



## Nesnelerin İnterneti Uygulamalarıyla Rezervasyon Sistemli ve PV Destekli Bir Elektrikli Araç Şarj İstasyonunun İşletimi: Bir Üniversite Örneği

### Operation of an Electric Vehicle Charging Station with a Reservation System and PV Support Considering Internet of Things Applications: A Case of a University

Oğuz Kirat <sup>1\*</sup>, Alper Çiçek <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 22030, EDİRNE, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, 22030, EDİRNE, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [oguzkirat@trakya.edu.tr](mailto:oguzkirat@trakya.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 28.11.2022

Kabul Tarihi / Accepted: 23.02.2023

*Atıf şekli/How to cite:* KIRAT, O., ÇİÇEK, A.(2023). Nesnelerin İnterneti Uygulamalarıyla Rezervasyon Sistemli ve PV Destekli Bir Elektrikli Araç Şarj İstasyonunun İşletimi: Bir Üniversite Örneği. DEUFMD, 25(75), 659-674.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2023257512

#### Öz

Taşımacılık sektörü kaynaklı karbon salınımı çevre kirliliği ve iklim değişikliği problemlerinin en önemli sebepleri arasında görülmektedir. Bu sebeple sıfır karbon elektrikli araçlara (EA) giderek yoğun bir ilgi gösterilmektedir. Bu çalışmada Trakya Üniversitesi kampüsünde yer aldığı düşünülen fotovoltaik enerji sistemi destekli bir EA şarj istasyonunun optimum işletim problemi ele alınmaktadır. Üniversite personeli ve öğrencilerine hizmet ettiği düşünülen istasyonda şarj işlemi rezervasyon sistemi üzerinden gerçekleştirilmektedir. EA şarj rezervasyonunun yürütülebilmesi açısından ayrıca çalışma kapsamında bir mobil uygulama da tasarlanmıştır. EA, kullanıcının mobil cihazı ve şarj istasyonu üzerindeki sensörler arasındaki iletişim nesnelerin interneti teknolojileriyle gerçekleştirilmektedir. EA sahiplerinin enerji ihtiyaçlarını karşılamak üzere, şarj istasyonunda yavaş ve hızlı şarj üniteleri yer almaktadır. Ayrıca istasyon ile entegre olduğu düşünülen PV sistem, şarj istasyonuna enerji desteği sağlamaktadır. Fazla enerji ise enerji piyasasında satılarak kâr elde edilebilmektedir. Bu çalışmada önerilen yapı karışık tam sayılı doğrusal programlama yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Çalışmanın etkinliğini test etmek amacıyla PV sistemin enerji üretimini belirlemek için gerçek küresel radyasyon verisi kullanılarak çeşitli durum çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre PV destekli şarj istasyonu modeli üniversitenin EA şarj yükü talebinin karşılanması açısından ileride gerçekleştirilecek çalışmalar için iyi bir referans olma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, önerilen yapıya PV sistemin eklenmesi ile elde edilen kazanç %30 artmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Bulut Bilişim, Nesnelerin İnterneti, Güneş Santrali, Hızlı ve Yavaş Şarj Ünitesi, Mobil Uygulamalı Rezervasyon Sistemi, Safi Bataryalı Elektrikli Araç Şarj İstasyonu

#### Abstract

Carbon emissions originating from vehicles are among the most important causes of environmental pollution and climate change problems. For this reason, there is an increasing interest in electric vehicles (EVs). In this study, the optimum operation problem of an EV charging station supported by photovoltaics, which is thought to be located in Trakya University campus, is

discussed. Charging operation, which is thought to serve university staff and students, is carried out through the reservation system. In order to realize the EV charging reservation operations, a mobile application is developed within the scope of the study. Communication between the EV, mobile device of the user and the sensors on the charging unit designed using Internet of Things (IoT) principles on the mind. Slow and fast charging units serve the EVs. Furthermore, the excess energy in the photovoltaics can be sold to the power grid. In this study, the proposed model is handled through mixed-integer linear programming method. To test the effectiveness of the study, various case studies are realized using the global radiation data. According to the results obtained, the PV supported charging station model has the potential to be a good reference for future studies in terms of meeting the EV charging load demand of the university. Besides, the profit obtained by including a PV system to the proposed framework increases by 30%.

**Keywords:** Cloud Computing, Internet of Things, Photovoltaic Power Plant, Slow and Fast Charging Unit, Reservation System with a mobile application, Charging Station of Plug-in Electric Vehicles

## 1. Giriş

### 1.1 Motivasyon

İçten yanmalı motorlu araçlar yaymış oldukları karbon emisyonları sebebiyle çevre kirliliğinin önemli aktörleri arasında görülmektedir. Ayrıca fosil yakıtların yakın gelecekte tükeneceği düşüncesi ile sıfır karbon elektrikli araçlara (EA) bir yöneliş söz konusudur. Bu amaçla EA üreticileri çeşitli EA modellerini piyasaya sürmektedir. Fakat EA'ların yaygınlaşmasındaki en önemli problemlerden biri EA şarj istasyonu eksikliği ve şarj süresinin uzun olmasıdır. Bu sebeple yavaş alternatif akım (AA) şarj ünitelerinin yanında doğru akım (DA) hızlı şarj ünitelerinin de sayısının arttığı söylenebilir. DA şarj üniteleri şarj süresini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca çevresinde EA istasyonu varlığını bilen bir kullanıcı EA satın alma konusunda istekli olabilir. Bu açıdan üniversite kampüsü içerisine yerleştirilen EA şarj istasyonu üniversite personeli ve öğrencilerinin sahip oldukları EA'ların enerji talebinin karşılanması konusunda hizmet edebilir ve olası yeni kullanıcıların ortaya çıkması konusunda fayda sağlayabilir.

Enerji tüketiminin büyük bir bölümünün konvansiyonel kaynaklardan karşılandığı düşünüldüğünde enerjide sürdürülebilir, çevreci, dışa bağımlılığı azaltan yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) konut bölgesi, üniversite kampüsü veya endüstri bölgesi gibi alanların enerji talebinin karşılanmasında kullanılması önem arz etmektedir. Ayrıca EA'ların enerji talebinin fosil kaynaklardan karşılanması durumunda sıfır karbon hedeflerinin yakalanamayacağı da belirtilmelidir. Bu açıdan tüketici bölgelerinin ve EA şarj istasyonlarının muhakkak bir YEK ile

desteklenmesi tavsiye edilmektedir [1]. Üniversite kampüsü içerisine yerleştirilen YEK'ler hem elektrik şebekesinden satın alınan enerjinin düşürülmesi konusunda fayda sağlayabilirken hem de karbon salınımının azaltılması konusunda katkı sunabilir. Bu açıdan sürdürülebilir bir üniversite kampüsü yapısı için EA şarj istasyonu ve YEK yapısının vazgeçilmez elemanlar olduğunun altı çizilmelidir.

