müh. Fak. (A) TM için 12:00, Psikiyatri TM için 14:00, Morfoloji TM için ise 11:00 olacak şekilde senaryolar oluşturulmuştur. Araçların şarj olmaya geldikleri sırada, bataryalarının doluluk oranı (State Of Charge, SOC) %20 olup, araçlar %100 doluluk oranına kadar şarj işlemlerini gerçekleştirip şarj istasyonlarından ayrılmaktadır.

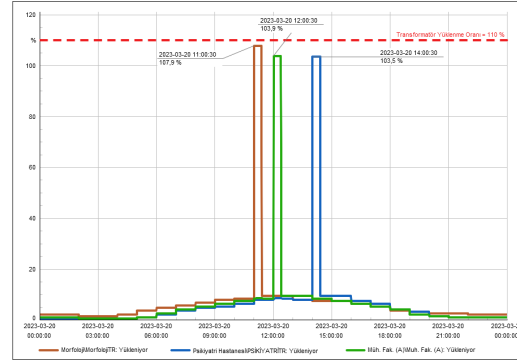
### 3.1 Senaryo-1: Elektrikli araçların %100 penetrasyon durumu

İlk senaryoda, Müh. Fak. (A), İktisat ve Morfoloji TM'lerine elektrik araç tesisi yapılmıştır. Tablo 6'da ilgili üç TM'nin bağlantı durumları ve elektriksel verileri sunulmuştur.

**Tablo 6.** Üç TM'nin bağlantı durumları ve elektriksel verileri

TM	Araçların Varış Zamanı	Bağlanan Elektrikli Araç Sayısı	Toplam Şarj Gücü (kW)	Toplam Batarya Kapasitesi (kWh)
Müh. Fak. (A)	12:00	8	1440	707.200
Psikiyatri Hastanesi	14:00	5	900	442.000
Morfoloji	11:00	13	2340	1,149.200

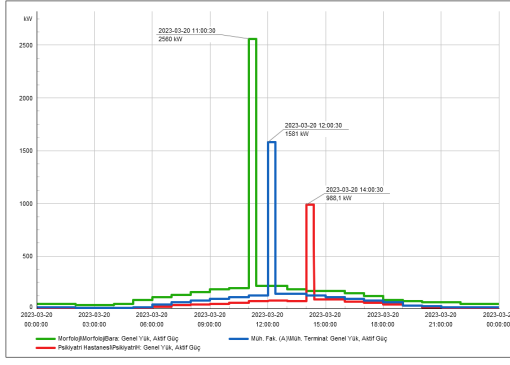
Transformatörler için yüklenme sınırı %110 olarak belirlenmiş olup bu değer, aynı anda şarj olmaya gelecek araç sayısının belirlenmesinde rol oynamıştır. Şekil 3'te ilgili TM'lerdeki transformatörlere ait yüklenme oranları sunulmuştur.



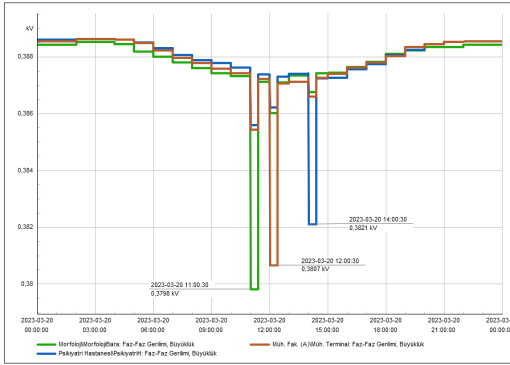
**Şekil 3.** Senaryo-1 için ilgili TM'lerdeki transformatörlerin yüklenme oranları

Şekil 3'e göre araçların geliş saatlerinde kısa bir süreliğine de olsa yüklenme oranlarının %103-%107 arasına ulaştığı görülmektedir.

Şekil 4 ve Şekil 5'te ise sırasıyla, ilgili TM'lerin bağlantı noktalarının yük ve gerilim profilleri sunulmuştur.



