

## Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Elektrik Şebekesine Entegrasyonu: OYF, LHÖ ve YSA ile Karabük Üniversitesi Yerleşkesi Durum Çalışması

Hüseyin ALTINKAYA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

\*<sup>1</sup> [haltinkaya@karabuk.edu.tr](mailto:haltinkaya@karabuk.edu.tr)

(Geliş/Received: 03/04/2024;

Kabul/Accepted: 31/10/2024)

**Öz:** Elektrikli araçların (EA) toplam araç sayısındaki oranı ülkemizde ve dünyada giderek yükselen bir ivmeyle artmaktadır. Elektrikli araçların ve şarj istasyonlarının elektrik şebekelerine olan etkileri, şebekelere ne kadar ilave yük getireceği ve mevcut elektrik şebekelerinin alt yapılarının elektrikli araçlar ve şarj istasyonları için kısa, orta ve uzun vadede yeterli olup olmadığı ile yapılan çalışmalar bu bağlamda önem kazanmaktadır. Bu çalışmada Karabük Üniversitesi Demir Çelik (merkez) yerleşkesinde 2025, 2030 ve 2040 yılları için üç farklı durum çalışması gerçekleştirilmiştir. Karabük Üniversitesi Demir Çelik kampüsü elektrik dağıtım şebekesi için TOGG (Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu) marka elektrikli araç parametreleri esas alınarak vaka çalışmaları yapılmıştır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ), şebekeye ne kadar ilave yük ekleyeceğini tahmin etmek için Weibull dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF), latin hiperküp örnekleme (LHÖ) yaklaşımları ve yapay sinir ağı (YSA) kullanılmıştır. ETAP Electrical Power System Analysis arayüzü kullanılarak elde edilen sonuçların benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Kampüs içindeki şebekeye 2025, 2030 ve 2040 senaryolarına göre kaç adet ve hangi tür elektrikli araç şarj istasyonunun bağlanabileceği ve bu istasyonların sayısının artmasının mevcut şebekeye ne kadar ek yük getireceği ve ilave yatırımlara gerek olup olmadığı öngörülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Elektrikli araçlar, şarj istasyonları, elektrik şebekeleri, OYF, YSA.

### Integration of Electric Vehicle Charging Stations into the Electricity Grid: Karabük University Campus Case Study Using PDF, LHS and ANN

**Abstract:** The proportion of electric vehicles (EVs) within the total number of vehicles is increasing at an accelerating pace both in our country and globally. In this context, studies on the impacts of electric vehicles and charging stations on electrical grids, how much additional load they will place on the grids, and whether the existing electrical infrastructure will be sufficient for electric vehicles and charging stations in the short, medium, and long term are gaining importance. In this study, three different case studies were conducted at Karabük University Demir Çelik (central) Campus for the years 2025, 2030 and 2040. Case studies based on TOGG (Turkey's Automobile Venture Group) brand electric vehicle parameters for Karabük University Demir Çelik campus electricity distribution network were examined. In order to estimate how much additional load electric vehicle charging stations (EVCS) will add to the grid, the Weibull distribution probability density function (PDF), latin hypercube sampling (LHS) approaches, and artificial neural networks (ANN) were used. The simulations of the obtained results were carried out using the ETAP Electrical Power System Analysis interface. It has been predicted that how many and what type of electric vehicle charging stations could be connected to the network within the campus according to 2025, 2030 and 2040 scenarios, and how much additional load the increase in the number of these stations will load the existing grid and whether additional investments are required.

**Key words:** Electric vehicles, charging stations, electrical grids, PDF, ANN.

#### 1. Giriş

Elektrikli araçlar (EA), esas olarak karbon yoğun yakıtlara bağımlı olan ulaştırma sektörünün sera gazlarını ve diğer kirlenici emisyonlarını azaltmak için bir fırsat olarak görülmektedir. Fakat elektrik enerjisinin depolanmasının güçlüğü sebebiyle elektrikli araç teknolojisi akaryakıtlı araç teknolojisinin gerisinde kalmıştır. Ancak batarya ve güç elektroniği alanındaki gelişmeler sayesinde piyasada görülen elektrikli araç sayısı özellikle son beş yılda hızla artmaya başlamıştır.

Ülkemizde ve dünyada birçok hükümet tarafından elektrikli araç kullanımı teşvik edilmektedir. Dünyanın bazı ülkeleri orta vadede içten yanmalı motorlu araçların satışını veya kullanımını yasaklamayı bile planlamaktadır. Örneğin Norveç'te 2025'e kadar, Almanya, İngiltere ve Hollanda'da 2030'a kadar, Fransa'da

\* Sorumlu yazar: [haltinkaya@karabuk.edu.tr](mailto:haltinkaya@karabuk.edu.tr). Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0000-0003-1956-1695

2040 yılına kadar. Ayrıca batarya maliyetlerinin önümüzdeki yıllarda azalması öngörülmektedir. Bu nedenle, elektrikli araçların ulaşım sektöründeki payının önümüzdeki birkaç yıl içinde ciddi oranlarda artması beklenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı, 2030 yılına kadar Avrupa'daki tüm araç satışlarının yarısının EA olabileceğini öngörmektedir. Yine Uluslararası Enerji Ajansının hazırladığı bir rapora göre dünya çapında EA sayısının 2030'da 230 milyon adete yükselme ihtimalinin olduğu belirtilmiştir. [1,2]. Kuruluşun değerlendirmesinde EA sayısının 145 milyona yükselmesi durumunda günlük petrol talebinde iki milyon varil azalma olacağı tahmin edilmektedir.

TEHAD'ın (Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği) verilerine göre Türkiye'deki EA satış sayısı 2021 yılında 2849, 2022 yılında 8210, 2023 yılında ise 65604 olarak gerçekleşmiştir [3].

EA satış sayısında 2023 yılındaki çarpıcı artışın TOGG marka elektrikli aracın piyasa girmiş olmasının önemli bir etkisi olmuştur. EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) verilerine göre 2023 yılı sonunda Türkiye'de elektrikli araç kullanıcılarına 8492 yavaş şarj istasyonu (AC) ve 3575 hızlı şarj istasyonu (DC) hizmet vermektedir. 2030 yılında Türkiye'de EA sayısının 2,5 milyona, şarj istasyonu sayısının ise 1 milyona ulaşması beklenmektedir [4].

Elektrikli araçların bataryalarını şarj amacıyla kullanılan şarj istasyonlarının sayısının artmasının neden olacağı enerji talebi nedeniyle elektrik dağıtım şirketlerinin altyapıları etkilenecektir. Bu nedenle elektrikli taşıtların ve şarj sistemlerinin şebekeye entegrasyonu büyük önem taşımaktadır. Çünkü elektrik şebekelerinin gereken güç talebini karşılaması ve şebekede bulunan elektrik kalitesini etkilememesi gerekmektedir. Bu nedenle ulusal elektrik şebekesinin yüksek gerilim (YG), orta gerilim (OG) ve alçak gerilim (AG) kısımlarındaki 10-20 yıllık planlamalarının bu yeni duruma göre güncellenmesi ve gerekli ise ilave yatırımların yapılması gerekmektedir.

EA'ların elektrik şebekelerine olan etkileri ve şebekeye entegrasyonu ile ilgili literatürdeki çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir: Elektrikli araçların elektrik şebekeleri üzerindeki ek yüklenme etkisini azaltmak için, elektrikli araçların minimum yüklenme saatlerinde şarj edilmesini teşvik etmek gibi akıllı mekanizmaların düşünüldüğü değerlendirilmektedir. Bu amaçla, Türkiye'deki bir dizi pilot dağıtım şebekesi için elektrikli araçlar üzerindeki etkisi simüle edilmiştir [5]. Türkiye'de bir dağıtım sistemi işletmecisi tarafından işletilen ve EA şarj istasyonu kurulması planlanan park alanları için DIGSILENT PowerFactory V15.1 programında detaylı analizler yapılmıştır [6]. Elektrikli araç sayısının giderek artması nedeniyle, şarj istasyonunun maksimum kayıp ve voltaj dengesizliği olmadan optimize edilmiş şekilde konuşlandırılması gerekmektedir. Optimum şarj istasyonu dağıtımı için üzerinde çalışılan mevcut stratejilerin çoğu, daha yüksek güç kullanımı, güç kaybı, harmonik bozulma ve voltaj dengesizliği ile sonuçlanır. Bu nedenle yeni bir güvercin tabanlı özyinelemeli derin ağı (DbRDN) uygulanması planlanmıştır. Ayrıca geliştirilen sistemin verimliliği hem dengeli hem de dengesiz koşullarda değerlendirilmiş ve sonuçlar güç kaybı, harmonik bozulma, gerilim dengesizliği, hata ve doğruluk açısından hesaplanmıştır [7]. EA şarj talebinin mekansal-zamansal dağılımlarını tahmin etmek, şarj altyapısı düzenini optimize etmek ve akıllı şarj planlama şemalarını uygulamak zorunludur. Uygun EA davranış modellemesi bu hedeflerin gerçekleştirilmesinde temel bir rol oynar. EA davranış modellemesi ve EA-şebeke entegrasyon algoritması geliştirmedeki uygulamaları hakkında kapsamlı bir inceleme sunulmuştur [8]. Dağıtım şebekesi mimarileri, şebeke bağlantı altyapıları ve standartları ile tipik uygulamaların kapsamlı bir incelemesi, EA-şebeke entegrasyonu ve V2G işletimi perspektifinden gerçekleştirilmiştir. Aktif dağıtım şebekelerinin kritik bileşenleri olan nano şebeke, mikro şebeke ve küme mimarilerinin tümü müzakere edilmiştir [9]. Bir çalışmada, yük akışını incelemek ve Ruanda'nın güç sisteminin EA şarj yükü kapasitesini belirlemek için IPSA+ Power arayüzünde simülasyonlar yapılmıştır [10]. Çok terminalli bir DC-bağlantı düzenlemesine dayalı, ancak geleneksel olanlarla aynı güç elektroniği cihazlarını kullanan yeni bir elektrikli araç hızlı şarj istasyonu topolojisi önermektedir. Önerilen topoloji gerçek bir AG dağıtım sisteminin ana özelliklerini taklit eden, küçültülmüş bir sistem üzerinde deneysel olarak doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen çözümün, şarj etkisinin en aza indirilmesi ve mevcut varlıkların kullanımının maksimuma çıkarılması nedeniyle bir e-mobilite sağlayıcı olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir [11]. Elektrikli araç şarj istasyonlarının optimum performansına ulaşmayı amaçlayan tipik koordineli kontrol teknikleri ve enerji yönetimi stratejileri ayrıntılı olarak incelenmiştir [12]. Elektrikli araçların iletim şebekelerine entegrasyonu ile ilgili 2040 yılında Avrupa'da üretim yeterliliği üzerine bir örnek olay çalışması yapılmıştır [13]. Birçok elektrikli aracın aynı anda veya öngörülemeyen zaman dilimlerinde şarj edilmesi, elektrik arz ve talebinde büyük farklılıklara neden olabilir. Şarj istasyonları bu farklılıklar dikkate alınmadan kurulduğunda, yüksek hızlarda şarj olan araçlar voltaj dengesizliğine ve güç kayıplarına neden olarak enerji ağını olumsuz etkileyebilir. Şebekeye olası olumsuz etkileri nedeniyle hem şebekede alınacak önlemlerin hem de yatırım kararlarının ve hızlı şarj istasyonlarının doğru yerde konumlandırılması büyük önem taşır. Yapılan bir çalışmada elektrikli araç şarj sistemleri üzerine son on yılda öne çıkan çalışmalar ve bu sistemlerin enerji şebekesine etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir [14]. Elektrikli araç şarj istasyonunun örnek bir tesisata entegrasyonu durumunda gerçekleştirilecek elektrik tesisatının revizyon ihtiyaçları Simaris arayüzünde simülasyon sonuçlarıyla birlikte incelenmiştir [15]. Şarj istasyonlarının konumlandırılması ile ilgili kapsamlı bir

çalışma yapılmıştır [16]. DC hızlı şarj ünitelerinin şebeke altyapısına etkileri incelenmiştir [17]. Ayrık kontrolör sentezi kullanılarak, elektrikli araçların şarj edilmesiyle elektrik şebekesinin aşırı yüklenmesini önlemek için bir modelleme çerçevesi önerilmiştir [18]. EA şarj istasyonlarının elektrik şebekelerine etkisini gözlemlemek ve ortaya çıkabilecek sorunlara çözüm önerileri sunmak amacıyla bir yıllık süre esas alınarak MATLAB ortamında bir modelleme yapılmış ve Sancaktepe'deki (Sancaktepe, İstanbul) şebeke bölgesi modellenmiştir. Modellemeye uygun olarak şebeke ve transformatörün farklı koşullardaki davranışları gözlemlenmiştir [19]. Elektrikli araçların evlerde, alışveriş merkezlerinde ve şarj istasyonlarında aynı anda şarj edilmesinin şebeke üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Digsilent Powerfactory yazılımı kullanılarak Kırıkkale ilindeki hat durumu ve trafo kapasiteleri araştırılmıştır [20]. Konut bölgelerinde gerçek verilere dayalı olarak EAŞİ'lerin elektrik şebekesine entegrasyonunun analizi yapılmıştır [21]. Sivas ili özelinde elektrikli araç şarj istasyonlarının elektrik şebekelerine etkisinin değerlendirilmesi için bir çalışma gerçekleştirilmiştir [22]. Monte Carlo metodu kullanılarak elektrikli araçların yük tahminleri yapılmıştır [23-25]. Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekelerinin güvenilirlik indislerine olan etkileri olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) ve latin hiperküp örnekleme (LHÖ) yöntemi gibi olasılıksal modelleme yöntemlerinden faydalanılarak tahmin edilmiştir [26]. Latin hiperküp örneklemesinin performansını iyileştirmek için teknikler önerilmiştir [27]. Konut tipi elektrikli araç şarj profilindeki olasılık yoğunluk fonksiyonu tahmin yaklaşımının ilkeleri sunularak uçtan uca derin öğrenme yapısı tasarlanmış ve çekirdek yoğunluk tahmini (ÇYT) ile entegre edilmiştir [28].