Artan sayıdaki EA yükü elektrik şebekesi için gerilim düşmesi, transformatörlerin aşırı yüklenmesi ve hatta enerji kesintisi gibi problemlere sebep olabilir. Bu açıdan EA'ların hem elektrik şebekesinde belirtilen problemleri yaratmadan hem de ekonomik şekilde şarj için optimum enerji yönetiminin gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmelidir. Ayrıca şarj istasyonunda kullanıcıların olası aynı anda şarj talep probleminin önüne geçmek açısından rezervasyon sistemi de ele alınması gereken önemli konulardan birisidir. Kullanıcılar mobil uygulama üzerinden gerçekleştirecekleri şarj rezervasyonu ile kendileri için uygun şarj ünitesi türünü ve şarj zaman aralığını seçerek EA'larını istedikleri gibi şarj edebilme fırsatına sahip olabilmektedirler. Böylelikle EA sahiplerine şarj kolaylığı sunulurken, enerji yöneticisi için ise ekonomik kazanç ve sistem işletimi açısından esneklik sağlanabilir.

### 1.2. Kaynak Araştırması

Literatürde EA şarj istasyonlarının optimum işletimi ile ilgili çeşitli çalışmalar söz konusudur. Bedogni vd. [2] Avrupa Birliğinin enerjinin interneti projesi içerisinde EA'ların desteklenmesi açısından bir Android uygulama geliştirmişlerdir. Sunulan uygulama ile EA sürücülerine bataryalarını izleme, dinamik menzil tahmini ve yol boyu EA istasyonlarının

bulunması konusunda yardımcı olmuşlardır. Ayrıca EA'lar şarj için uygulama üzerinden rezervasyon da yapabilmektedirler. Fakat bu çalışmada hızlı ve yavaş şarj üniteleri hesaba katılmamıştır ve PV sisteme yer verilmemiştir. Mohammed vd. [3] YEK'leri içeren bir DA mikro şebeke içerisinde EA hızlı şarj istasyonlarının şebekeye etkisini değerlendirmek ve araçtan şebekeye enerji modu ile sistem işletimine katkısını belirlemek için kayan mod kontrolü ve bulanık mantık kontrolü olmak üzere iki yöntem ileri sürmüşlerdir. Fakat bu çalışmada rezervasyon sistemi için mobil uygulamaya yer verilmediği ve yavaş şarj ünitelerinin hesaba katılmadığı ifade edilmektedir.

Zhou vd. [4] PV sistem sahip bir ticari binanın EA şarj ve diğer elektrik taleplerini dikkate alarak maliyeti azaltmak için makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Hamad vd. [5] Birleşik Arap Emirlikleri Sharjah Üniversitesinde sürdürülebilir ulaşımı teşvik etmek için üniversite taşımacılık modellerini araştırmışlardır. Sgarra vd. [6] Sapienza Üniversitesi için sürdürülebilir üniversite hareketlilik planını oluşturmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre öğrencilerin çoğunlukla toplu taşımayı, akademik personelin ise çoğunlukla özel araçlarını kullandığını açıklamışlardır. Al-Turjman ve Malekloo [7] haberleşme teknolojileri ve nesnelerin interneti uygulamalarının akıllı otopark sistemlerindeki kullanımı üzerine bir inceleme yapmışlardır. Elma vd. [8] araçtan şebekeye enerji teknolojisini araştırmak için çok katmanlı bir siber fiziksel güç sistemini sunmuşlardır. Ding vd. [9] akıllı şehirler kapsamında nesnelerin interneti cihazları ile donatılan EA'ların güç sistemindeki etkisini incelemişlerdir.

Karasu Asnaz ve Özdemir [10], EA şarj istasyonu sayısının belirlenmesi ve şarj istasyonlarının optimum dağılımlarının gerçekleştirilmesi açısından Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsünü dikkate alarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Fakat bu çalışmada optimum işletim problemini ve YEK'leri dikkate almamışlardır. Turan ve Efe [11] Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi için elektrikli bisiklet paylaşım sistemi modeli önermişlerdir. Çalışmada üniversite kampüsünün fiziksel koşullarını ve hareketliliği dikkate alarak şarj istasyonlarının yerlerini ve gerekli ekipman boyutunu hesaplamıştır. Onur

ve Efe [12] benzer bir çalışmayı Balıkesir Üniversitesi Kampüsü için gerçekleştirmişlerdir. Fakat bu iki çalışmada elektrikli otomobiller dikkate alınmamıştır. Mussarat-Ul-Ain vd. [13] EA'ların evden ayrıldıklarında müsait şarj ünitesi bulmalarına yardımcı olan bir Android mobil uygulama geliştirmişlerdir. Böylelikle EA kullanıcılarının zaman ve enerji tasarrufu sağlamasını hedeflemişlerdir. Fakat bu çalışmada da üniversite kampüsü ve optimum işletim konuları ele alınmamıştır.

Durmuş ve Kaymaz [14] EA'ları ve bunlara ait batarya teknolojilerini detaylı şekilde incelemişlerdir. Ayrıca EA'lardaki temaslı ve temassız şarj yapısını da ele almışlardır. Çiçek ve Erdinç [15] PV sistem ve ortak enerji depolama sistemine sahip bir kamuya ait EA otoparkı için optimum enerji yönetim stratejisi açıklamışlardır. Kerem ve Gürbak [16] EA şarj istasyonlarının yapısı ve işleyişini incelemişlerdir. Ayrıca seviye 1, seviye 2, seviye 3 ve seviye 4'ten oluşan batarya şarj sürelerini açıklamışlardır. Güner ve Kır [17] dinamik elektrik fiyatları altında çatısında PV sistem yer alan bir EA otoparkı için bulanık mantık tabanlı akıllı şarj yönetim modeli önermişlerdir. Cuma vd. [18] üniversitede kurulması planlanan EA şarj istasyonu altyapısını araştırmışlardır. Güneş vd. [19] Bursa bölgesine ait gerçek dağıtım verilerini kullanarak EA şarj istasyonlarının dağıtım şebekelerinin güvenilirlik indislerine olan etkileri analiz ettiler. Alkan vd. [20] çok kriterli karar verme yöntemini kullanarak Konya ilinde kurulması planlanan EA şarj istasyonunun optimum yerinin belirlenmesi için bir model açıklamışlardır. Sütçü ve Gülbahar [21] benzer şekilde İstanbul-Ankara otoyolu üzerine bir EA şarj istasyonunun kurulması için optimum yerin belirlendiği bir yapı sunmuşlardır.

Ayrıca burada incelenen tüm çalışmaların hiçbirinde bir üniversite kampüsü içerisinde yer alıp yenilenebilir enerji kullanan ve üniversite personeli ve öğrencileri için hizmet veren bir EA şarj istasyonu konsepti dikkate alınmamıştır.

### 1.3 Katkılar

Trakya Üniversitesinde yer aldığı düşünülen fotovoltaik enerji sistemi destekli bir EA şarj istasyonunun optimum işletim probleminin ele alındığı bu çalışmanın literatüre katkıları şunlardır:

- Şarj istasyonunda yer aldığı düşünülen PV sistem, üniversite ve ülkenin yeşil çevre hedefleri doğrultusunda şebekeden fosil kaynaklı santrallerden satın alınan enerjiyi azaltarak önemli bir katkı sağlamaktadır.
- EA şarj istasyonu, nesnelerin interneti teknolojileri ve randevu sistemini kullanarak kullanıcının genel şarj etme deneyimini iyileştirmektedir.
- Aracın şarj ünitesinden şarj işlemi bitmesine rağmen ayrılması durumunda bir ceza uygulaması gerçekleştirilmektedir. Ayrıca mağdur olan EA kullanıcılarına bu durum için bir ödeme gerçekleştirilmektedir.
- EA istasyona ait PV sistemde üretilen fazla enerji Türkiye elektrik piyasasında satılabilmektedir.
- Bu yapılan çalışma diğer üniversiteler ve kamu kurum ve kuruluşları için de referans niteliği taşıyabilir.