Şekil 4. Senaryo-1 için ilgili TM'lerin yük profilleri



Şekil 5. Senaryo-1 için ilgili TM'lerin gerilim profilleri

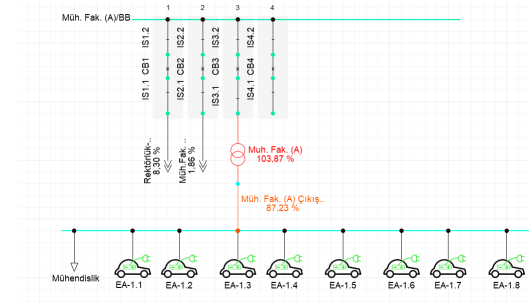
Şekil 4 incelendiğinde, Morfoloji TM'ye tesis edilen elektrikli araç şarj istasyonlarına gelen araçlar saat 11:00 itibariyle ana bara üzerinde 2.560 kW'lık yük oluşturmaktadır.

Müh. Fak. (A) TM'de saat 12:00 itibariyle 1.581 kW, Psikiyatri Hastanesi TM'de ise saat 14:00 itibariyle 988,1 kW'lık yük oluşmaktadır.

Şekil 5'te ise, yüklenmenin az olduğu zamanlarda bağlantı noktası gerilimleri 0,388 kV seviyelerinde iken, elektrikli araçların şarj işlemlerini gerçekleştirdiği saatlerde gerilimlerin 0,37 kV seviyelerine düştüğü görülmektedir.

Şekil 6'da Senaryo-1 dahilinde örnek olarak Müh. Fak. (A) TM için yazılım üzerinden hat ve transformatörün yüklenme oranı ile iç tüketim ve

elektrikli araç yüklerinin bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 6. Müh. Fak. (A) TM için yüklerin bağlantısı

### 3.2 Senaryo-2: Elektrikli araçların %50 penetrasyon durumu

İkinci senaryoda, Müh. Fak. (A), İktisat ve Morfoloji TM'lerine ilk senaryodaki araç davranışlarının ve araçların ilk geldiği andaki şarj oranları değiştirilmeden araç sayılarının yaklaşık olarak yarı yarıya azaldığı durum ele alınmıştır. Senaryo-2 için sunulan TM verileri, Tablo 7'de verilmiştir.

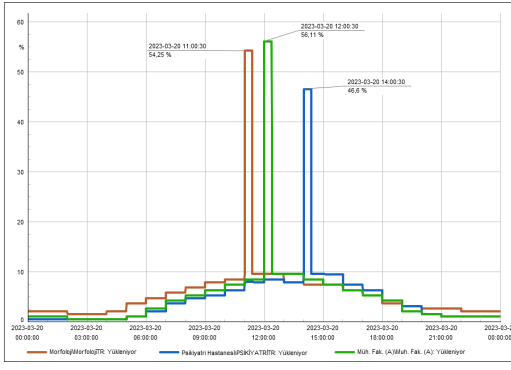
Tablo 7. Senaryo-2 dahilinde üç TM'nin bağlantı durumları ve elektriksel verileri

TM	Araçların Varış Zamanı	Bağlanan Elektrikli Araç Sayısı	Toplam Şarj Gücü (kW)	Toplam Batarya Kapasitesi (kWh)
Müh. Fak. (A)	12.00	4	720	353.600
Psikiyatri Hastanesi	14:00	2	360	176.800
Morfoloji	11:00	6	1080	530.400

Senaryo-2 için TM'lerdeki transformatörlerin yüklenme oranları, Şekil 7'de sunulmuştur.

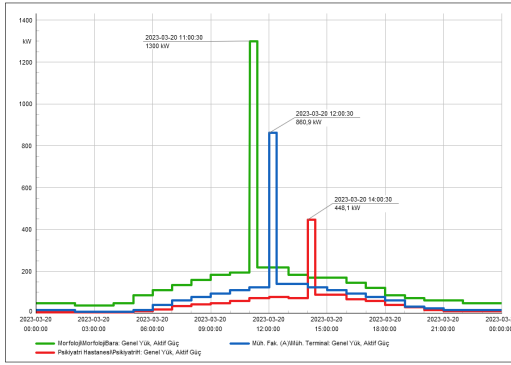
Senaryo-2 dahilinde, ilgili TM'lerdeki transformatörlerin yüklenme oranlarının araçların geliş saatlerinde ortalama %50 seviyelerinde olduğu görülmektedir.