Bu çalışmada Karabük Üniversitesi Demir-Çelik kampüsü AG dağıtım şebekesine bağlanacak elektrikli araç şarj istasyonlarının geleceğe dönük farklı senaryolar için mevcut trafolarla ne kadar ek yük getireceği ve trafoların hangi oranlarda yükleneceği olasılıksal yoğunluk fonksiyonu (OYF), latin hiperküp örnekleme (LHÖ) ve yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak tahmin edilmiştir. Literatürde bir il veya bölge için yapılan benzer çalışmalar olsa da spesifik olarak bir üniversite kampüsü için yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Olasılıksal tahmin yöntemleriyle birlikte yapay sinir ağının kullanılması bu makalenin öne çıkan yönü olarak sayılabilir. Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2'de elektrikli araç şarj istasyonları tipleri hakkında özet bilgiler verilmiştir. Bölüm 3'te elektrik şebekesinin OG ve AG tarafının örnek tek hat şemaları ve mevcut trafoların güçleri ve besledikleri bölgeler ayrıntılı şekilde gösterilmiştir. Bölüm 4'te kullanılan yöntem açıklanmış, farklı senaryolara göre 2025, 2030 ve 2040 yılları için trafoların nominal yüklerinin ne kadar artabileceği ve şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine ne kadar ek yük getireceği gerçek verilere dayalı olarak tahmin edilmiştir. Son olarak bölüm 5'te sonuç ve öneriler verilmiştir.

## 2. EA Şarj İstasyonları

Bu bölümde elektrik şarj istasyonları için kullanılan terminoloji ve şarj istasyonları tipleri hakkında ayrıntıya girilmeden bu makalenin konusuna uygun olarak temel bilgiler verilecektir.

Elektrikli araçların bataryaları, evlerde bulunan şarj ekipmanları veya şarj istasyonları aracılığıyla düzenli olarak şarj edilmelidir. Elektrikli araçların şarj işlemi için farklı sınıf şarj üniteleri ve tipleri kullanılabilir. Temel olarak, şarj ekipmanları arasındaki farklılıklar, araca aktarılan besleme akımı değerleri ve şarj için kullanılan besleme gerilimi tipleri (AC veya DC besleme kaynakları) ile belirlenir. Elektrikli araç şarj işlemleri genellikle üç farklı akım ve voltaj seviyesinde gerçekleştirilir: AC Seviye 1, AC Seviye 2 ve DC Seviye. Farklı kıta, bölge ve ülkelerde kabul edilen standartlarda benzerlikler olduğu gibi bazı farklılıklar da bulunmaktadır. Bu çalışmada TOGG elektrikli araçlar ve şarj üniteleri üzerinde durulduğu için bu şarj ünitelerinin özellikleri sunulacaktır.

### 2.1. AC Seviye 1 Şarj Ekipmanı

Seviye 1 şarj üniteleri genellikle araçlarla birlikte sağlanan temel şarj ekipmanlarıdır. Bu üniteler, düşük güç aktarım kapasitesine sahip oldukları için genellikle yavaş şarj olarak bilinirler.

### 2.2. AC Seviye 2 Şarj İstasyonu

Seviye 2 elektrikli araç şarj istasyonları, daha hızlı şarj ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmış ve yüksek güç aktarım kapasitelerine sahip istasyonlardır.

### 2.3. DC Seviye 3 Şarj İstasyonu

Elektrikli araçların şarj edilmesinde kullanılan en gelişmiş yöntemdir. Seviye 3 şarj istasyonları, DC ile şarj edilebilen araçlar için hizmet verirken, AC ile şarj edilen araçlar için uygun değildir.

## 2.4. TOGG-GERSAN Şarj İstasyonları

Dünya genelinde elektrikli otomobillerle ilgili çalışmalar devam ederken, Türkiye’de yerli otomobil geliştirilmiştir. TOGG’un çalışmaları sonucunda, 5 farklı modelde yerli elektrikli otomobil üretilmektedir. Bu modeller sırasıyla C-SUV, C-Sedan, C-Hatchback, B-SUV ve C-MPV olacaktır.

TOGG’un belirttiğine göre, yerli otomobil, EuroNCAP’in standartlarını tam olarak karşılayacak güvenlik özelliklerine sahip olacaktır. Ayrıca, otomobil sürekli olarak internete bağlı olacak, ileri seviye otonom sürüşe imkân verecek, hızlı şarj olabilecek, sıfır emisyonla çevreyi koruyacak ve küresel pazara hitap edecek ileri teknolojik özelliklere sahip olacaktır. TOGG, araçlar için iki farklı motor seçeneği sunmaktadır. Birinci seçenekte 200 beygir gücünde bir motor bulunurken, ikinci seçenekte 400 beygir gücünde iki motor bulunmaktadır. Her iki model de Türkiye’de bulunan fosil yakıtlı muadillerinden daha hızlı olacaktır. Yerli otomobilin maksimum hızı güvenlik nedeniyle 180 km/s ile sınırlı olacaktır. TOGG otomobilin bataryası da iki farklı seçenek sunmaktadır. Birinci seçenekte tek şarjla 300 kilometre gidilebilirken, ikinci seçenekte menzil 500 kilometreye kadar çıkabilmektedir. Ayrıca, araç içerisindeki rejeneratif frenleme teknolojisi sayesinde frenleme sırasında enerji geri kazanılabilir. TOGG otomobilin bataryasının %80’i şarj olması için 30 dakikadan az bir süre yeterlidir [29].

### 2.4.1. Normal tip (ödeme sistemli) AC şarj istasyonu

Normal tip AC şarj istasyonları, tek fazlı 16 A (3,7 kW) seviyesinden üç fazlı 63 A (44 kW) seviyesine kadar şarj akımlarına sahiptir. Şarj süreleri araç kapasitesine göre değişmektedir. İstasyonlar, tüm araçlara uyumlu standart özellik ve korumaları içerir. Opsiyonel olarak, aynı anda 4 aracı şarj edebilen 4 priz bulunabilir.

### 2.4.2. Smart tip AC şarj istasyonu

Zeki tip (ödeme sistemli) Akıllı Tip AC Şarj İstasyonu (Ödeme Sistemli) Akıllı tip AC şarj istasyonları, tek fazlı 16 A (3,7 kW) seviyesinden üç fazlı 63 A (44 kW) seviyesine kadar şarj akımlarına sahiptir. Bu istasyonlar, enerji ölçümü, RFID kart okuyucu, dokunmatik ekran gibi özellikler içerir. Opsiyonel olarak, aynı anda 4 aracı şarj edebilen 4 priz bulunabilir. İstasyon, IEC 62196 standartlarında 1 adet Mod-3 Tip-2 şarj prizine sahiptir.

### 2.4.3. DC tip şarj istasyonu

DC (hızlı) şarj istasyonları, 15 kW seviyesinden 350 kW ve daha fazlasına kadar şarj gücüne sahiptir. Araç kapasitesine göre değişen sürelerde şarj edebilirler. İstasyonlar, CCS / Chademo standartlarına uygun fiş ve prizlere sahiptir. Opsiyonel olarak, aynı anda AC veya DC şarj edebilen fişler bulunabilir. Üniteler, IEC standartlarına ve CE belgelerine uygun olarak tasarlanmıştır. Tablo 1’de tabloda şarj istasyonlarının standart değerleri (faz sayısı, akım, güç değerleri) verilmiştir [30].

**Tablo 1.** Şarj istasyonları standart değerleri.

Faz Sayısı	Akım (A)	Güç (kW)
1	16	3,7
1	32	7,4
3	16	11
3	32	22
3	63	44
DC	-	25-50

## 3. Demir Çelik Kampüsü Elektrik Şebekesi

Karabük Üniversitesi Demir Çelik kampüsü elektrik şebekesinde yedisi 1000 KVA ve ikisi 800 KVA gücünde olmak üzere toplam dokuz trafo bulunmaktadır. Kurulu güç 8600 KVA dır. Bütün trafoların primeri (girişi) 34,5 kV OG şehir şebekesine bağlıdır. Trafoların sekonderi (çıkışı) 0,4/0,231 kV tur. Karabük Üniversitesi Demir Çelik kampüsü elektrik dağıtım şebekesi BEDAŞ firmasına ait olan orta gerilim şebekesi üzerinden beslenmektedir. Orta gerilim hattı üniversite içerisinde girdikten sonra orta gerilim dağıtım binasına içerisinde bulunan baralar vasıtası ile orta gerilim dağıtım hatlarına iletilir ve üniversite içerisinde bulunan alçak gerilim şebekesine geçişi yapılır. Tablo 2’de trafolar, güçleri ve besledikleri alanlar verilmiştir.

**Tablo 2.** Trafo güçleri ve besledikleri bölgeler.

Trafo	Güç (KVA)	Besleme Bölgesi
TR1-A	1000	Teknoloji Fak., Yab. Diller
TR1-B	800	Rektörlük, Tıp Fak
TR2	1000	B3, B4 binası, Isı Merkezi, Spor Salonu
TR3	1000	Cami, İktisat Fak., Sosyal Tesisler
TR4	1000	İlahiyat Fak., Öğrenci İşleri
TR5	1000	Kütüphane, Yeni Spor Salonu
TR6	800	Mühendislik Fak.
TR7	1000	Stadyum
TR8	1000	AR-GE binası

Kampüste bazı binalarda güneş enerji sistemleri de kurulmuştur. Bu binalarda yükler gündüz saatlerinde güneş enerjisi sisteminden beslenmekte, güneş enerjisi sistemi yetersiz kalırsa yükler şebeke tarafından beslenmektedir. Tablo 3'te güneş enerjisinin kurulu olduğu binalar ve güçleri verilmiştir.