Yazarların bilgisine göre, şimdiye kadar bir üniversite kampüsü içerisinde ilgili kurum personeline ve öğrencilerine hizmet veren randevu, ceza sistemi ve optimum enerji işletimini göz önüne alan bir çalışma bulunmamaktadır.

#### 1.4 Makale Organizasyonu

Makalenin bundan sonraki bölümü şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2’de ilk olarak nesnelerin interneti teknolojilerinin kullanımı ve ağ yapısı açıklanmış ve sonrasında ise geliştirilen mobil uygulama ve EA şarj istasyonu yapısı tanıtılmıştır. Bölüm 3’te test çalışmaları gerçekleştirilmekte ve sonuçlar detaylı şekilde ele alınmaktadır. Son olarak Bölüm 4’te önemli sonuçlar bir kez daha irdelenmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Nesnelerin İnterneti Yapısı (Bulut, Sis ve Sensörler)

Nesnelerin interneti (Internet of Things – IoT), farklı sensör ve nesnelerin birbirleriyle insan müdahalesi olmadan direkt iletişim kurmasını sağlayan bir entegrasyon sistemidir [22]. Akıllı şehirler, akıllı evler, ulaşım, eğitim, güvenlik, sağlık gibi alanlarda nesnelerin interneti teknolojileri insan yaşam kalitesinin iyileştirilmesinden, enerji tasarrufuna kadar birçok alanda yenilikler getirmiştir.

Elektrikli ve otonom araçlar, genellikle konvansiyonel yakıt kullanan araçlara göre akıllı şehir ve akıllı teknolojilere daha kolay entegre olabilecek alt yapıya sahiptirler. Bu teknolojik alt

yapının sadece aracın kullanıldığı zamanki sürüş deneyimini değil aynı zamanda EA’larda süresi konvansiyonel yakıt kullanan araçlara göre oldukça uzun olan şarj etme deneyimini de iyileştirmesi yerinde olacaktır. Ayrıca, EA’ların ve şarj istasyonlarının sayısında gelecekte beklenen artışın bir sonucu olarak herkesin kullanımına açık şarj istasyonları dışında kurum içi kullanıma açık şarj istasyonlarının da sayısının artacağı ön görülebilir. Bu durum, üniversiteler gibi kurumların ve ilerleyen süreçte farklı kurum içi birimler (fakülteler, meslek yüksek okulları vb.) için de benzer istasyonların kurulabileceğini de göstermektedir. Sistemin genişlemeye açık olduğunun öngörülmesiyle küçük çaplı bir özel bulut (private cloud) ve nesnelerin interneti tabanlı bir sis (IoT fog) mimarisinin önerilmesi gerekliliğini doğurmuştur.

Tam otomatik (istasyonlarda destek personelinin olmadığı düşünülüyor) bir kullanım için önerilen bu sistemde her bir düğüm; yakınlık sensörü, plaka okuma işlemleri ve güvenlik için bir kamera, yakın alan iletişimi (NFC) sensörü, şarj istasyonu üzerinde yer alan bir tuş takımı, kullanıcının mobil cihazı ve şarj istasyonunun kendisi gibi nesnelere içermektedir. Sistemin güvenlik/pratiklik dengesi ve gereksinimlerine göre bu nesnelerin bazıları sistemden çıkarılabilir veya yeni nesnelere eklenebilir durumdadır.

Her bir EA şarj istasyonu için şarj ünitesini de içerisinde barındıran bir nesnelerin interneti düğüm sistemi hazırlanmıştır. Bir düğümde yer alan nesnelerin görevleri şu şekilde açıklanabilir:

**EA Şarj Ünitesi:** EA’yı şarj eden ana birimdir.

**Kamera:** Kamera sistemi güvenlik ve plaka okuma amaçlı olarak kullanılmaktadır.

**NFC Sensörü:** Kartlı kullanım ve yönetici yetkilendirmesi amacıyla kullanılmaktadır.

**Yakınlık Sensörü:** Araçların istasyona giriş ve çıkış zamanlarının tespiti için kullanılmaktadır. Bu sensör, plaka okuma sisteminin sürekli çalışır durumda olmasını engelleyerek işlem gücü tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca, şarj istasyonu önüne park edilmesini engelleyecek fiziksel engeller de tespit edilebilecektir.

**Cihaz Üstü Tuş Takımı:** Plaka okuma sisteminin devrede olmadığı durumlarda alternatif kullanıcı kimlik doğrulaması için kullanılacaktır.

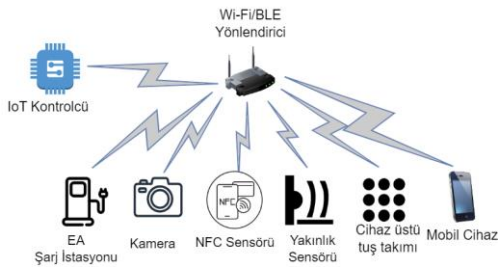
**Mobil Cihaz:** Yönetici arayüzüne erişim için kullanılacaktır. EA kullanıcılarına ait mobil cihaz özel bulut sistemine internet üzerinden bağlanacaktır.

**IoT Kontrolcü:** Şarj işleminin başlama/durdurulması, cihaz giriş/çıkışları ve kullanıcı kimlik doğrulama ve yetkilendirilmesi için sistemi yöneten, işlem gücü göreceli olarak düşük bir cihazdır.

Düğüm nesnelere, bir yönlendirici ile Wi-Fi ya da Bluetooth Low Energy standardı üzerinden haberleşebilecektir. Şekil 1'de bir düğümün yapısı gösterilmektedir.

Katmanlar arası gereksiz iletişimin azaltılması amacıyla birden fazla düğümün bir ağ elemanı aracılığıyla bağlı olduğu sis hesaplama ve depolama birimi oluşturulmuştur. Bu birim, farklı kurumsal birimler için her birinde bir tane olacak şekilde düşünülmüştür. Bu birim, yerel kütük bilgilerinin tutulması, plaka okuma verisinin işlenmesi, sistem yönetiminin IoT kontrolcü aracılığıyla yapılması ve yerel yönetici arayüzünün sunulması amacıyla kullanılacaktır. Kameradan gelecek güvenlik görüntülerinin burada tutulması amaçlanmaktadır. Bu birimin en önemli işlevlerinden biri PV üzerinden gelen güç üretimini ve kullanımını da kontrol etmesidir.