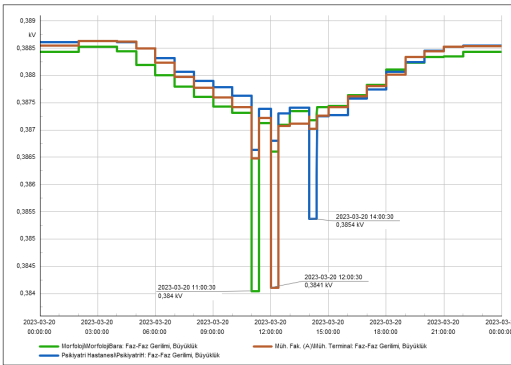


Şekil 7. Senaryo-2 için ilgili transformatörlerin yüklenme durumları

Şekil 8 ve 9'da sırasıyla ilgili TM'lerin bağlantı noktalarının yük profilleri ve gerilim profilleri sunulmuştur.



Şekil 8. Senaryo-2 için ilgili TM'lerin yük profilleri



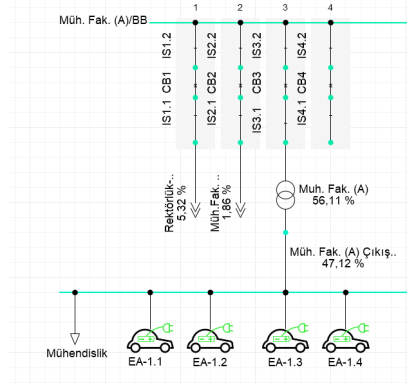
Şekil 9. Senaryo-2 için ilgili TM'lerin gerilim profilleri

Şekil 8 ele alındığında, Senaryo-2 kapsamında Morfoloji TM'ye tesis edilen elektrikli araç şarj istasyonlarına gelen araçların, saat 11:00 itibariyle ana bara üzerinde 1.300 kW'lık yük oluşturduğu görülmektedir. Müh. Fak.

(A) TM'de ise saat 12:00 itibariyle 860,9 kW, Psikiyatri Hastanesi TM'de ise 14:00 itibariyle 448,1 kW'lık yük oluşmuştur.

Şekil 9'da ise, yüklenmenin az olduğu zamanlarda bağlantı noktası gerilimleri 0,388 kV seviyelerinde iken elektrikli araçların şarj işlemlerini gerçekleştirdiği saatlerde bu seviyenin 0,384 kV seviyesine düştüğü görülmektedir.

Şekil 10'da Senaryo-2 dahilinde örnek olarak Müh. Fak. (A) TM için yazılım üzerinden hat ve transformatörün yüklenme oranı ile iç tüketim ve elektrikli araç yüklerinin bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 10. Senaryo-2 dahilinde Müh. Fak. (A) TM için yüklerin bağlantısı

### 3.3 Örnek şebekenin kısa devre akımları ve TM çıkış hatlarının akım taşıma kapasitesi yönünden incelenmesi

Yapılan yukarıdaki analizler dışında, TM'lerin çıkış kesitlerinin akım taşıma kapasitesi yönünden kontrolü ve TM'lerin çıkış noktalarındaki devre kesicilerin uygunluk kontrolü için, transformatörlerin sekonder noktalarındaki maksimum üç kutuplu simetrik kısa devre akımları ( $I_{k3}$ ) yazılım yardımı ile IEC 60909 normuna

göre hesaplanmıştır. Üç kutuplu kısa devre akımlarının, panolardaki dinamik zorlamaların kontrol edilmesi için hesaplanması gerekmektedir. Tablo 8’de, ilgili TM’lerin çıkış kesitleri, sekonder noktalarındaki kısa devre akımları ve devre kesicilerin nominal akım değerleri verilmiştir.

**Tablo 8.** İlgili TM’lerin çıkış kesitleri, sekonder noktalarındaki kısa devre akımları ve devre kesicilerin nominal akım değerleri

	Üç Kutuplu Kısa Devre Akımı(kA)	TM Çıkış Kesiti	MCCB Nominal Akım(A)
Müh. Fak. (A)	36	5x(1x240 mm <sup>2</sup> ) NYY	2.500
Psikiyatri Hastanesi	24,509	3x(1x240 mm <sup>2</sup> ) NYY	1.600
Morfoloji	54,996	8x(1x240 mm <sup>2</sup> ) NYY	4.000

Kullanılan üç kutuplu termik manyetik şalterlerin kısa devre kesme kapasiteleri ( $I_{cu}$ ) 65 kA olup bu değer, oluşabilecek maksimum üç kutuplu kısa devre akımlarına kıyasla daha yüksek seviyede olduğu için ( $I_{cu} > I_{k3}''$ ), muhtemel kısa devre durumu için herhangi bir sorun olmayacağı ön görülmektedir.