**Tablo 3.** Güneş enerjisi kurulu yerleri ve güçleri.

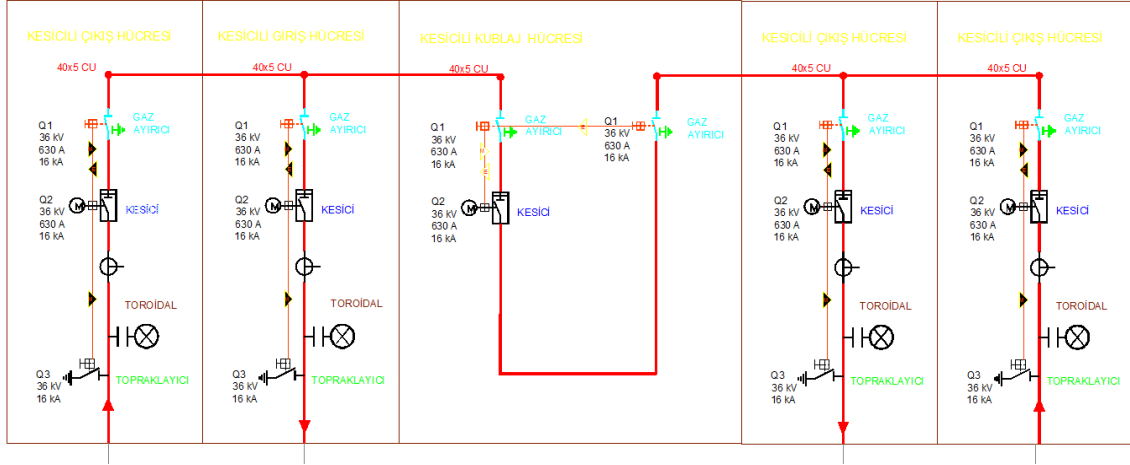
Yer (Bina)	Güç (kW)
Spor Salonu	50
Yabancı Diller MYO	250
Teknoloji Fakültesi	300
İlahiyat Fakültesi	100
İİBF	300
Mühendislik Fakültesi	100

Karabük Üniversitesini besleyen UNI-1 ve UNI-2 olmak üzere iki ayrı OG hattı bulunmaktadır. TEDAŞ (enerji dağıtım firması) feeder hücresi ile üniversitenin MV giriş hücresi arasındaki kablo uzunluğu 438 m dir. Bu iki hat için de  $3 \times (1 \times 95 + 16)$  mm<sup>2</sup> kesitinde XLPE kablolar kullanılmıştır. Şekil 1'de Karabük Üniversitesini besleyen TEDAS çıkış feeder leri görülmektedir. Şekil 2'de ise üniversiteye giriş OG hücreleri (UNI-1 and UNI-2) verilmiştir.

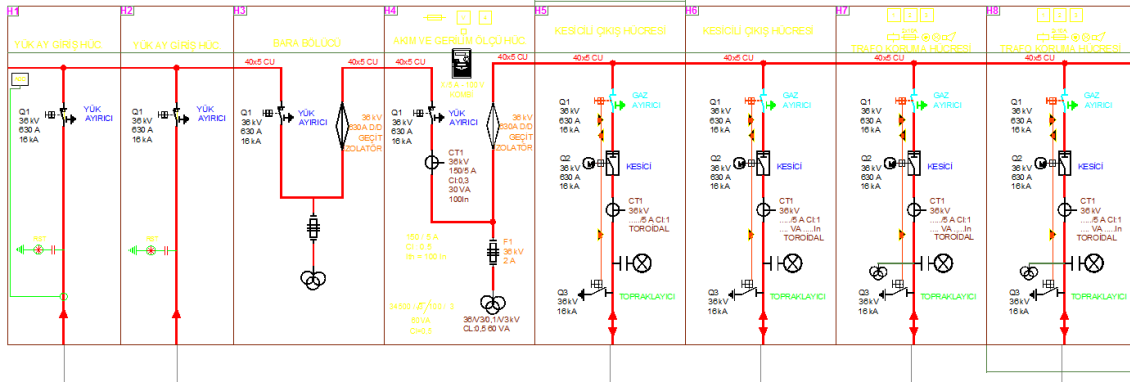
OG şebekesine bağlanan her trafonun AG tarafında kendi besleme alanları vardır. Transformatörlerin çıkışı 0,4/0,231 kV'dir. Her trafoya ait kompanzasyon panoları bulunmaktadır. Örnek olarak TR6'nın AG tek hat şeması Şekil 3'de verilmiştir.

Demir Çelik yerleşkesinde trafolardan çekilen enerji SCADA sistemi ile aylık ve günlük olarak takip edilebilmektedir. Çizilen güç grafiklerinin analizi, transformatörlere bağlanacak şarj istasyonlarının transformatörlerin yükleme oranını nasıl etkileyeceğini analiz etmek açısından önemlidir. Demir Çelik kampüsünde 6 adet büyük otopark bulunmaktadır. Otoparkların yerleri ve şarj istasyonlarının bağlanacağı trafoların yerleri Tablo 4'te verilmiştir. Transformatörlerin seçiminde transformatörlerin yakınlığı (kablo uzunluğu) ve yük oranları dikkate alınmıştır.

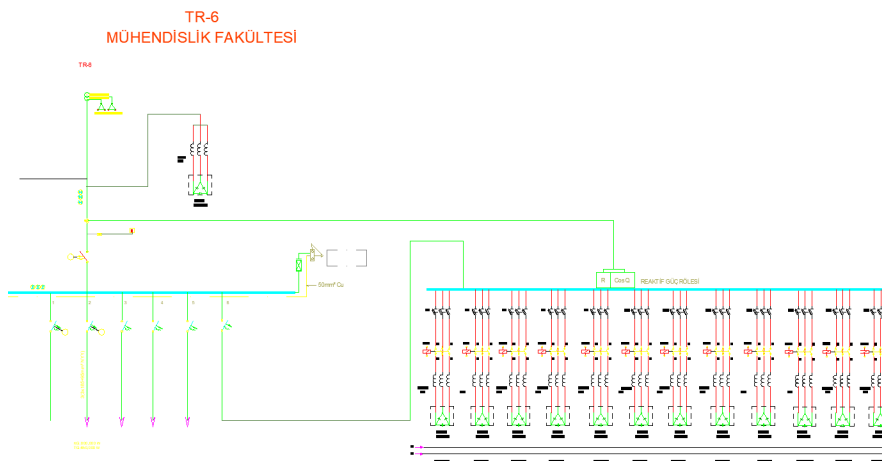
Elektrik Araç Şarj İstasyonlarının Elektrik Şebekesine Entegrasyonu: OYF, LHÖ ve YSA ile Karabük Üniversitesi Yerleşkesi Durum Çalışması



Şekil 1. TEDAS OG UNI-1 and UNI-2 fiderleri.



Şekil 2. Üniversiteye giriş UNI-1 and UNI-2 fiderleri.

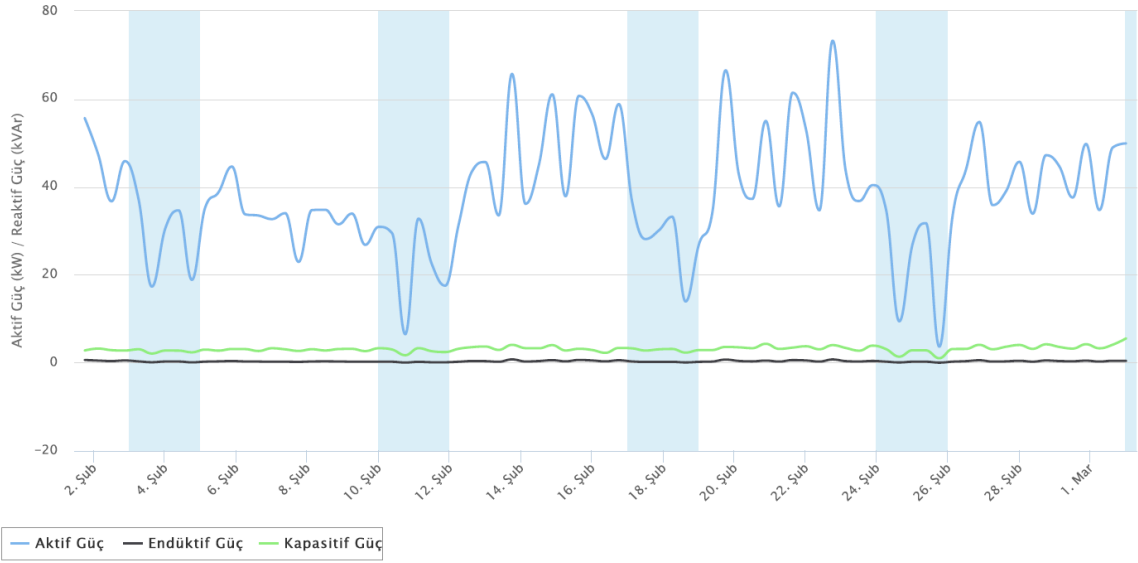
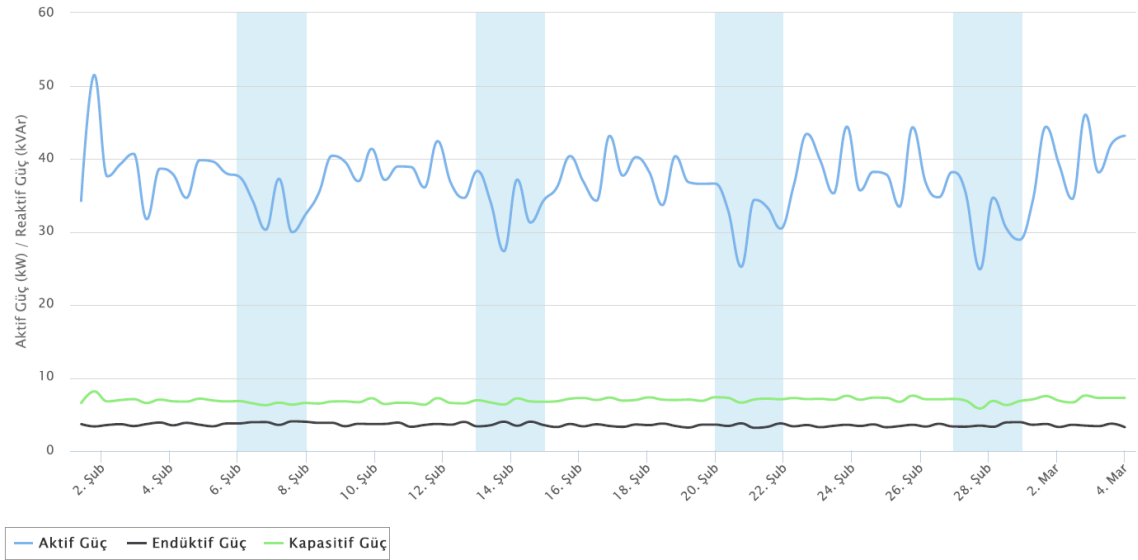


Şekil 3. TR6 AG tek hat şeması.

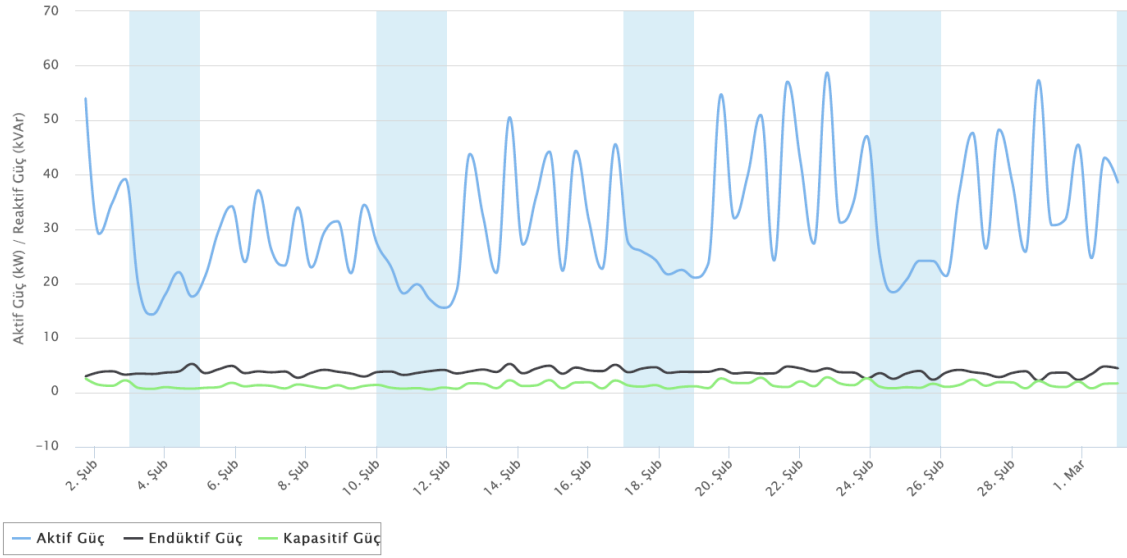
**Tablo 4.** Park alanları ve şarj istasyonlarının bağlanacağı trafolar.