Farklı birimlerde yer alan sis hesaplama ve depolama birimleri, kurum içi ağ ya da doğrudan internet üzerinden kurumun özel bulut birimiyle haberleşmektedirler. Bu birim, kimlik doğrulama, ödeme ve üst yönetici için gerekli işlemleri, kurum bulutunda yer alan diğer servislerle haberleşerek tamamlar. Tüm bu servisler HTTP(S) REST uygulama programlama arayüzü üzerinden iletişim kurar. Sistemin mimarisi Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Bir düğümün yapısı

Figure 1. Structure of a node

Yakınlık sensöründen gelen bilgiye göre kameradan iletilecek görüntü, nesne tanıma ve

optik karakter tanıma işlemleri uygulanarak plaka tanıma verisi oluşturulacaktır. Bu mimari, araç model tanınması yoluyla batarya kapasitesi tespiti gibi ileriki çalışmalara da uygun bir yaklaşım oluşturmaktadır. Görüntüden plaka tespiti için YOLO makine öğrenmesi ile nesne tespiti [23], karakter tanıma için ise Tesseract sistemleri [24] önerilmektedir. Bu iki yapı arasında kullanılacak görüntü işleme teknikleri, bu makale konusu dışındadır.

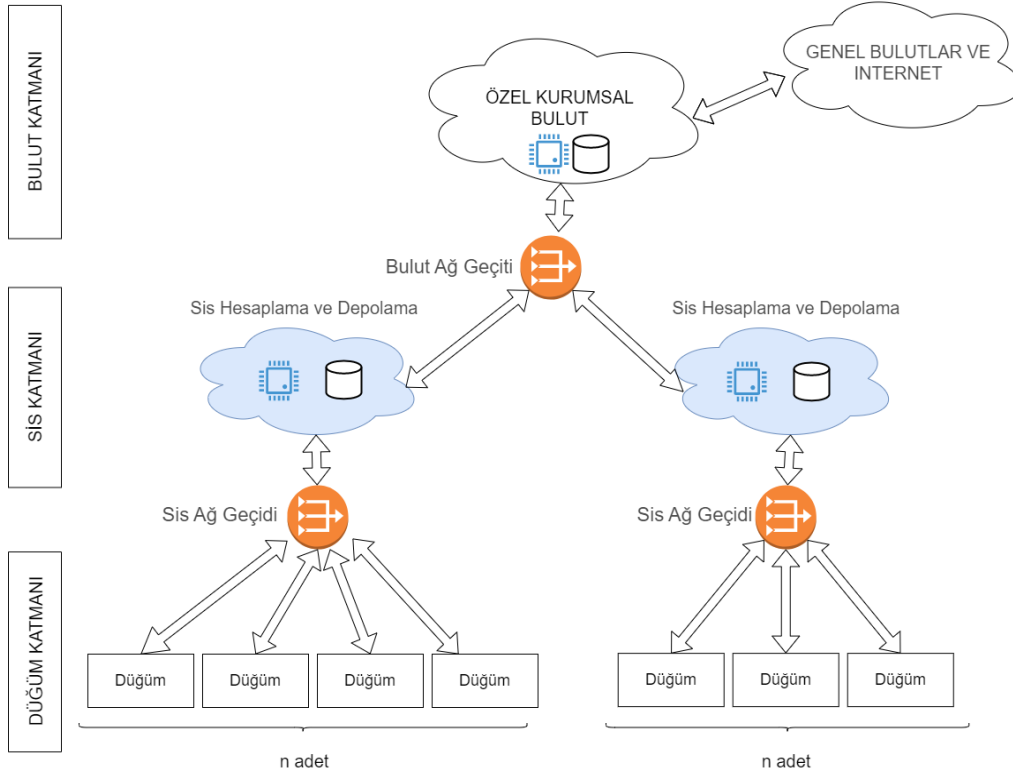
Genel bulut sistemleri, kullanıcılara bildirim gönderilmesi, kurum dışı yedekler ve içerik dağıtım sistemi amacıyla isteğe bağlı olarak kullanılabilir. Geliştirilen mobil uygulamanın alt yapısı kurumun özel bulutu üzerinde depolanacaktır.

## 2.2 Mobil Uygulama

EA şarj istasyonunun çalışması için geliştirilen mobil uygulamada kullanıcıların üniversite personeli ya da öğrencisi olması planlanmıştır. Uygulama, akıllı telefonlara yüklenebileceği gibi web arayüzü üzerinden internet tabanlı web uygulaması olarak da kullanılabilir. Kullanıcıların kimliklerinin doğrulaması için üniversitenin merkezi kimlik doğrulama sistemi kullanılmaktadır. Kullanıcılar e-posta ve şifreleriyle sisteme giriş yaptıktan sonra kaydın tamamlanması için araç bilgilerinin (plaka, araç marka ve modeli) uygulama üzerinden girilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler aracın batarya kapasitesinin tespiti ve plaka üzerinden aracın istasyona ulaşım kontrolünün kontrolü amacıyla kullanılacaktır.

EA sahibi kullanıcı sisteme kaydını/girişini (Şekil 3.a) tamamladıktan sonra uygulama üzerinden hızlı ya da yavaş şarj yöntemlerinden birisini seçebilmektedir (Şekil 3.b). Kullanıcılar, zamandan tasarruf sağlamak adına hızlı şarj ünitesini seçebilirlerken, kWh başına daha az ödeme yapmak için ise standart şarj ünitesini seçebilirler. Uygulama, mevcut randevulara ve müsaitlik durumuna göre en yakın şarj zamanını seçim ekranında göstermektedir. Ayrıca şarj istasyonlarına yol tarifi bu ekrandan da başlatılabilecektir.

Şarj ünitesi türü seçildikten sonra ilgili türdeki ünitelerin uygunluk durumu listelenecektir. Burada kullanıcıdan alınan araç bilgisi, batarya kapasitesi ve kullanıcıdan alınan istenen şarj miktarı verisi de göz önüne alınacaktır. İstenen şarj oranında şarjı tamamlayabilecek uygunlukta randevular yeşil, istenen orana erişilemeyecek ancak uygun olan randevular sarı, uygun



Şekil 2. Sis ve bulut sistem mimarisi

Figure 2. Fog and cloud system architecture

olmayan randevular ise kırmızı olarak gösterilmektedir. Kullanıcı, ilgili listeden kendisine uygun olan aralığı seçerek randevu oluşturabilmektedir (Şekil 3.c).

Randevular, bulut sistemi üzerinde yer alan bir veri tabanına kaydedilmektedir. Kullanıcıyı veya aracı şarj ünitesinde tanıyabilecek farklı yaklaşımlar düşünülmüştür:

**PIN kodu:** Randevu başına kullanıcıya benzersiz bir PIN kodu üretilerek uygulama içerisinde gönderilecektir. Kullanıcının şarj işlemini başlatması için ünite üzerindeki tuş takımı ya da dokunmatik ekranı kullanarak PIN kodunu girmesi beklenmektedir.

**Plaka tanıma sistemi:** Kullanıcı, şarj ünitesine yaklaştığında plaka tanıma sistemi plakayla kullanıcıyı eşleştirmektedir. Bu sistem, kullanıcının aracını şarjdan çıkarmış olsa bile şarj ünitesinden ayrılmadığı durumların tespiti için kullanılacaktır.