Diğer bir husus da, kablo ve iletkenlerin aşırı akımlara karşı korunabilmesi için, Anma Akımı Kuralı’na uyulmasının gerekliliğidir [21]. Bu kurala göre;

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

şeklinde olmalıdır. Burada  $I_B$  işletme akımı,  $I_n$  koruma cihazının nominal akımı ve  $I_z$  ise iletkenin veya kablunun akım taşıma kapasitesidir.

Örnek olarak Müh. Fak. (A) TM’nin çıkış kesitinin uygunluk kontrolüne bakıldığında, 1.600 kVA transformatörün sekonder akımı 2.309,4

A (maksimum işletme akımı) olarak hesaplanmıştır. Sekonder tarafına tesis edilen MCCB’nin nominal akımı Tablo 8’e göre 2.500 A olarak görülmektedir. 5x(1x240 mm<sup>2</sup>) NYY kablunun toprakta akım taşıma kapasitesi ise 2.750 A (5x550 A)’dir [22]. Bu şartlar altında, ilgili TM’nin çıkış hattının Anma Akımı Kuralı’na uyduğu görülmektedir. Diğer TM’ler de ayrı ayrı incelenmiş olup, herhangi bir sorun tespit edilmemiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Elektrikli araçlara ilgi günden güne artmakta olup, bu tür araçların gelecekte dünyada ve ülkemizde fosil yakıt tabanlı araçların yerini alacağı aşikardır. Ülkemizde de “TOGG T10X” modeli tanıtılmıştır. İlerleyen günlerde bu aracın ve birçok elektrikli aracın yaygınlaşması muhtemeldir. Bu araç 180 kW’a kadar DC hızlı şarjı desteklemektedir. Bu yüzden, yapılan çalışmada örnek olarak 180 kW kurulu güce sahip şarj istasyonlarının tesis edilmesi sonucundaki şebekeye olan etkiler analiz edilmiştir.

Yapılan çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye olan etkilerini gözlemlemek ve ileride şarj istasyonu tesisi yapılması planlanması halinde ilgili konulardaki yüklenmelerini analiz etmek için halihazırda var olan şebeke üzerinden DIgSILENT Powerfactory yazılımı kullanılarak modelleme ve benzetim çalışması yürütülmüştür. Öncelikle şebeke üzerindeki TM’lerin mevcut durumdaki yük verileri ele alınmış olup, bu veriler kullanılarak yerleşke içerisinde belirlenen üç adet TM’ye tesis edilen elektrikli araçların %50 ve %100 penetrasyon durumları için iki farklı senaryo oluşturulmuştur. İlgili senaryolar dahilinde, Pamukkale

Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi içerisinde belirlenen TM'lere tesis edilmesi planlanan elektrikli araç şarj istasyonu sayısı ve bunların tesisi durumunda hatların ve ilgili transformatörlerin yüklenme oranları incelenmiştir. Senaryo-1 dahilinde, belirlenen üç TM'ye toplamda 26 adet elektrikli araç şarj istasyonu tesisi yapılmıştır. Senaryo-2 de ise, bu sayı 12'ye düşürülmüştür.

Yapılan analizler sonucunda; 5x(1x240 mm<sup>2</sup>) NYY kesitli Müh. Fak. (A) TM çıkış hattı Senaryo-1'de %87,23, Senaryo-2 de ise %47,12 oranında yüklenmiştir. 3x(1x240 mm<sup>2</sup>) NYY kesitli Psikiyatri Hastanesi TM çıkış hattı Senaryo-1 dahilinde %90,64, Senaryo-2'de ise %40,78 oranında yüklenmiştir. Son olarak, 8x(1x240 mm<sup>2</sup>) NYY kesitli Morfoloji TM çıkış hattında ise yüklenmeler %88,46'ya %44,48 şeklindedir.