Park Alanları	Bağlanılacak Trafo
Rektörlük Binası	TR1-B
İİBF	TR3
Öğrenci İşleri	TR3
Teknoloji Fakültesi	TR4
Mühendislik Fakültesi	TR6
Stadyum	TR7

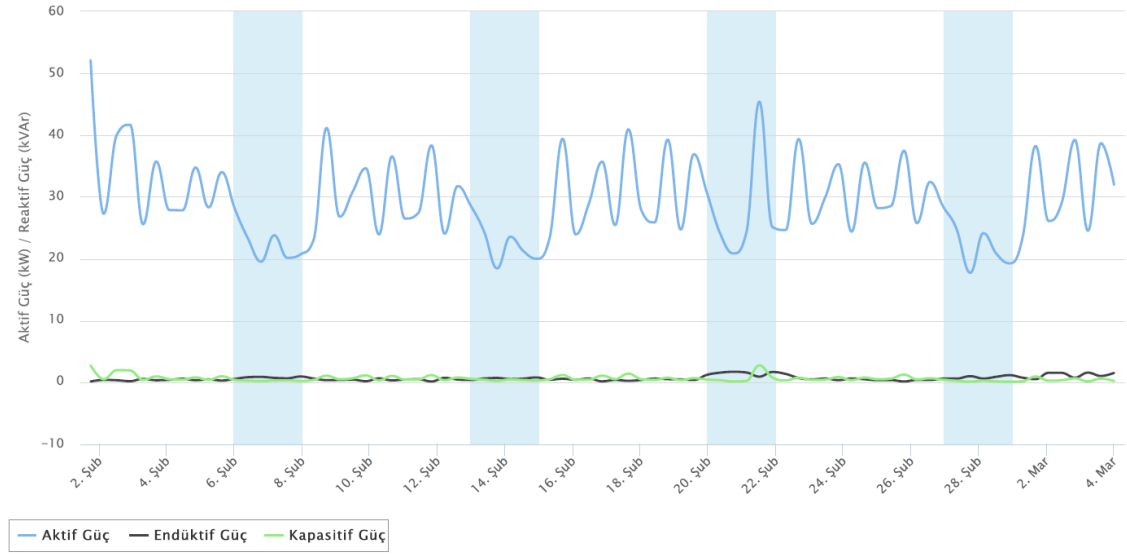
TR1-A, TR2, TR5 ve TR8'e şarj istasyonları bağlanmadığı için bu trafoların grafikleri burada verilmeyecektir. TR1-B, TR3, TR4, TR6 ve TR7 trafolarına ait son birkaç yıla ait aylık ve günlük grafikler incelenerek bu trafoların yüklenme durumları ve oranları tespit edilmiştir. Çok fazla grafik olduğu ve burada hepsinin gösterilme imkanı olmadığı için örnek olarak Şekil 4-5'te Mühendislik Fakültesinin, Şekil 6-7'de İİBF'nin şubat 2024 ve şubat 2021 güç grafikleri verilmiştir.

**Şekil 4.** Şubat 2024'te Mühendislik fakültesinden alınan güç grafiği.**Şekil 5.** Şubat 2021'de Mühendislik fakültesinden alınan güç grafiği.

Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Elektrik Şebekesine Entegrasyonu: OYF, LHÖ ve YSA ile Karabük Üniversitesi Yerleşkesi Durum Çalışması



Şekil 6. Şubat 2024'te İİBF'den alınan güç grafiği.



Şekil 7. Şubat 2021'de İİBF'den alınan güç grafiği.

TR1-B'ye bağlı Rektörlük binası ve Tıp Fakültesi'nin grafikleri incelendiğinde toplam anlık veya günlük maksimum (tepe) gücün 150-200 KVA olduğu görülmektedir.

İİBF binasında 300 kW güneş enerji sistemi (GES) bulunmaktadır. Özellikle yaz aylarında ve güneşli havalarda gündüz saatlerinde binanın tüm ihtiyaçlarını GES tek başına karşılamaktadır. Bulutlu havalarda ve/veya gece GES'in yetersiz olduğu durumlarda bina şebekeden beslenir. TR3'e bağlı İİBF ve Sosyal Yaşam Merkezi'nin aylık ve günlük güç grafikleri incelendiğinde toplam çekilen gücün ortalama 50-60 KVA olduğu görülmektedir. İİBF'ne kurulan 300 kW GES sayesinde özellikle yaz aylarında ve gündüz saatlerinde trafodan çekilen güç oldukça azalmaktadır.

TR4'e bağlı İlahiyat Fakültesi ve Öğrenci İşleri binalarının aylık ve günlük güç grafikleri incelendiğinde toplam çekilen gücün ortalama 40-60 KVA olduğu görülmektedir. İlahiyat Fakültesi'ne kurulan 100 kW GES sayesinde özellikle yaz aylarında ve gündüz saatlerinde şebekeden çekilen güç oldukça azalmaktadır.



TR6'ya bağlı Mühendislik Fakültesi binasının aylık ve günlük güç grafikleri incelendiğinde toplam çekilen gücün ortalama 50-60 KVA olduğu görülmektedir. Mühendislik Fakültesi'ne kurulan 100 kW GES sayesinde özellikle yaz aylarında ve gündüz saatlerinde trafodan çekilen güç oldukça azalmaktadır.

TR7'ye bağlı olan stadyumu besleyen ana elektrik panosu henüz SCADA sistemine dahil edilmediğinden TR7'nin güç grafikleri alınmamıştır. Ancak günlük ve anlık ölçümlerde maksimum 15-20 KVA güç çekildiği tespit edilmiştir. Ayrıca gece maçlarında nadiren devreye giren 400 KVA'lık lambalar bulunmaktadır.

Trafoların günlük ve aylık yük grafikleri incelendiğinde maksimum %5-10 civarında yüklendiği tespit edilmiştir.

#### 4. EA Şarj İstasyonu Durum Çalışmaları

Bu bölümde Karabük Üniversitesi Demir Çelik (Merkez) kampüsü için mevcut elektrik şebekesinin analizi yapıldıktan sonra 2025, 2030 ve 2040 yılları için üç farklı senaryoya göre üç farklı durum çalışması yapılmıştır. 2025, 2030 ve 2040 yıllarında trafoların nominal yüklerinin ne kadar artacağı ve kampüste bulunabilecek EA sayısı bu sayıya uygun şekilde gerekli EA şarj istasyonu sayısı senaryoları çalışılarak şarj istasyonlarının şebekeye ne kadar ek yük getireceği tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Elektrikli araç şarj istasyonları kullandıkları ülkelerin şebeke gerilim değerine, elektrik frekanslarına, güç aktarım kapasitelerine, güç aktarım sürelerine, şarj ettikleri araç tiplerine ve araç markalarına göre farklı tiplerde olabilmektedir. Aynı araç şarj istasyonlarının bile kullandıkları ülkelerin araç standartlarına göre versiyonları değişebilmektedir. Ancak yine de çoğu EA ve EA şarj istasyonları elektriksel özellikleri açısından (güçleri, şarj süreleri vb) birbiri ile aynı veya benzer özellikler göstermektedir. Bu çalışmada TOGG marka EA ve GERSAN şarj istasyonları baz alınmıştır. Şebeke modelleme ve simülasyonları için ETAP Electrical Power System Analysis arayüzü kullanılmıştır.

ETAP, elektrik güç sistemleri modelleme ve simülasyonu için en çok tercih edilen arayüzlerden birisidir. Yüzden fazla analiz modülüyle güç sistemleri ile ilgili hemen hemen her türlü simülasyon ve analiz yapılabilmektedir. ETAP Yük Akışı Analiz Yazılımı (Load Flow Analysis Software), elektrik sistemi boyunca bara gerilimlerini, brans güç faktörlerini, akımları ve güç akışlarını hesaplamak için kapsamlı bir güç akışı analizi ve simülasyon araçları seti sunmaktadır. ETAP Yük Akışı Yazılımı, otomatik çalıştırma yük akışı simülatörü, ekipman değerlendirme, uyarılar/uyarı özet raporları, yük akışı sonuç analizörü ve akıllı ve etkileşimli grafikler gibi yerleşik özellikler sunarak günümüzde mevcut olan en iyi ve en verimli elektrik güç akışı analiz yazılımlarından biri olduğu söylenebilir. Güç Akışı Simülasyonu (Power Flow Simulation), talep değerlendirmesi, güç akışı analizi, kayıplar, güç faktörü düzeltilmesi ve voltaj düşüşü hesaplamaları için temel bir analiz modülüdür. Ayrıca ölçeklenebilir çözümler, çevrimdışı analizden gerçek zamanlı uygulamalara geçiş; modellemeden operasyona kadar tam entegre bir çözüm; izleme, tahmin, optimizasyon, kontrol ve otomasyon için gerçek zamanlı çözüm yaklaşımları öne çıkan özellikleri olarak sayılabilir.

Türkiye'de elektrikli araç şarj sistemleri tasarımı ve uygulaması yapmakta olan farklı firmalar mevcuttur. Genel olarak bakıldığında elektrikli araçların güçlerine göre bir sınıflandırma göze çarpmaktadır. Markaların ürünleri de bu açıdan incelendiğinde ürünlerin enerji güç seviyeleri 3,7 kW, 7,4 kW, 11 kW, 22 kW ve 44 kW olduğu görülmektedir. Bu çalışmada model olarak Gersan firmasının 22 kW, 3 fazlı, Smart tip şarj ünitesi modeli kullanılacaktır.

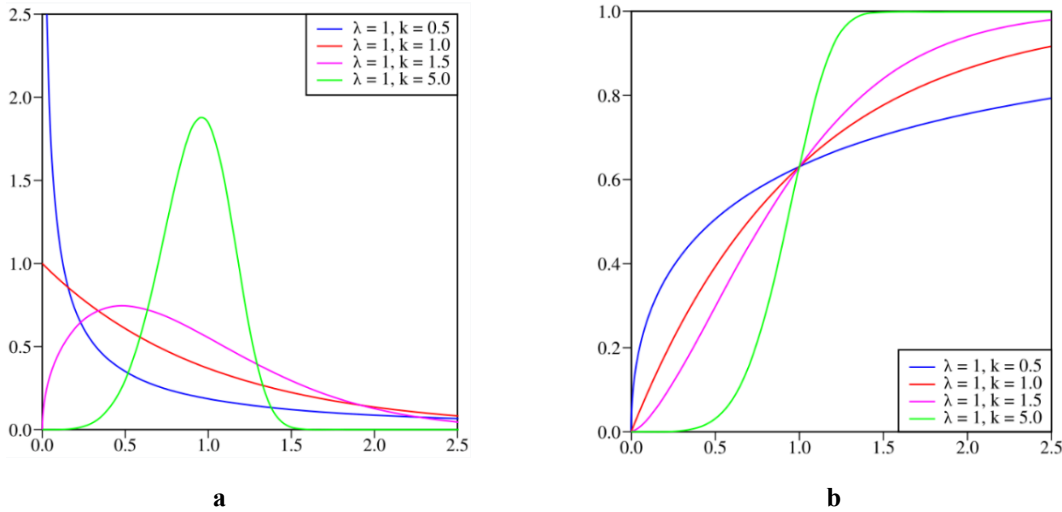
Karabük Üniversitesi Demir Çelik kampüsünde altı adet büyük otopark bulunmaktadır. Bu alanlar Rektörlük binası çevresi, İİBF binası çevresi, Öğrenci İşleri binası çevresi, Teknoloji Fakültesi binası çevresi, Mühendislik Fakültesi çevresi ve Stadyum çevresinde bulunmaktadır. En büyük park alanı Öğrenci İşleri binasının etrafındaki park alanıdır. Otoparkların trafolarla yakınlığı (kablo mesafesi), trafoların yükleme oranları ve otoparkların büyüklüğü (araç sayısı) dikkate alınarak EA şarj istasyonlarının hangi trafolardan beslenebileceği belirlenmiştir. Bu Tablo 4'te verilmiştir. Bu bölümde Demir Çelik yerleşkesinde bulunabilecek elektrikli araç sayısına ve bu araçlar için gerekli olan şarj istasyonu sayısına göre 2025, 2030 ve 2040 yılları için yük analizi, ağ modellemesi ve simülasyonları yapılmıştır.