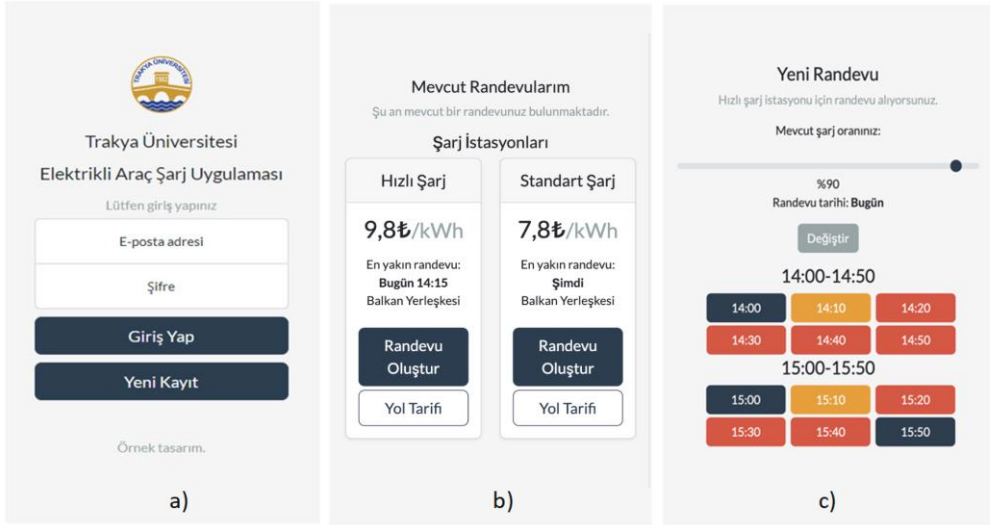
**NFC ile kart/mobil cihaz:** Kullanıcılar, kimlik doğrulama için uygulamanın yüklü olduğu mobil

cihazını ya da kurum tarafından sağlanan kartı NFC okuyucuya okutabileceklerdir.

Sis hesaplama birimi, şarj üniteleri, plaka tanıma ve sensör sistemi ve kullanıcının mobil cihazı birlikte çalışarak optimum kullanıcı deneyimini sağlarken aynı zamanda sistemin işleyişini de düzenleyecektir.

Kontrol yazılımı, şarj ünitesiyle haberleşerek aracın şarjının dolduğunu ve kullanıcının aracının almaya hazır olduğunu kullanıcının cihazına bildirim olarak gönderebilecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcı, şarj sürecini uygulama üzerinden takip edebilecek ve yaklaşık ödeme tutarını görebilecektir.

Şarj işlemi tamamlanmadan 15 dk önce ve işlem tamamlandığında kullanıcıya bildirim gönderilecek, son bildirimden sonra aracını 10 dakika içinde şarj ünitesinden çıkarmadığı durumlarda ceza uygulamasına gidilecektir. Ceza uygulamasından alınan ücretin bir kısmı ceza uygulanan kullanıcıdan sonra sırada bekleyen başka bir kullanıcı varsa onun toplam tutarından düşülecektir. Cezaya düşen aracın olduğu durumlardan faydalanmak isteyen kötü



Şekil 3. (a) Kullanıcı giriş ekranı, (b) Şarj ünitesi türü seçimi, (c) Randevu ekranı

Figure 3. (a) User login screen, (b) Charger type selection, (c) Appointment screen

niyetli kullanıcıları engellemek için (bir önceki kullanıcının) cezaya düşme durumunda ilgili periyot için en az on dakikalık randevu (eğer boşsa) alımı mümkün olmayacaktır.

Önerilen yapıya ait genel bir görünüm Şekil 4'te verilmektedir. Burada Trakya Üniversitesi Balkan Yerleşkesinde olduğu düşünülen üniversite personeli ve öğrencilerinin EA'larının enerji talebinin karşılanması açısından işletilen hızlı ve yavaş EA şarj ünitelerini içeren bir şarj istasyonu yapısı sunulmaktadır. Ayrıca şarj istasyonunun üniversite kampüsü içerisinde yer alan PV sistem ile desteklendiği de düşünülmektedir. EA sahipleri şarj gereksinimlerini karşılamak için rezervasyon sistemi üzerinden rezervasyon işlemlerini gerçekleştirmektedir. EA kullanıcılarının rezervasyon işlemlerini gerçekleştirebilmeleri açısından bir mobil ve aynı zamanda online ulaşılabilen bir uygulama da düşünülmektedir. PV sistemde üretilen fazla enerji şebekeye satılarak değerlendirilebilmektedir. Ayrıca EA şarj istasyonu için dağıtım şirketinden elektrik satın alındığı düşünülmektedir.



Şekil 4. Şarj istasyonuna ait genel bir görünüm

Figure 4. General view of the charging station

### 2.3 Önerilen Yapıya Ait Matematiksel Modelleme

Önerilen model karışık tam sayılı doğrusal programlama yöntemi aracılığı ile ele alınmaktadır. Ayrıca önerilen yapı GAMS v.24.1.3 yazılımı ve CPLEX v.12 çözücüsü kullanılarak test edilmektedir. Bu bölümün alt başlıklarında ilk olarak şarj istasyonunun optimum işletimi ile ilgili matematiksel modele yer verilirken daha sonra mobil uygulama ile ilgili kısımlar sunulmaktadır.

Matematiksel modelde kullanılan parametreler ve karar değişkenleri Tablo 1'de verilmektedir. Koyu yazılan ifadeler parametreleri temsil etmektedir.

Tablo 1. Parametreler ve karar değişkenleri

Table 1. Parameters and decision variables

$h$	EA'lar kümesi
$t$	Zaman kümesi
$u$	Şarj üniteleri kümesi
$T_h^{rez,bas}$	EA $h$ 'nin rezervasyon başlangıç periyodu.
$T_h^{rez,bit}$	EA $h$ 'nin rezervasyon bitiş periyodu.
$T_h^{şarj,bas}$	EA $h$ 'nin şarj başlangıç periyodu.
$T_h^{şarj,bit}$	EA $h$ 'nin şarj bitiş periyodu.
$\lambda_{şarj-AA}$	AA şarj ünitesi şarj ücreti [TL/kWh].
$\lambda_{şarj-DA}$	DA şarj ünitesi şarj ücreti