Mevcut elektrikli araç verilerine göre, senaryolardaki elektrikli araç sayıları arttırıldığında, transformatörlerde ve AG-OG hatlarda ilerleyen süreçlerde revizyon ihtiyacı doğabilecek olup, özellikle maksimum yüklenme durumları için detaylı analizler yapmak, bu hususta büyük önem arz etmektedir.

Böyle bir şarj istasyonu yapısının mevcut sisteme uygulanması durumunda, TM'lerin elektrikli araçlar dışındaki yüklerini sürekli izleyen ve elektrikli araçların şarj olma durumlarını kontrol eden bir SCADA/Yapay Zeka destekli sistem kurulması ihtiyacı da doğacaktır. TM'lerin yüklenme durumlarına göre, özellikle puant yük durumunda transformatör kapasitesine göre, şarj istasyonlarının olduğu bölgede kaç adet aracın aynı anda şarj olabileceğine karar veren ve farklı başlangıç şarj

durumlarındaki araçlar için yine şebekeyi zorlamayacak şekilde belirli bir şarj limiti koyabilen kontrol sistemleri tasarlanmalıdır.

Gerilim düşümü açısından incelendiğinde, Denizli-4 380 TM'den itibaren 31,5 kV olarak gelen şebeke gerilim değerinin, senaryolar dahilinde Kök B Ana Dağıtım noktasında 30,4 kV gerilim seviyesine düştüğü görülmektedir. Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'nin 58. maddesine göre [23]; gerilim düşümü indirici trafo merkezlerinin sekonderinden itibaren yüksek gerilim dağıtım şebekelerinde %7'yi aşmamalıdır. Mevcut analiz için bu değer %3,49 olup, ilgili yönetmelik dahilinde elde edilen verinin istenilen düzeyde olduğu söylenebilir. TM'lerin sekonder noktalarında ise 0,388 kV olan gerilim değerleri senaryolarda elektrikli araçların şarj olduğu aralıklarda 0,37-0,384 kV seviyelerindedir.

Üç kutuplu kısa devre akımları ( $I_{k3}''$ ) ve TM çıkış hatlarının akım taşıma kapasitesi yönünden yapılan incelemelerde, TM'lerin çıkış hatlarında kullanılan devre kesicilerin kısa devre kesme kapasitelerinin ( $I_{cu}$ ), hesaplanan üç kutuplu kısa devre akımlarından büyük olduğu tespit edilmiştir. Yine çıkış hatlarında kullanılan kabloların anma kuralına göre uygunluğu örnek bir TM üzerinden incelenmiş olup, diğer TM'ler için de herhangi bir sorun tespit edilmemiştir.

Bu çalışma ile; hızlı şarj DC tip elektrikli araç şarj istasyonları tesis edilmesi planlanan örnek bir şebekeye yönelik benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Özellikle büyük güçlü DC tip şarj istasyonlarının tesis edilmesi planlanan bir bölgenin hali hazırdaki durumu baz alınarak,

maksimum yüklenmelere göre analiz yapılması ve aşırı yüklenme kaynaklı hat arızalarının önüne geçebilmek için şebekenin uygunluk durumunun incelenmesi yerinde olacaktır.

## 5. KAYNAKLAR

[1] Krane J. “Climate Risk and The Fossil Fuel Industry: Two Feet High and Rising”. Rice University’s Baker Institute for Public Policy, Working Paper, 19, (2016).

[2] Chan, C. C. “The rise & Fall of electric vehicles in 1828-1930: Lessons learned”. In: Proceedings of the IEEE, 101(1), 206-212, (2013). doi: [10.1109/JPROC.2012.2228370](https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2228370)

[3] Höyer, K.G., “The History Of Alternative Fuels In Transportation: The Case Of Electric And Hybrid Cars”. *Utilities Policy*, 63-71, 16(2), (2008). doi: 10.1016/J.JUP.2007.11.001

[4] Ajanovic, A. “The Future Of Electric Vehicles: Prospects And Impediments”. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 521-536, 4(6), 2015.

[5] Global EV Outlook 2022, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>, License: CC BY 4.0. IEA (2022).

[6] TEHAD, “Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneği”, <https://www.tehad.org/2023/01/10/2022-yili-elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari-belli-oldu/> (22.03.2023).