#### 4.1. Kullanılan Yöntem

Trafoaların gelecek yıllardaki (2025, 2030 ve 2040) nominal yüklenme oranlarını, kampüs içinde bulunabilecek günlük ortalama EA sayısı ve buna bağlı olarak EAŞİ sayısını ve tarafaoya getirecekleri ilave yükleri tahmin edebilmek için olasılıksal yoğunluk fonksiyonu-probabilistic density function (OYF-PDF), latin hiperküp örnekleme-latin hypercube sampling (LHÖ-LHS) ve yapay sinir ağı-artificial neural network (YSA-ANN) kullanılmıştır. Gelecek yıllarda trafoları yüklenme oranlarını tahmin etmek için çeşitli yüklenme senaryolarının oluşturulması gerekmektedir. Bu doğrultuda, çalışmada olasılık modellerine başvurulmuştur. Olasılıksal modelleme kapsamında, olasılık yoğunluk fonksiyonları (OYF) kullanılmış ve istatistiksel değişkenler arasındaki ilişkiler korelasyon katsayılarıyla belirlenmiştir. Bilinen değişkenler için ayrı olasılık dağılımları ve aralarındaki korelasyon değerleri göz önünde bulundurularak, uygun sayıda yüklenme senaryosu üretmek amacıyla olasılıksal örnekleme yöntemi uygulanmıştır. Hem mevcut transformatör yüklerinin hem de sisteme entegre edilmesi planlanan elektrikli araç şarj istasyonlarının olasılıksal modellemesi için Weibull dağılımı tercih edilmiştir [26-33]. Weibull dağılımı çeşitli problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. [31-33]. Bir Weibull rastgele değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem (1)'de verilmiştir.

$$f(x, \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0, \end{cases} \quad (1)$$

Burada  $x$  rastsal değişken,  $\lambda$  ölçek parametresi,  $k$  şekil parametresidir. Tamamlayıcı kümülatif dağılım fonksiyonu, gerilmiş bir üstel fonksiyondur. Weibull dağılımı, bir dizi başka olasılık dağılımıyla ilişkilidir; özellikle, üstel dağılım ( $k = 1$ ) ile Rayleigh dağılımı arasında interpolate eder. Weibull dağılımı ile modellemesi yapılacak değişkenlerin her biri için bu iki parametrenin hesaplanması yeterli olacaktır. Tipik bir Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu ve yığılmalı dağılım fonksiyonu Şekil 8a ve Şekil 8b'de görülmektedir.



Şekil 8. a) Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu b) yığılmalı dağılım fonksiyonu [34].

Elde edilen olasılık yoğunluk fonksiyonları (OYF) ve hesaplanan korelasyon katsayıları, belirlenen sayıda olasılıksal örnekleme, yani senaryoların üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu sayede, örneklemelemlerden elde edilen istatistiksel sonuçlar, sistemin tamamına dair daha gerçekçi değerlendirmeler yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışmada Latin Hiperküp Örnekleme (LHÖ) yöntemiyle örneklemelemler oluşturulmuştur. Latin hiperküp örnekleme (LHS), çok boyutlu bir dağılımdan parametre değerlerinin neredeyse rastgele bir örneğini oluşturmak için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Çıktı değişkenlerinin fonksiyon tahminleri için giriş değerleri oluşturmak amacıyla kullanılan bir örnekleme metodudur. Monte Carlo örnekleme yönteminin gelişmiş bir formu olan LHS, ilgili asimptotik anlamda basit rastgele örneklemeyle kıyasla varyansı azaltır. LHÖ çeşitli problemler için

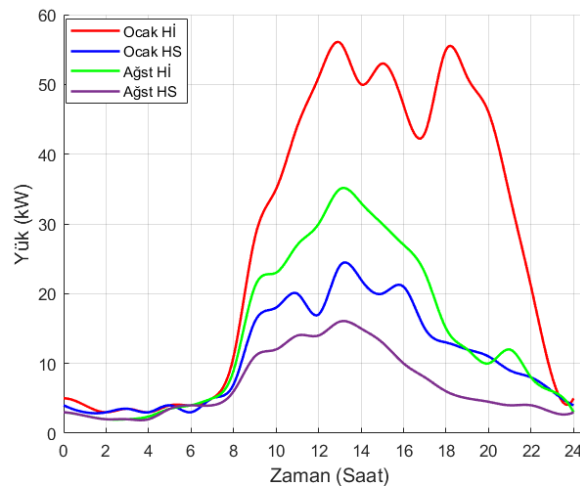
kullanılabilir [35-37]. [26] ve [27]'de açıklanan tekrar sıralama algoritması (TSA) ile bu örneklemeler arasındaki gerekli korelasyon yapısı sağlanmıştır. LHÖ yönteminde, daha önce hesaplanmış olan OYF'nin yanı sıra aynı dağılıma ait birikimli dağılım fonksiyonu (BDF) da hesaplanmaktadır.

Elde edilen OYF'ler ve hesaplanan korelasyon değerleri, istenilen sayıda olasılıksal örnekleme (senaryo) oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu sayede, elde edilen örneklemelerin sunduğu istatistiksel çıkarımlar, sistemin genel yapısına dair gerçekçi yorumlar yapmayı mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada Latin Hiperküp Örnekleme (LHÖ) yöntemiyle örneklemeler elde edilmiş ve [26]ve [27] de açıklanan tekrar sıralama algoritması (TSA) ile örneklenmiş veriler arasındaki korelasyon yapısı oluşturulmuştur. LHÖ yönteminde, daha önce hesaplanan OYF'ye ek olarak, aynı dağılım için birikimli dağılım fonksiyonu (BDF) de hesaplanmaktadır. N sayıda örnek (senaryo) üretmek istendiğinde, öncelikle N adet tekdüze dağılmış rastgele değişken ( $u$ ) oluşturulur ve bu değişkenler [23] de açıklandığı gibi hesaplanır.

Bölüm 3'te grafiksel olarak bazı örnekleri verilen, trafolarla ait geçmiş yıllardaki gerçek yüklenme verileri kullanılarak, yukarıda açıklanan olasılıksal modeller uygulanmıştır. Hafta içi- hafta sonu ve yaz-kış (özellikle güneş paneli bulunan yerlerde trafoların yüklenme durumları farklılık gösterdiği için dört farklı duruma (yaz/kış - hafta içi/haftasonu) göre ortalama yüklenme eğrileri çıkarılmıştır. Gerçek yüklenme eğrilerinden yararlanılarak Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) elde edilmiştir. Hesaplanan Weibull parametreleri olan şekil ve ölçek parametreleri, yaz/kış ve hafta içi/haftasonu olmak üzere dört farklı durum için Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'deki Weibull parametreleri kullanılarak OYF eğrileri oluşturulmuştur. Olasılıksal modellerin daha gerçekçi olabilmesi için, mevcut yük gruplarının olasılıksal ilişkileri ve birlikte bulunma durumları, yani korelasyonları dikkate alınmıştır. TR6 için elde edilen günlük ortalama yük dağılımı grafiği Şekil 9' da verilmiştir.

**Tablo 5.** Trafoların nominal yükler için Weibull fonksiyonu parametreleri.

Periyot	$\lambda/k$	TR1-B	TR3	TR4	TR6	TR7
Ocak hafta içi	$\lambda$	1,4854	1,5320	1,2548	1,1788	0,2546
	k	5,2613	4,9547	4,2566	4,9254	2,1411
Ocak hafta sonu	$\lambda$	1,4325	1,2935	0,9236	1,1125	0,2236
	k	4,2845	4,1518	4,1123	4,7856	2,0853
Ağst hafta içi	$\lambda$	0,9811	0,9123	0,4558	1,2247	0,1896
	k	4,5670	4,4782	3,8547	4,8624	2,5487
Ağst hafta sonu	$\lambda$	1,0781	1,2454	0,4123	0,9547	0,1793
	k	3,8321	4,1948	3,6236	4,6345	2,4712



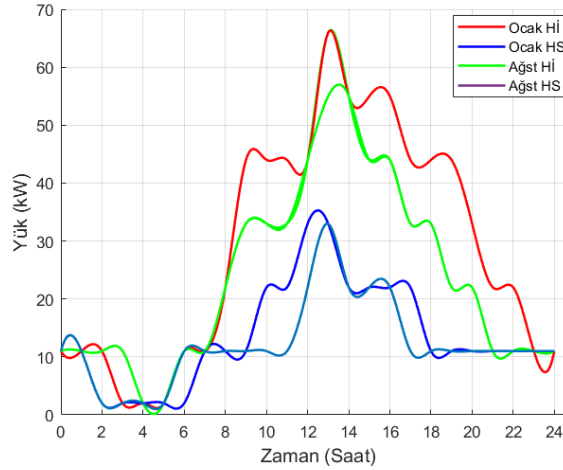
**Şekil 9.** TR6 günlük ortalama nominal yük dağılımı grafiği.

Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine ne kadar ek yük getirebileceğini hesaplamak amacıyla, kampüs girişinde bulunan plaka tanıma sisteminden alınan gerçek araç giriş-çıkış verileri kullanılmıştır. Günlük ortalama elektrikli araç sayısı ve buna bağlı olarak kullanılacak şarj istasyonu sayısı ve bu şarj istasyonlarının yük

eğrileri yaz/kış ve haftaiçi/haftasonu olmak üzere her bir trafo için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Daha sonra, trafolarla ait farklı yüklenme senaryoları oluşturmak amacıyla, mevcut yüklenme eğrilerinden yararlanılarak Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) elde edilmiş; Weibull parametreleri olan şekil ve ölçek parametreleri, yaz/kış ve haftaiçi/haftasonu için dört farklı durumda Tablo 6'daki gibi bulunmuştur. Tablo 6'da yer alan Weibull parametreleri kullanılarak, her bir trafo için oluşturulan elektrikli araç şarj istasyonu yük dağılım eğrilerinden örnek olarak TR 6 için Şekil 10'deki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 6.** Trafoların EAŞİ için Weibull fonksiyonu parametreleri.

Periyot	$\lambda/k$	TR1-B	TR3	TR4	TR6	TR7
Ocak hafta içi	$\lambda$	1,3567	1,6871	1,0636	1,0874	0,1855
	k	4,3254	4,7854	4,1126	4,3654	1,1411
Ocak hafta sonu	$\lambda$	0,6556	0,8965	0,7835	0,3654	0,1223
	k	1,1547	1,6987	1,2354	1,2647	1,2322
Ağst hafta içi	$\lambda$	0,9251	0,8724	0,8668	0,8654	0,3556
	k	3,2325	4,1134	3,6544	3,5325	1,4635
Ağst hafta sonu	$\lambda$	0,4958	0,6218	0,5134	0,4126	0,1832
	k	0,2875	1,1564	1,1237	1,2214	1,3623



**Şekil 10.** TR6 günlük ortalama EAŞİ yük dağılımı grafiği.

Yukarıda açıklanan transformatör ve elektrikli araç yük eğrilerinden yararlanılarak yüklenme senaryoları üretilmiştir. Bu senaryoları oluşturmak için, transformatör yük gruplarının Weibull dağılım eğrileri Latin Hiperküp Örnekleme (LHÖ) yöntemi ile örneklenmiştir. LHÖ ile elde edilen olasılıksal dağılıma sahip örneklem sayısı fazla olduğunda, bu örnekler birleştirilerek veri grupları oluşturulabilir. Ancak bu veri grupları arasındaki korelasyonlar dikkate alınmazsa, sağlıklı sonuçlar elde edilemez. Bu nedenle, yük gruplarının korelasyonları belirlenip, örnekler bu değerlere uygun olacak şekilde sıralanmıştır. Bu amaçla, [26] ve [27]'de açıklanan tekrar sıralama algoritması ve eşitliklerle iki değişken arasındaki korelasyon hesaplanmıştır.

Yukarıda belirtilen modelleme adımları kullanılarak, transformatörlerin günlük yük profillerine yönelik senaryolar oluşturulmuş ve elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme eklenmesi durumunda bu yük profilleri güncellenmiştir. Mevcut trafoların ve elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin, uygun korelasyon değerlerini sağlamak amacıyla eşleştirmeler ve yeniden sıralama yapılmıştır. Oluşturulan senaryo gruplarının geleceğe yönelik tahminlerle desteklenmesi, ileriki yıllar için anlamlı çıkarımlar yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu doğrultuda hem mevcut transformatör yükleri hem de elektrikli araç şarj istasyonu yükleri için ileriye dönük tahminler yapılmıştır. Mevcut transformatör yükleri için tahminler, son 6 yıla ait yüklenme verileri incelenerek yapılmış ve bu verilere uygun büyüme katsayıları belirlenmiştir. Bu katsayılar kullanılarak 2025, 2030 ve 2040 yıllarına ait öngörüler yapılmıştır.

Bahsedilen yöntem ile elde edilen olasılıksal modelin gelecek yıllar içerisinde de aynı kalacağı kabul edilmiştir. Bu nedenle OYF ve korelasyon hesapları tekrarlanmamıştır. Fakat gözlenecek en önemli değişimin

elektrikli araç yüklerinin miktarında yaşanacağı varsayımı yapılarak, ele alınan yıllara yönelik yeni senaryolar üretilmiştir. Bu senaryolara göre tahmin edilen EA sayıları bu araç sayılarına göre belirlenen elektrikli araç şarj istasyonlarının yük eğrileri güncellenmiştir. Son olarak EAŞİ ve diğer yükler için yeni yüklenme senaryoları aşağıdaki tablodaki gibi üretilmiştir. Üretilen 25 senaryodan örnek olarak altısı Tablo 7’de görülmektedir. Maksimum yüklenme değerlerinin elde edildiği 5 nolu senaryo dikkate alınmıştır.