	[TL/kWh].
$\lambda_t^{fiyat}$	$t$ periyodunda elektrik şebekesinden satın alınan enerjinin maliyeti [TL/kWh].
$\Delta T$	Zaman çözünürlüğü.
$\eta^{AA-DA}$	AA-DA dönüştürücünün verimi [%].
$\eta^{DA-AA}$	DA-AA dönüştürücünün verimi [%].
$\eta_h^{EA,şarj}$	EA $h$ 'nin şarj verimliliği [%].
$d_{h,u}^{EA,şarj}$	EA $h$ 'nin şarj ünitesi $u$ ile bağlantısına ait parametre. Eğer bir EA, bir AA şarj ünitesine bağlı ise maksimum şarj gücü 22 kW olurken, diğer ünitelerle bağlantısı olmadığı için diğer güç bağlantı verileri 0 olacaktır [kW].
$ED_h^{EA,ayrılış}$	EA $h$ 'nin istasyondan ayrıldığında istediği enerji durumu [kWh].
$ED_h^{EA,başlangıç}$	EA $h$ 'nin istasyona geldiği andaki enerji durumu [kWh].
$ED_h^{EA,maks}$	EA $h$ 'nin maksimum batarya kapasitesi [kWh].
$N$	Oldukça büyük pozitif sayı.
$P_t^{PV}$	$t$ periyodunda PV sistemde üretilen güç [kW].
$C_{h,t}^{EA}$	Şarj ünitesinden rezervasyon bitiş saatinde ayrılmayan EA $h$ 'den $t$ periyodunda alınan ceza ödemesi [TL].
$ED_{h,t}^{EA}$	EA $h$ 'nin $t$ periyodundaki enerji durumu [kWh].
$G^{ceza}$	Şarj ünitesinden rezervasyon bitiş saatinde ayrılmayan araçlardan elde edilen toplam gelir [TL].
$M^{ödeme}$	Rezervasyon başlangıç saati gelmesine rağmen başka bir aracın üniteden ayrılmaması sebebiyle aracı şarj edilemeyen araç sahiplerine ödenen ücretlerin toplamı [TL].
$\ddot{O}_{h,t}^{EA}$	Rezervasyon başlangıç saati gelmesine rağmen başka bir aracın üniteden ayrılmaması sebebiyle aracını $t$ periyodunda şarj edemeyen araç $h$ 'nin sahibine ödenen ücret [TL].
$P_{h,t}^{EA,şarj,AA}$	AA şarj ünitesi $u$ 'ya bağlı EA $h$ 'nin $t$ periyodunda şarj gücü [kW].
$P_{h,t}^{EA,şarj,DA}$	DA şarj ünitesi $u$ 'ya bağlı EA $h$ 'nin $t$ periyodunda şarj gücü [kW].
$P_t^{PV-AA}$	$t$ periyodunda PV sistemde üretilen gücün AA şarj

	ünitelerinde kullanılan kısmı [kW].
$P_t^{PV-DA}$	$t$ periyodunda PV sistemde üretilen gücün DA şarj ünitelerinde kullanılan kısmı [kW].
$P_t^{PV-satış}$	$t$ periyodunda PV sistemde üretilen gücün elektrik şebekesine satılan kısmı [kW].
$P_t^{şebeke}$	Elektrik şebekesinden $t$ periyodunda EA'ları şarj etmek için satın alınan toplam güç [kW].
$P_t^{şebeke-AAşarj}$	Elektrik şebekesinden $t$ periyodunda EA'lara AA şarj ünitesinden güç sağlamak için satın alınan toplam güç [kW].
$P_t^{şebeke-DAşarj}$	Elektrik şebekesinden $t$ periyodunda EA'lara DA şarj ünitesinden güç sağlamak için satın alınan toplam güç [kW].
$u(t,s)$	Şebekeden enerji satın alma ya da şebekeye enerji satma durumu için ikili karar değişkeni [0,1]

### 2.3.1 Amaç Fonksiyonu

Minimum(maliyet)

$$\begin{aligned}
 &= \left( \left( \sum_t \left( P_t^{şebeke} - P_t^{PV-satış} \right) \cdot \lambda_t^{fiyat} \cdot \Delta T \right) \right. \\
 &\quad - \left( \sum_h \sum_t \sum_u \left( P_{h,t,u}^{EA,şarj,DA} \cdot \lambda^{şarj-DA} \cdot \Delta T \right) \right) \\
 &\quad - \left( \sum_h \sum_t \sum_u \left( P_{h,t,u}^{EA,şarj,AA} \cdot \lambda^{şarj-AA} \cdot \Delta T \right) \right) - G^{ceza} \\
 &\quad \left. + M^{ödeme} \right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

Çalışmada amaç üniversite bünyesinde yer alan ve akademik personel ile öğrencilerin EA'larına hizmet vermek için işletilen şarj istasyonunun şebekeden satın aldığı toplam enerji maliyetini minimize etmek olarak belirlenmiştir. Ayrıca şarj istasyonuna entegre olan PV sistemde



üretilecek enerji elektrik şebekesine de satılabilmektedir. Bunun dışında bir EA'nın rezervasyon zamanı bitmesine rağmen istasyondan ayrılmaması durumu için bir ceza uygulaması söz konusudur. Bu durumda istasyon işletmecisi bir gelir elde etmektedir. Ayrıca bir aracın rezervasyon zamanının sapsması durumunda, istenmeyen şekilde diğer kullanıcıların rezervasyon zamanında da gecikme meydana gelebilir. Bu rezervasyon gecikmesi durumu için ilgili kullanıcıya bir ödeme gerçekleştirilmektedir. Bunların dışında EA sahipleri araçlarını DA ya da AA şarj ünitelerinde şarj ettikleri durumda kWh birim için ödeme gerçekleştirmektedirler. Tüm bu durumların dikkate alındığı amaç fonksiyonu (1) numaralı eşitlikte verilmektedir.

### 2.3.2 Güç Dengesi

$$P_t^{sebeke-AAşarj} + P_t^{sebeke-DAşarj} \cdot \eta^{AA-DA} + P_t^{PV-AA} \cdot \eta^{DA-AA} + P_t^{PV-DA} = \sum_h (P_{h,t}^{EA,şarj,DA} + P_{h,t}^{EA,şarj,AA}), \quad \forall t \quad (2)$$

$$P_t^{sebeke-AAşarj} + P_t^{PV-AA} \cdot \eta^{DA-AA} = \sum_h (P_{h,t}^{EA,şarj,AA}), \quad \forall t \quad (3)$$

$$P_t^{sebeke-DAşarj} \cdot \eta^{AA-DA} + P_t^{PV-DA} = \sum_h (P_{h,t}^{EA,şarj,DA}), \quad \forall t \quad (4)$$

$$P_t^{sebeke} = P_t^{sebeke-AAşarj} + P_t^{sebeke-DAşarj}, \quad \forall t \quad (5)$$

$$P_t^{sebeke} \leq N \cdot (1 - u(t, s)), \quad \forall h, u, t, \quad u \in DA \text{ üniteler} \quad (6)$$

$$P_t^{PV-satis} \leq N \cdot u(t, s), \quad \forall h, u, t, \quad u \in DA \text{ üniteler} \quad (7)$$

EA'ların toplam şarj gücünün şebekeden ve PV sistemden elde edilen güç ile karşılanabileceği (2) numaralı eşitlikte ifade edilmektedir. Ayrıca EA'ların AA ve DA şarj ünitelerinde kullanmış oldukları şarj gücünün şebekeden ve PV

sistemden karşılandığı sırasıyla (3) v (4)'te belirtilmektedir. AA şarj ünitesine PV sistemden güç sağlanabilmesi için DA-AA dönüştürücünün ve elektrik şebekesinden DA şarj ünitesine güç tedarik edilebilmesi için AA-DA dönüştürücünün yer aldığı belirtilmelidir. (5)'te ise şebekeden satın alınan enerjinin AA ve DA şarj ünitelerine sağlanan toplam şarj gücüne eşit olduğu açıklanmaktadır. (6) ve (7) eşitsizlikleriyle ise elektrik şebekesi ile enerji ticaretinde aynı anda iki yönlü enerji akışının gerçekleştirilmemesi sağlanmaktadır.