[7] TEHAD. “Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneği”, <https://www.tehad.org/2022/05/22/devlet-destegi-ile-sarj-istasyonu-kurulu-gucumuz-230mwa-cikiyor/> (25.03.2023).

[8] Erhan, K., Ayaz, M., Özdemir, E., “Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Güç Kalitesi Üzerine Etkileri”, *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Ankara, (2013).

[9] Geske, M., Komarnicki, P., Stötzer, M., Styczynski, Z. A., “Modeling and Simulation of Elektric Car Penetration in the Distribution Power System – Case Study”, *Modern Electric Power Systems (MEPS), 2010 Proceedings of the International Symposium*, Wroclow, Polonya, 20-22, (2010).

[10] Yapıcı, R., Güneş, D., Yörükeren, N., “Elektrikli Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Olası Etkileri”, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, (2016). Erişim adresi: [https://www.emo.org.tr/ekler/3d19f986f385e23\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/3d19f986f385e23_ek.pdf)

[11] Etezadi-Amoli, M., Choma, K., Stefani, J. “Rapid-Charge Electric-Vehicle Stations. IEEE Transactions On Power Delivery”, 25(3), 1883-1887, (2010). doi: 10.1109/TPWRD.2010.2047874.

[12] Selvam, G.K., “Coordinated Charging of Electric Vehicle Through Demand Response in Distribution Grids”, *Yüksek Lisans Tezi*, Danimarka, Aalborg Üniversitesi, (2021). Erişim adresi: [https://projekter.aau.dk/projekter/files/402893673/Finalised\\_Report\\_20177209.pdf](https://projekter.aau.dk/projekter/files/402893673/Finalised_Report_20177209.pdf).

[13] Nurmhammed, M., Karadağ, T., “Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Konumlandırılması ve Enerji Şebekesi Üzerine Etkisi Konulu Derleme Çalışması”, *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 8(2), 218-233, (2021).

- [14] Das, H. S., Rahman, M. M., Li, S., Tan, C. W., “Electric Vehicles Standards, Charging İnfrastructure, And İmpact On Grid İntegration: A Technological Review”, *Renewable and Sustainanle Energy Reviews*, 120, (2020). doi: 10.1016/j.rser.2019.109618.
- [15] Taghizad-Tavana, K., Alizadeh, A., Ghanbari-Ghalehjoughi, M., Nojovan, S., “A Comprehensive Review of Electric Vehicles in Energy Systems: Integration with Renewable Energy Sources, Charging Levels, Different Types, and Standards”, *Energies* 2023, 16(2), 630, (2023). doi: 10.3390/en16020630.
- [16] Karapınar, F., Daldaban, F., “Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 38(3), 549-556, (2022).
- [17] Çetin, E., “Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Entegre Edilen Mevcut Bir Elektrik Tesisatındaki Revizyon İhtiyacının Simaris Ortamında İncelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 222-233, (2022).
- [18] Özcan, M. E., Oral, B., “Elektrikli Araçların Elektrik Dağıtım Şebekesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi”, *International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2018)*, Ankara, (2018). Erişim adresi: <https://avesis.comu.edu.tr/yayin/5d3004b4-563f-4a94-9bd9-08b653e81b02/elektrikli-araclarin-elektrik-dagitim-sebekesi-uzerine-etkilerinin-incelenmesi/document.pdf>
- [19] Durmuş, F. S., Kaymaz, H., “Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri”, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(2), 123-139, (2020).
- [20] TOGG (Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu), “Togg T10X Katalog [online]”, <https://trumore-cdn.togg.cloud/ToggT10XKatalog.pdf>, (2023).
- [21] Kaşıkçı İ., “Elektrik Tesisleri Güvenlik, Koruma ve Uygulama Esasları”, İstanbul : Birsen Yayınevi, (2018).
- [22] Öznur Kablo, “0.6/1 kV PVC İzoleli Tek Damarlı Güç Kabloları [online]” <https://www.oznurkablo.com.tr/upl/0.6-1-kV-PVC-%C4%B0zoleli-Tek-Damarli-Guc-Kablolari.pdf>, (2023).
- [23] Resmi Gazete, “Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği [online]”, <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=9949&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonnetmeliği&mevzuatTertip=5>, (2018).