**Tablo 7.** Farklı senaryolar için trafoların 2040 yılına ait hesaplanan yük değerleri (kW).

Senaryo No	TR1-B	TR3	TR4	TR6	TR7
1	281	426	154	235	146
2	270	420	158	242	148
3	243	382	147	227	126
4	264	415	154	238	143
5	290	459	170	258	162
25	258	411	163	241	153

Yukarıda açıklanan Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu ve Latin Hiperküp Örnekleme yöntemleriyle elde edilen sonuçların yanında 2025, 2030 ve 2040 yıllarında yerleşkede bulunacak günlük ortalama EA sayısını tahmin etmek için yapay sinir ağı (YSA) da kullanılmıştır.

YSA uygulaması için yıl (aralık ayı baz alınarak), kampüste bulunan günlük ortalama araç sayısı, (GOAS), EPDK’nın (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) Türkiye’de’ki gelecek yıllara ait EA sayısı tahminleri, (EPDKT), IEA’nın (Uluslararası Enerji Ajansı) dünyadaki EA sayısı tahminleri (IEAT) YSA’nın giriş parametreleri olarak seçilirken, EA sayısı çıkış parametresi olarak belirlenmiştir. YSA’nın eğitimi ve testi için 2018-2023 yıllarına ait veriler kullanılmıştır. Kampüs girişinde bulunan plaka tanıma sisteminden alınan gerçek dataların yanısıra yukarıda açıklanan yöntemlerle elde edilen senaryolardan elde edilen veriler de kullanılmıştır. Verilerin yaklaşık %75’i ağı eğitimi, %25’i test için kullanılmıştır.

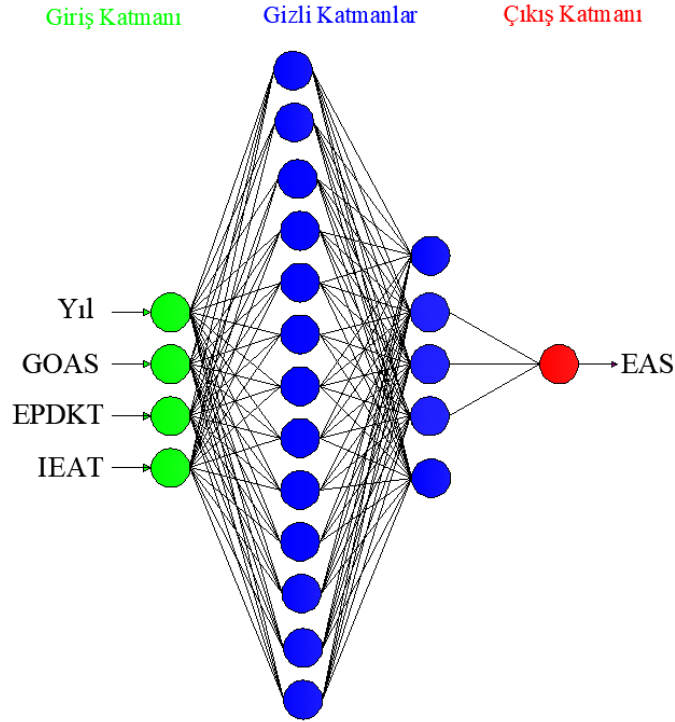
Elde edilen veriler 0,1 ile 0,9 arasında değerlere sahip olacak şekilde normalize edilmiştir. Normalizasyon için kullanılan formül Denklem (2)’deki gibidir.

$$V_N = 0.8 \times \left( \frac{V - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \right) + 0.1 \quad (2)$$

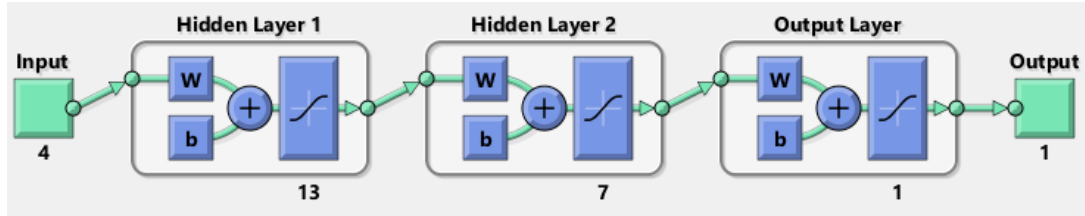
Burada;  $V_N$  normalize edilmiş değer,  $V_{min}$  minimum değer,  $V$  orijinal değer ve  $V_{max}$  maksimum değerdir. Normalize edilmiş değerden elde edilen orijinal değeri belirlemek için kullanılan formül Denklem (3)’teki gibidir.

$$V = \frac{V_N(V_{max} - V_{min}) - 0.1V_{max} + 0.9V_{min}}{0.8} \quad (3)$$

Farklı algoritmalar ve ara (gizli) katman sayıları arasında en iyi sonuçların iki ara katmana sahip Levenberg-Marquardt (LM) algoritmasından elde edildiği görülmüştür. Transfer fonksiyonları olarak Purelin (doğrusal transfer fonksiyonu) ve radbas (radyal bazlı transfer fonksiyonu) seçildi ve bu iki fonksiyondan benzer sonuçlar elde edildi. Yapay sinir ağı Matlab ortamında oluşturulmuştur. Değişik mimarilerle kurulan YSA’lardan en iyi sonuçları veren ve ilk katmanda 13 nöron ve ikinci katmanda 7 nöron olmak üzere iki gizli katmana sahip olan yapay sinir ağı mimarisi kullanıldı. Network tipi olarak feed-forward backpropagation seçilmiştir. İterasyon sayısı optimum 100 olarak belirlenmiştir. Şekil 11’de oluşturulan YSA’nın mimarisi, Şekil 12’de Matlab görüntüsü görülmektedir.



Şekil 11. Oluşturulan YSA mimarisi.



Şekil 12. Oluşturulan YSA'nın Matlab'deki görünümü.

YSA'ların eğitim ve test aşamalarında hataları güvenilirlik oranlarının göstermede yaygın olarak kullanılan RMSE (Root Mean Squared Error-Kök Ortalama Kare Hatas),  $R^2$  (Absolute fraction of variance-Mutlak varyans kesri) ve MAPE (Mean Absolute Percentage Error-Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi) formülleri Denklem (4-6)'da verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (t_j - o_j)^2}{n}} \quad (4)$$

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_{j=1}^n (t_j - o_j)^2}{\sum_{j=1}^n (t_j)^2} \right) \quad (5)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{|t_j - o_j|}{t_j} \times 100 \quad (6)$$

Burada, o çıktı değeri, t hedef değer ve n örnek sayısıdır. YSA'nın eğitim (training) RMSE,  $R^2$  ve MAPE değerleri sırasıyla 0.027300, 0.997231, 5.262208; test için RMSE,  $R^2$  ve MAPE değerleri sırasıyla 0.033300, 0.995880, 6.418720 olmuştur. YSA'dan elde edilen EA sayıları 2025, 2030 ve 2040 yılları için sırasıyla, 292, 688 ve 1800 olmuştur. Elde edilen yüklenme senaryolarına göre ETAP arayüzünde simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2. 2025 Şarj İstasyonu Senaryosu

Karabük Üniversitesi Demir-Çelik kampüsünde EA sayısı, elektrikli araç şarj istasyonu (EAŞİ) sayısı ve diğer yüklerin 2025, 2030 ve 2040 yıllarında ne kadar olabileceği Bölüm 4.1’de açıklanan yöntemlerle bulunduktan sonra ETAP arayüzünde bu yüklerin simülasyonu yapılmıştır. EAŞİ dışındaki yükler Bölüm 4.1’de açıklanan OYF ve LHÖ yöntemleriyle hesaplanan maksimum yükün bulunduğu senaryolardaki yük dikkate alınmıştır. EAŞİ yükleri için ise YSA tarafından bulunan EA sayısı ve buna bağlı olarak aşağıda açıklandığı şekilde bulunan EAŞİ sayısı dikkate alınmıştır.

2025 yılı için EA sayısı 292 olarak tahmin edilmiştir. Trafoların yüklenme durumları tahmin edilen EA sayısından %20 fazla alınarak değerlendirilmiştir. Bunun sebebi öngörülemez durumları ve mezuniyet törenleri gibi yoğunluğun çok fazla arttığı spesifik durumları da göz önüne alarak trafoların yüklenme durumlarını garanti altına almaktır. Bu nedenle 350 elektrikli araç üzerinden şarj istasyonu sayısı ve yerleştirileceği alan araştırılmıştır. Demir Çelik yerleşkesindeki otoparkların büyüklüğü ve o bölgedeki personel ve/veya araç yoğunluğu dikkate alındığında araçların %20’si Rektörlük otoparkında, %10’u İİBF otoparkında, %30’u Öğrenci İşleri otoparkında, %10’u Teknoloji Fakültesi otoparkında, %20’si Mühendislik Fakültesi otoparkında ve %10’u Stadyum otoparkında olacaktır. Tablo 8’de 2025 senaryosu EA sayıları ve bağlanacakları trafolar görülmektedir.

**Tablo 8.** 2025 senaryosuna göre park alanlarındaki EA sayısı.

Park Alanı	EA Sayısı	Bağlanılacak Trafo
Rektörlük Binası	70	TR1-B
İİBF	35	TR3
Öğrenci İşleri	105	TR3
Teknoloji Fakültesi	35	TR4
Mühendislik Fakültesi	70	TR6
Stadyum	35	TR7

Yönetmeliğe göre priz sayısının otoparktaki araç kapasitesinin (araç sayısı) %2 ila %5’i arasında olması gerekmektedir. Bu durum çalışmada üst sınır olarak %5 alınacaktır. Kampüs içerisine konulacak 22 kW’lık şarj istasyonlarında 2 adet priz bulunacağından araç sayısı 40’a bölünerek şarj istasyonu sayısı hesaplanır. Buna göre otoparklar için öngörülen şarj istasyonu sayısı Tablo 9’da verilmiştir.

**Tablo 9.** 2025 senaryosuna göre par alanlarındaki EA şarj istasyonu sayısı.

Park Alanı	EAŞİ Sayısı	Bağlanılacak Trafo
Rektörlük Binası	2	TR1-B
İİBF	1	TR3
Öğrenci İşleri	3	TR3
Teknoloji Fakültesi	1	TR4
Mühendislik Fakültesi	2	TR6
Stadyum	1	TR7

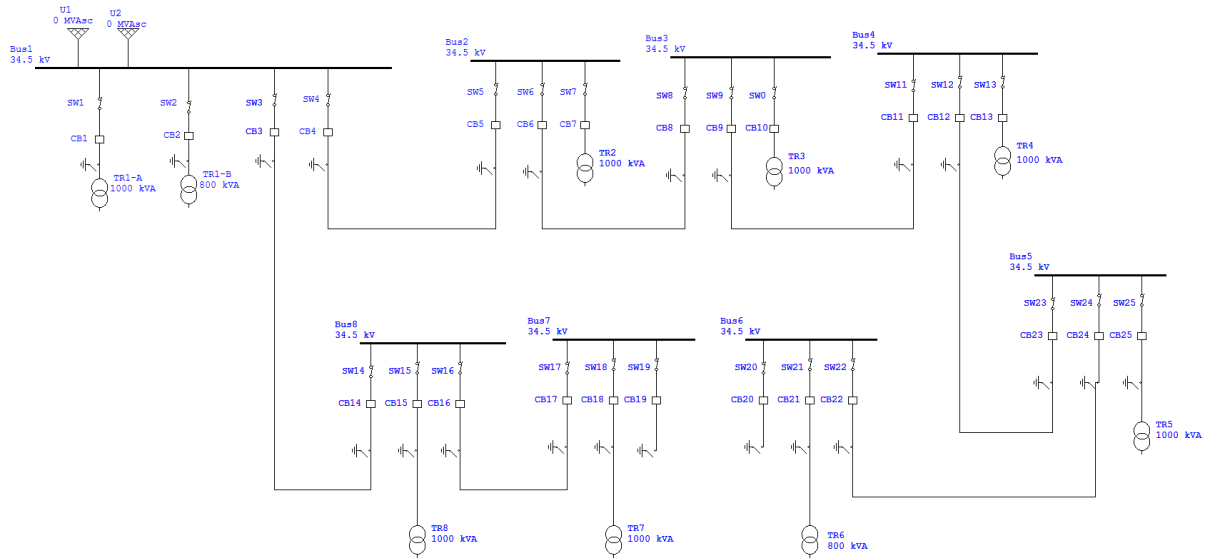
Bu tabloya göre TR1-B’ye 44 kW (%5,5), TR3’e 88 kW (%8,8), TR4’e 22 kW (%2,2), TR6’ya 44 kW (%5,5) ve TR7’ye 22 kW (%2,2) yük eklenir. Değerler Tablo 10’da verilmiştir.