### 2.3.3 Elektrikli Araçlar

EA'ların şarj operasyonlarının yönetimine ait matematiksel model (8)-(18)'de sunulmaktadır. Şarj istasyonu için rezervasyon yaptıran her bir EA'nın enerji durumu (8) ile hesaplanmaktadır. Burada bir EA'nın  $t$  anındaki enerji durumu ile önceki periyottaki ( $t-1$ ) enerji durumu ile eğer şarj oluyorsa bu üniteden sağlanan gücün toplamına eşit olmaktadır. (9) ve (10) denklemleri ile sırasıyla EA'ların bağlı oldukları DA ya da AA şarj ünitelerinden tedarik ettikleri şarj gücü tanımlanmaktadır. (11) ve (12)'de EA'nın bağlı olduğu ünite dışındaki farklı tür ünitelerdeki şarj gücü ile şarj olamayacağına dair mantıksal koşul sağlanmaktadır.

$$ED_{h,t}^{EA} = ED_{h,(t-1)}^{EA} + (P_{h,t}^{EA,şarj,DA} + P_{h,t}^{EA,şarj,AA}) \cdot \eta_h^{EA,şarj} \cdot \Delta T, \quad \forall h, t \in [T_h^{rez,bas}, T_h^{rez-bit}], \quad (8)$$

Eğer  $T_h^{şarj-bas} > T_h^{rez,bas}$   
 $\Rightarrow t \in [T_h^{şarj-bas}, T_h^{rez-bit}]$

$$P_{h,t}^{EA,şarj,DA} \leq \sum_u d_{h,u}^{EA,şarj}, \quad \forall h, u, t, \quad u \in DA \text{ üniteler} \quad (9)$$

$$P_{h,t}^{EA,şarj,AA} \leq \sum_u d_{h,u}^{EA,şarj}, \quad \forall h, u, t, \quad u \in AA \text{ üniteler} \quad (10)$$

$$P_{h,t}^{EA,şarj,DA} = 0, \quad \forall h, t, \quad \text{eğer } u \notin DA \text{ üniteler} \quad (11)$$

$$P_{h,t}^{EA,şarj,AA} = 0, \quad \forall h, t, \quad \text{eğer } u \notin AA \text{ üniteler} \quad (12)$$

EA'nın şarj istasyonuna geldiğindeki enerji durumu (13)'te ifade edilmektedir. Eğer rezervasyon yaptırdığı periyot için şarj ünitesini başka bir araç meşgul ediyorsa enerji durumuna ait atama işleminin şarj başlama periyoduna

öteleneyeceği belirtilmelidir. Mobil rezervasyon sisteminde EA sahibinin otoparka geldiği andaki aracının bataryasındaki enerji durumunu istasyon operatörüne sunduğu kabul edilmektedir. Aracın şarj istasyonundan ayrılırken istediği enerji durumu (14)'te ifade edilirken, (15)'te her bir EA'nın maksimum mevcut batarya kapasitesi kadar şarj edilebileceği açıklanmaktadır.

$$ED_{h,t}^{EA} = ED_h^{EA,başlangıç}, \quad \forall h, t$$

$$= T_h^{rez-baş}, \text{Eğer } T_h^{şarj-baş} > T_h^{rez-baş} \Rightarrow t = T_h^{şarj-baş} \quad (13)$$

$$ED_{h,t}^{EA} = ED_h^{EA,ayrılış}, \quad \forall h, s, t$$

$$= T_h^{rez-baş}, \text{Eğer } T_h^{şarj-baş} > T_h^{rez-baş} \Rightarrow t = T_h^{şarj-baş} \quad (14)$$

$$ED_{h,t}^{EA} \leq ED_h^{EA,maks}, \quad \forall h, t = T_h^{rez-bit} \quad (15)$$

$$\text{Eğer } T_h^{ayrılış} > T_h^{rez-bit} \text{ ve } [T_{h1=>u}^{rez-bit}, T_{h1=>u}^{ayrılış}] \cap [T_{h(\notin h1)=>u}^{rez-baş}, T_{h(\notin h1)=>u}^{şarj-baş}] \neq \emptyset,$$

$$T_h^{ayrılış} \sum_h \sum_{T_h^{rez-bit}} C_{h,t}^{EA} = G^{ceza}, \quad \forall t, u \quad (16)$$

$$\text{Eğer } T_h^{şarj-baş} > T_h^{rez-baş},$$

$$\sum_h \sum_{T_h^{rez-baş}} \ddot{O}_{h,t}^{EA} = M^{\ddot{odeme}}, \quad \forall t \quad (17)$$

Bir EA'nın rezervasyon bitiş durumunda hala istasyondan ayrılmaması durumunda ayrılmadığı her periyot için ceza uygulaması gerçekleştirilmektedir. Bu durum (16)'da ifade edilmektedir. Ayrıca rezervasyon bitiş saatini geciktiren kullanıcı ilgili zamanda başka bir kullanıcının rezervasyon zamanına girmiş olabilir. Bu durumdan muzdarip olan EA kullanıcısına bu duruma sebep olan EA kullanıcısının gerçekleştirmiş olduğu ceza ödemesi hesaba katılarak bir ödeme gerçekleştirilmektedir. Bu durum ise (17) numaralı denklemde açıklanmaktadır. Ayrıca EA'lar için rezervasyon saati bitiminden şarj ünitesinden ayrılmadığı süreye kadar hiçbir

rezervasyon işlemi olmasa bile bir ceza uygulaması gerçekleştirildiği (18)'de açıklanmaktadır.

$$\text{Eğer } [T_{h1=>u}^{rez-bit}, T_{h1=>u}^{ayrılış}] \cap [T_{h(\notin h1)=>u}^{rez-baş}, T_{h(\notin h1)=>u}^{şarj-baş}] = \emptyset,$$

$$T_h^{ayrılış} \sum_h \sum_{T_h^{rez-bit}} C_{h,t}^{EA} = G^{ceza}, \quad \forall t, u \quad (18)$$

### 2.3.4 PV Sistem

EA şarj istasyonunda olduğu düşünülen PV sistemden EA'lara enerji sağlanabilirken fazla enerji ise elektrik şebekesine satılabilmektedir. PV sistemden elde edilen gücün DA şarj ünitelerinde kullanılabilmesi, ayrıca AA şarj ünitelerinde değerlendirilebileceği ya da elektrik şebekesine satılabileceği (19)'da ifade edilmektedir.

$$P_t^{PV} = P_t^{PV-AA} + P_t^{PV-DA} + P_t^{PV-satış}, \quad \forall t \quad (19)$$