**Tablo 10.** 2025 senaryosuna göre EA şarj istasyonlarının ilave yükü.

Park Alanı	EAŞİ Yükü (kW)	Bağlanılacak Trafo
Rektörlük Binası	44	TR1-B
İİBF	22	TR3
Öğrenci İşleri	66	TR3
Teknoloji Fakültesi	22	TR4
Mühendislik Fakültesi	44	TR6
Stadyum	22	TR7

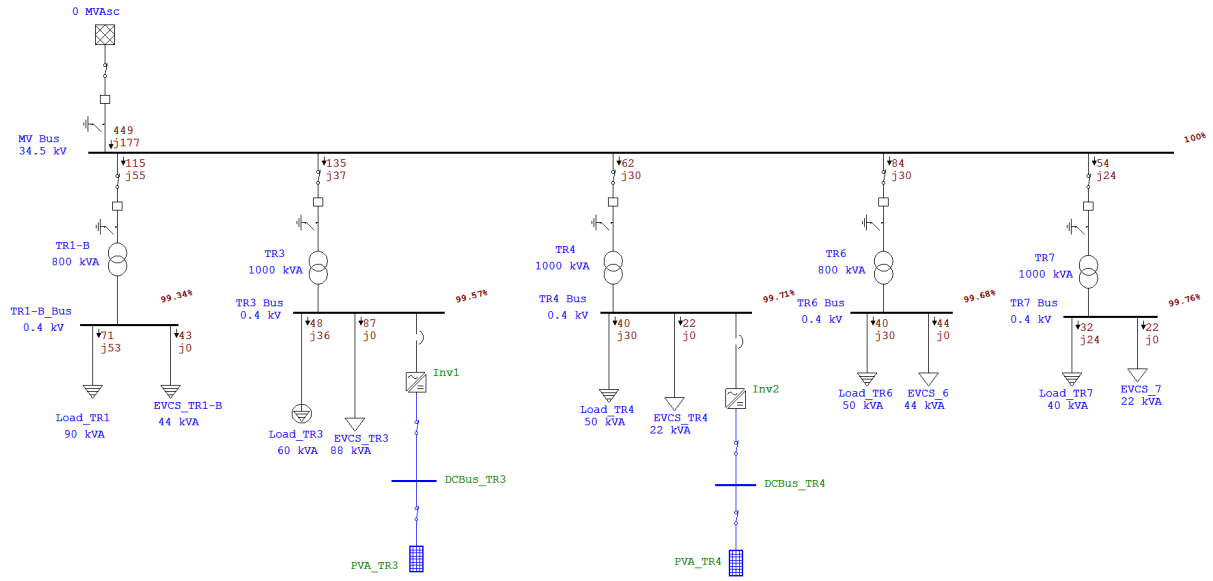
Bölüm 3'te verilen grafik ve tablolarda yer alan verilere bakıldığında EA şarj istasyonlarının 2025 senaryosuna göre transformatörlere getireceği ek yük, transformatörlerin rahatlıkla karşılayabileceği düzeydedir. 2025 yılına kadar elektrik yüklerindeki genel artış dikkate alındığında transformatörlerin maksimum %10-15 civarında yükleneyeceği tahmin edilmektedir. Senaryolarda yalnızca hafif araçlar (kamyon, minibüs vb. değil) dikkate alınmıştır.

OG şebekenin ve 2025 senaryosunun ETAP tek hat şemaları Şekil 13 ve 14'te görülmektedir.



**Şekil 13.** OG şebekenin ETAP tek hat şeması.





Şekil 14. 2025 senaryosu ETAP tek hat şeması.

#### 4.3. 2030 Şarj İstasyonu Senaryosu

Şarj istasyonlarının sayısı ve yerleştirileceği alanlar, 2030 yılı için YSA tarafından tahmin edilen 688 EA sayısının %20 fazlası olan araçların 826 EA üzerinden çalışılmıştır. 2030 senaryosu EA sayısı Tablo 11’de, şarj istasyon sayıları ise Tablo 12’de verilmiştir.

**Tablo 11.** 2030 senaryosuna göre park alanlarındaki EA sayısı.

Park Alanı	EA Sayısı	Bağlanılacak Trafo
Rektörlük Binası	165	TR1-B
İİBF	83	TR3
Öğrenci İşleri	248	TR3
Teknoloji Fakültesi	83	TR4
Mühendislik Fakültesi	165	TR6
Stadyum	83	TR7

Bu tabloya göre TR1-B 88 kW (%11), TR3 176 kW (%17,6), TR4 44 kW (%4,4), TR6 88 kW (%11) ve TR7 ise 44 kW (%4,4) yüklüdür. Değerler Tablo 13’te verilmiştir.

EA şarj istasyonlarının 2030 senaryosuna göre transformatörlere getireceği ek yük, transformatörlerin kolaylıkla karşılayabileceği düzeydedir. 2030 yılına kadar transformatörlerin maksimum %15-25 civarında yükleneceği tahmin edilmektedir.

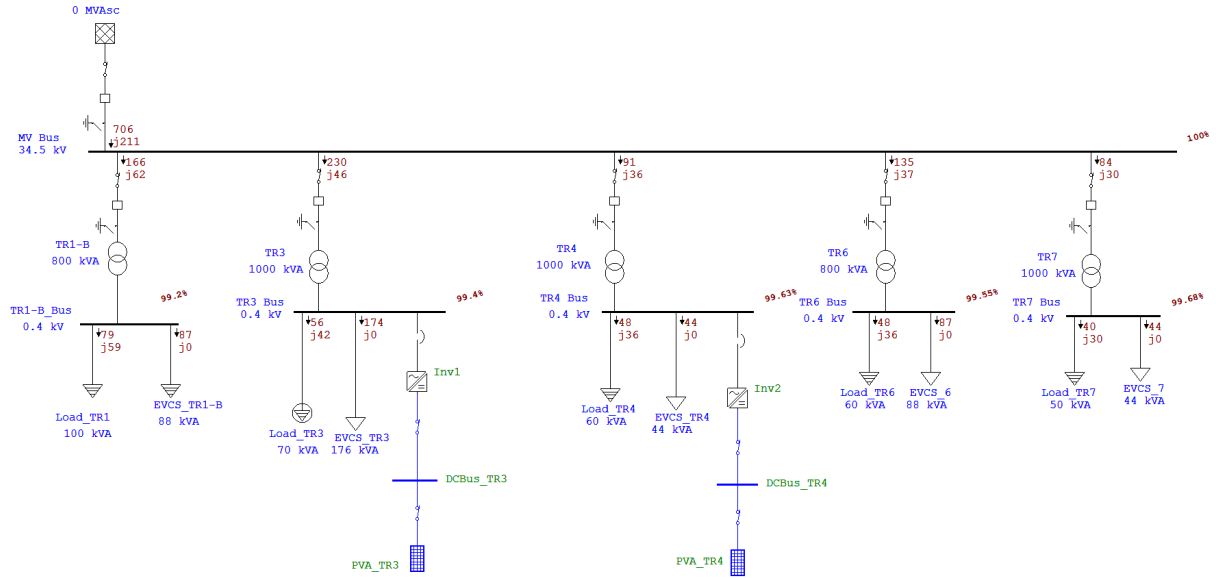
ETAP 2030 senaryosunun tek hat şeması Şekil 15’de gösterilmektedir.

**Tablo 12.** 2030 senaryosuna göre park alanlarındaki EA şarj istasyonu sayısı.

Park Alanı	EAŞİ Sayısı	Bağlanılacak Trafo
Rektörlük Binası	4	TR1-B
İİBF	2	TR3
Öğrenci İşleri	6	TR3
Teknoloji Fakültesi	2	TR4
Mühendislik Fakültesi	4	TR6
Stadyum	2	TR7

**Tablo 13.** 2030 senaryosuna göre EA şarj istasyonlarının ilave yükü.

Park Alanı	EAŞİ Yükü (kW)	Bağlanılacak Trafo
Rektörlük Binası	88	TR1-B
İİBF	44	TR3
Öğrenci İşleri	132	TR3
Teknoloji Fakültesi	44	TR4
Mühendislik Fakültesi	88	TR6
Stadyum	44	TR7



**Şekil 15.** 2030 senaryosu ETAP tek hat şeması.

#### 4.4. 2040 Şarj İstasyonu Senaryosu

2040 yılı için YSA tarafından hesaplanan elektrikli olacağı varsayılarak şarj istasyon sayıları ve yerleştirilecekleri alanlar 1800 EA sayısının %20 fazlası olan 2160 sayısına göre çalışıldı. 2040 senaryosu EA sayısı Tablo 14'te, şarj istasyon sayıları ise Tablo 15'de verilmiştir.

**Tablo 14.** 2040 senaryosuna göre park alanlarındaki EA sayısı.

Park Alanı	EA Sayısı	Bağlanılacak Trafo
Rektörlük Binası	432	TR1-B
İİBF	216	TR3
Öğrenci İşleri	645	TR3
Teknoloji Fakültesi	216	TR4
Mühendislik Fakültesi	432	TR6
Stadyum	216	TR7

**Tablo 15.** 2040 senaryosuna göre park alanlarındaki EA şarj istasyonu sayısı.

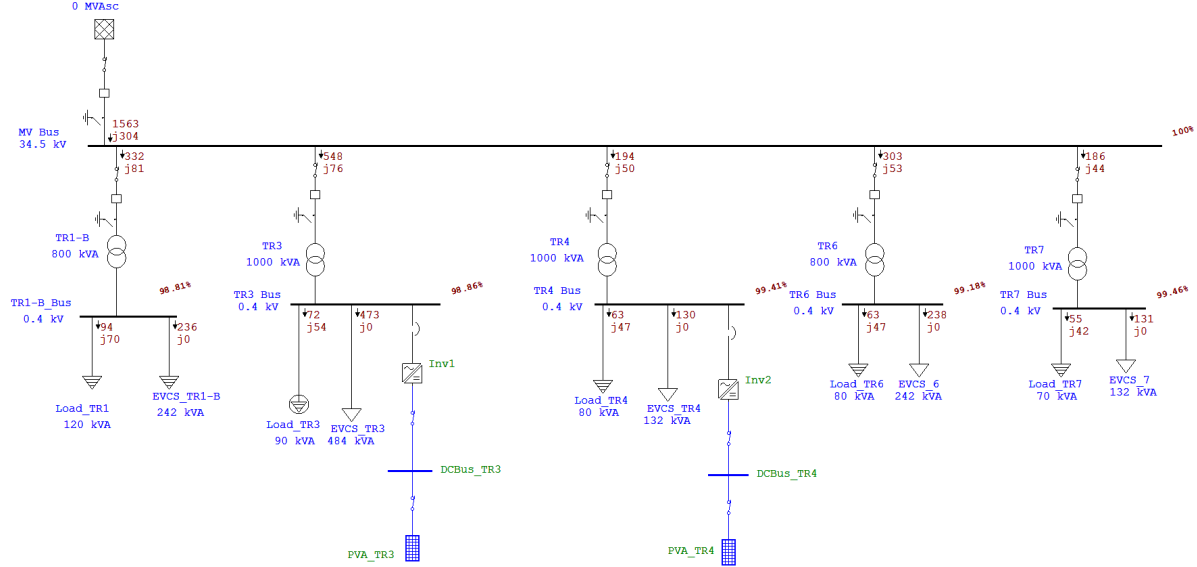
Park Alanı	EAŞİ Sayısı	Bağlanılacak Trafo
Rektörlük Binası	11	TR1-B
İİBF	6	TR3
Öğrenci İşleri	16	TR3
Teknoloji Fakültesi	6	TR4
Mühendislik Fakültesi	11	TR6
Stadyum	6	TR7

Bu tabloya göre TR1-B'ye 242 kW (%30,25), TR3'e 484 kW (%48,4), TR4'e 132 kW (%13,2), TR6'ya 242 kW (%30,25) ve TR7'ye 132 kW (%13,2) yük eklenmiştir. Değerler Tablo 16'da verilmiştir.

**Tablo 16.** 2040 senaryosuna göre EA şarj istasyonlarının ilave yükü.

Park Alanı	EAŞİ Yüğü (kW)	Bağlanılacak Trafo
Rektörlük Binası	242	TR1-B
İİBF	132	TR3
Öğrenci İşleri	352	TR3
Teknoloji Fakültesi	132	TR4
Mühendislik Fakültesi	242	TR6
Stadyum	132	TR7

Bölüm 3'te verilen grafik ve tablolarda yer alan verilere bakıldığında EA şarj istasyonlarının 2040 senaryosuna göre transformatörlere getireceği ek yük, transformatörlerin karşılayabileceği düzeydedir. 2040 yılına kadar elektrik yüklerindeki artış göz önüne alındığında, transformatörlerin maksimum %40-60 civarında yükleneceği tahmin edilmektedir. ETAP 2040 senaryosunun tek hat şeması Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. 2040 senaryosu ETAP tek hat şeması.

Bu bölümde ayrıntılı olarak anlatılan kullanılan yöntem ve tekniklerle elde edilen sonuçların hata payı ihtimali vardır. Bu konu sadece teknik değil aynı zamanda ekonomik, sosyal, yönetsel tarafları olan ve geleceğe yönelik bazı öngörülemeyen faktörlerin de devreye girebileceği bir konu olduğu için yapılan tahminlerin doğruluk oranının olumsuz etkileme olasılığı vardır. Bu hata payı önümüzdeki iki-üç yılda daha çok ve daha yeni verilerle yapılacak yeni çalışmalarla azaltılabilir.

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada farklı üç senaryo için elektrikli araç şarj istasyonlarının elektrik şebekesine getirebileceği ilave yükler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, Karabük Üniversitesi Demir Çelik yerleşkesi dağıtım ağına yönelik TOGG marka elektrikli aracın parametreleri temel alınarak yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında Elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye ne kadar ilave yük ekleyeceğini tahmin etmek için Weibull dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF), latin hiperküp örnekleme (LHÖ) yaklaşımları ve yapay sinir ağı (YSA) kullanılmıştır. Elektrikli araç şarj sistemlerinin dağıtım şebekesi üzerindeki yük dağılımının incelenmesi amacıyla ETAP Electrical Power System Analysis yazılımı kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır.

Karabük Üniversitesi Demir Çelik yerleşkesinin orta gerilim (OG) ve alçak gerilim (AG) elektrik şebekelerinin analizi yapıldıktan sonra 2025, 2030 ve 2040 yılları için üç farklı senaryo çalışılmıştır. 2025, 2030 ve 2040 yıllarında Demir Çelik yerleşkesindeki olası elektrikli araç sayısı ve elektrikli araç şarj istasyonu sayısı öngörülerek transformatörlerin yük oranları tahmin edilmiştir.

2025 senaryosuna göre 350 EA ve 10 EAŞİ bulunacaktır. Senaryoya göre TR1-B'ye 44 kW (%5,5), TR3'e 88 kW (%8,8), TR4'e 22 kW (%2,2), TR6'ya 44 kW (%5,5) ve TR7'ye 22 kW (%2,2) yük eklenecektir.

2030 senaryosunda 826 EA ve 20 EAŞİ bulunacaktır. Senaryoya göre TR1-B'ye 88 kW (%11), TR3'e 176 kW (%17,6), TR4'e 44 kW (%4,4), TR6'ya 88 kW (%11) ve TR7'ye 44 kW (%4,4) yük eklenecektir.

2040 senaryosunda 2160 EA ve 56 EAŞİ bulunacaktır. Buna göre TR1-B'ye 242 kW (%30,25), TR3'e 484 kW (%48,4), TR4'e 132 kW (%13,2), TR6'ya 242 kW (%30,25) ve TR7'ye 132 kW (%13,2) yük eklenecektir.

Elektrikli araç şarj istasyonlarının ilgili yıllardaki transformatör güçleri ve diğer elektrik yükleri dikkate alındığında 2025, 2030 ve 2040 yıllarında transformatörleri yükleme oranları açısından olumsuz etkilemesi olası görülmemektedir. Transformatörlerin 2025 yılında maksimum %10-15, 2030 yılında ise maksimum %15-25

oranında yüklenmesi beklenmektedir. 2040 yılında ise transformatörlerin maksimum %40-60 oranında yükleneceği tahmin edilmektedir.

Şarj istasyonlarının bağlanacağı trafoların seçiminde trafoların yüklenme koşullarının yanı sıra park alanlarına yakınlığı da dikkate alınmıştır. Öğrenci İşleri otoparkı en büyük otopark olup hem TR3 hem de TR4'e bağlanmaya uygundur. Ancak TR3'ün beslediği bölgede 300 KW GES (güneş enerji sistemi) bulunduğu için TR3'e bağlanması tercih edilmiştir.

Senaryolarda yeni GES'in Demir Çelik yerleşkesine kurulma olasılıkları değerlendirilmedi. Yeni GES kurulması halinde trafoların yük oranları daha da düşecektir. Tahmin edilen sonuçlara göre 2040 yılına kadar mevcut trafoların EAŞI ve diğer yükleri karşılayabileceği öngörülmüştür.

İleriki çalışmalarda elektrikli araçların şebekeye etkisinin sadece getirecekleri ilave yük açısından değil aynı zamanda harmonik analizi ve ekonomik etkileri gibi açılardan da değerlendirilmesi, daha yeni verilerle farklı olasılık modelleme yöntemleri ve yapay zeka teknikleri kullanılarak öngörülerde bulunulması planlanmaktadır.

### Kaynaklar

- [1] <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.
- [2] <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-vehicle-stock-in-the-ev3030-scenario-2018-2030>.
- [3] [https://www.tehad.org/wp-content/uploads/2024/01/TR-2023-YILI\\_-ELEKTRIKLI.jpg](https://www.tehad.org/wp-content/uploads/2024/01/TR-2023-YILI_-ELEKTRIKLI.jpg)
- [4] <https://shura.org.tr/turkiye-ulastrima-sektorunun-donusumu-elektrikli-araclarin-turkiye-dagitim-sebekesine-etkileri/>
- [5] Koç M, Tör OB, Demirbaş Ş. Analysis the effects of electric vehicles on distribution networks with simulations based on probabilistic methods. *GU J Sci Part C* 2021; 9(1): 095-107.
- [6] Yıldızhan D, Erenoğlu AK, Erdiç O. Elektrikli araç entegrasyonunun dağıtım sistemine etkilerinin incelenmesi ve şarj istasyonu altyapısının tayin edilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 2022 10(4), 1232 –1242.
- [7] Polisetty SPR, Jayanthi R, Sai Veeraj M. An intelligent optimal charging stations placement on the grid system for the electric vehicle application. *Energy* 2023; 285, 129500.
- [8] Li X, Wang Z, Zhang L, Sun F, Cui D, Hecht C, Figgner J, Sauer DU. Electric vehicle behavior modeling and applications in vehicle-grid integration: An overview. *Energy* 2023; 268, 126647
- [9] Yu H, Niu S, Shang Y, Shao Z, Jia Y, Jian L. Electric vehicles integration and vehicle-to-grid operation in active distribution grids: A comprehensive review on power architectures, grid connection standards and typical applications. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2022; 168, 112812.
- [10] Mudaheeranwa E, Sonder HB, Cipcigan L, Ugalde-Loo CE. Feasibility study and impacts mitigation with the integration of Electric Vehicles into Rwanda's power grid. *Electr Power Syst Res* 2023; 220, 109341.
- [11] García LFP, Villarejo MB, Ortega JMM. Grid-friendly integration of electric vehicle fast charging station based on multiterminal DC link. *Int J Electr Power Energy Syst* 2020; 114, 105341.
- [12] Wu Y, Wang Z, Huangfu Y, Ravey A, Chrenko D, Gao F. Hierarchical Operation of Electric Vehicle Charging Station in Smart Grid Integration Applications -An Overview. *Int J Electr Power Energy Syst* 2022; 139, 108005.
- [13] Lauvergne R, Perez Y, Françon M, Tejada Cruz AT. Integration of electric vehicles into transmission grids: A case study on generation adequacy in Europe in 2040. *Appl Energy* 326 (2022) 120030.
- [14] Nurmhammed M, Karadağ T. Elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması ve enerji şebekesi üzerine etkisi konulu derleme çalışması. *GU J Sci Part A* 2021 8(2): 218-233.
- [15] Çetin E. Elektrikli araç şarj istasyonu entegre edilen mevcut bir elektrik tesisatındaki revizyon ihtiyacının Simaris ortamında incelenmesi. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg* 2022; 28(2): 222-233.
- [16] Demirtaş M, Yılmaz E, Ünal C, Küçükpehlivan T, Ağaçasapan B, Aksoy T. Elektrikli araçlar ve şarj istasyonlarının konumlandırılması *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies* 2021; 4(1): 11-32.
- [17] Güven AF, Akbaşak SB. Elektrikli araçlarda DA hızlı şarj ünitelerinin şebeke altyapısına etkilerinin incelenmesi. *Sinop Uni J Nat Sci* 2021 6(1): 42-54.
- [18] Özbaltan M. Elektrikli araçların şarjı ile güç şebekesine aşırı yüklenilmesinin ayrık denetleyici sentezi ile önlenilmesi. *OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1626-1634.
- [19] Gülkaya B, Ateş Y. Elektrikli taşıtların dağıtılmış üretim tabanlı şebekeler üzerindeki etkilerinin analizi ve çözüm önerileri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 2021; 9(4): 1174-1199.
- [20] Ouach MK, Çam E. Investigation on the electrical vehicles effects on the electrical power grid. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering* 2021; 8(1): 21-35.
- [21] Mert RB, Umurkan N. Konut bölgelerinde elektrikli taşıt şarj istasyonlarının elektrik şebekesine entegrasyonunun analizi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 2023; 13(3): 965-980.
- [22] Çakır M. T., Çakır M. F. Evaluating the effect of electric vehicle charging stations on power grids in sivas province. *Politeknik Dergisi* 2023; 26(3): 1215-1231.
- [23] Yong C, YingDa J, Gang X, JiaJia C, DaYu Q ve XiMing Z. Load forecasting of electric vehicles based on Monte Carlo method. 5th International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering (ICMCCE), 25-27 December 2020, Harbin, China.
- [24] Cheng J ve Liu N. Electric vehicles charging load prediction based on Monte Carlo method Publisher: IEEE. 2nd International Conference on Electrical Engineering and Control Science (IC2ECS) 16-18 December 2022, Nanjing, China.

- [25] Liu D, Li Z, Jiang J, Cheng X ve Wu G. Electric Vehicle Load Forecast Based on Monte Carlo Algorithm. IEEE 9th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC), 11-13 December 2020, Chongqing, China.
- [26] Güneş D, Tekdemir İG, Karaarslan MŞ, Alboyacı B. Elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin güvenilirlik indisleri üzerine etkilerinin incelenmesi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2018; 33(3): 1073-1084.
- [27] Huntington DE, Lyrintzis CS. Improvements to and limitations of latin hypercube sampling. Probabilistic Engineering Mechanics 1998; 13 (4): 245-253.
- [28] Jahromi AJ, Mohammadi M, Afrasiabi S, Afrasiabi M, Aghaei J. Probability density function forecasting of residential electric vehicles charging profile. Applied Energy 2022; 323, 119616.
- [29] <https://www.togg.com.tr/content/otomobil>
- [30] <https://gersan.com.tr/page/elektrikli-arac-sarj-istasyonu/>
- [31] M.G.M. Ghazal. A new extension of the modified Weibull distribution with applications for engineering data. Probabilistic Engineering Mechanics 2023; 74, 103523.
- [32] Aljeddani SM ve Mohammed MA. An extensive mathematical approach for wind speed evaluation using inverse Weibull distribution. Alexandria Engineering Journal 2023; 76: 775-786.
- [33] Xie S. Modelling auto insurance Size-of-Loss distributions using Exponentiated Weibull distribution and de-grouping methods. Expert Systems With Applications 2023; 231, 120763.
- [34] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Weibull\\_da%C4%9F%C4%B1%C4%B1m%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/Weibull_da%C4%9F%C4%B1%C4%B1m%C4%B1)
- [35] Zhang W, Liu Z, Song Y, Lu Y ve Feng Z. An investigation on implementation of generating adversarial network-based surrogate models for prediction of turbine endwall film cooling effectiveness. Engineering Applications of Artificial Intelligence 2024; 133, 108268.
- [36] Pournoury M, Kim D. Optimized segmented cladding fiber for extreme large mode area using latin hypercube sampling. Optics Communications 2023; 542, 129593.
- [37] Iordanis I, Koukouvinos C, Silou I. On the efficacy of conditioned and progressive Latin hypercube sampling in supervised machine learning. Applied Numerical Mathematics. Article in Press.