## 3. Test ve Sonuçlar

### 3.1 Giriş Verileri

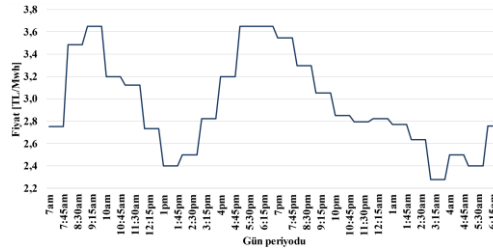
Trakya Üniversitesinde olduğu düşünülen PV sisteme sahip ve akademik personel ile öğrencilere hizmet ettiği düşünülen şarj istasyonunda 2 AA ve 2 DA şarj ünitesi olduğu kabul edilmektedir. 2 Nisan 2022 tarihinde yayımlanan şarj hizmeti yönetmeliğine göre üniversite gibi tüzel kişiler şarj istasyonu kurabilme yetkisine sahiptir. Kendi ihtiyacını karşılamak için kurmuş oldukları şarj istasyonunu şarj ağına bağlamaları gerekmektedir. Yönetmeliğe göre şarj ünitesi sayısının en az %50'sinin DA şarj ünitesinden oluşması gerekmektedir. Fiyatlandırma için ise "Şarj hizmeti fiyatı, elektrikli araca aktarımı yapılan birim enerji fiyatı (TL/kWh) cinsinden uygulanır." ifadesi belirtilmiştir. Ayrıca 09/05/2018 tarihli 1044 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile kamu kurum ve kuruluşları sözleşme gücü toplamını geçmemek kaydıyla üretim ve tüketiminin aynı ölçüm noktasında olma şartı aranmaksızın YEK'leri kurabilmektedir. Çalışmamızda yukarıda bahsedilen yönetmelik ve kararnamenin dikkate alındığı ifade edilmelidir. EA'lara gölgelik yapacak şekilde ve üniversite boş alanlarına konumlandırıldığı düşünülen PV sisteme ait güç üretim verisi için [25]'ten elde edilen 22 Mayıs 2020 07.00 - 23 Mayıs 2022

07.00 tarih aralığına ait Edirne ilinin gerçek küresel radyasyon verisi kullanılmıştır. İlgili güç üretim verisi ise Şekil 5'te verilmektedir. Ayrıca EA'ların şarj edilmesi amacıyla şebekeden satın alınan güç için ve PV sistemde üretilen fazla gücün şebekeye satışı için gerçek Türkiye elektrik piyasası fiyatları (09.02.2023) [26] kullanılmaktadır. PV sistemdeki belirtilen aynı zaman periyoduna ait elektrik fiyat verisi Şekil 6'da sunulmaktadır. Çalışmada zaman periyotları 15 dakika olarak belirlenmiştir. DA şarj işlemleri için 9,8 TL/kWh ücret talep edilirken, AA şarj işlemi için 7,8 TL/kWh ücret alınmaktadır [27]. Ayrıca EA'nın şarj işlemi bitmesine rağmen istasyondan ayrılmaması durumunda her 15 dakikalık periyot için DA şarj ünitelerindeki araçlar için 15 TL ve AA şarj ünitesindeki cihazlar için ise 12 TL ücret ödeyeceği kabul edilirken, AA şarj işleminde gecikme yaşayan EA'lara 9 TL'lik , DA şarj işleminde gecikme yaşayan EA'lara ise 11 TL'lik ödeme gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5. PV sistem ait güç üretim verisi

Figure 5. Power generation data of PV system



Şekil 6. Elektrik fiyatları verisi

Figure 6. Electricity price data

Gün içerisinde şarj istasyonuna 25 EA'nın şarj işlemi için geldiği düşünülmektedir. Bu araçlara ait rezervasyon başlangıç, şarj başlangıç, rezervasyon bitiş, üniteden ayrılış, istasyona geldiği andaki enerji durumu bilgisi ile hangi şarj ünitesine bağlı olduğuna ait veri Tablo 2'de verilmektedir. Ayrıca rezervasyon bitiş saatlerini işgal eden EA'ların daha iyi görülebilmesi için Şekil 7'deki yapı sunulmaktadır. Burada kırmızı ile ifade edilen

yapılar aracın şarj ünitesinden ayrılmadığı ve sırada şarj işlemi için bekleyen aracın şarj süresini işgal ettiği periyotlardır. Mavi ile belirtilen yapı ise rezervasyon saati bitmesine rağmen üniteden ayrılmayan fakat başka bir aracın şarj işlemini ihlal etmediği periyodu temsil etmektedir. Fakat bu durumda da üniteden ayrılmayan EA'nın olası rezervasyon işlemi yaptıracak bir başka EA kullanıcıasına engel teşkil etmemesi açısından bir ceza ödemesi gerçekleştirildiği belirtilmelidir.

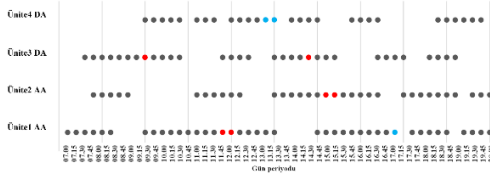
EA'lara ait teknik özellikler Tablo 3'te verilirken, Tablo 4 şarj ünitelerinin teknik özelliklerini sunmaktadır. EA'ların hem DA hem de AA şarj ünitelerinde şarjı desteklediği belirtilmelidir. AA şarj için maksimum 22 kW ve DA şarj için maksimum 50 kW'a kadar şarj gücü sağlanabilmektedir.

Tablo 2. EA davranışlarına ait giriş verileri

Table 2. Input data of EV behaviors

EA	Rezervasyon başlangıç	Şarj başlangıç	Rezervasyon bitiş	Üniteden ayrılış	Ünite	Başlangıçtaki enerji durumu [kWh]
EA1	07.00	07.00	08.30	08.30	AA1	10
EA2	09.15	09.15	11.30	12.00	AA1	52
EA3	11.30	12.00	13.15	13.15	AA1	48
EA4	14.15	14.15	16.30	16.45	AA1	4
EA5	17.00	17.00	18.15	18.15	AA1	39
EA6	18.30	18.30	19.45	19.45	AA1	70
EA7	07.45	07.45	09.00	09.00	AA2	71
EA8	10.45	10.45	12.15	12.15	AA2	71
EA9	13.00	13.00	14.30	15.00	AA2	18
EA10	14.30	15.00	16.15	16.15	AA2	52
EA11	16.45	16.45	18.30	18.30	AA2	33
EA12	18.45	18.45	20.00	20.00	AA2	20
EA13	07.30	07.30	09.15	09.30	DA1	11
EA14	09.15	09.30	10.30	10.30	DA1	42
EA15	11.30	11.30	12.30	12.30	DA1	56
EA16	13.00	13.00	14.00	14.15	DA1	38
EA17	14.00	14.15	15.00	15.00	DA1	50
EA18	16.00	16.00	17.00	17.00	DA1	60

EA19	17.30	17.30	18.45	18.45	DA1	68
EA20	09.15	09.15	10.30	10.30	DA2	13
EA21	10.45	10.45	11.30	11.30	DA2	65
EA22	11.45	11.45	12.45	13.15	DA2	23
EA23	13.45	13.45	14.30	14.30	DA2	37
EA24	15.15	15.15	16.15	16.15	DA2	47
EA25	17.45	17.45	19.15	19.15	DA2	45



Şekil 7. EA'ların şarj operasyonlarına ait veri

Figure 7. Data on charging operations of EVs.

Tablo 3. EA'lara ait teknik özellikler

Table 3. Technical specifications of EVs

Şarj verimliliği	Batarya kapasitesi	Şarj türü
%95	100 kWh	AA ve DA

Tablo IV. Şarj ünitelerine ait teknik özellikler

Table 4. Technical specifications of charging units

Tür	AA şarj ünitesi	DA şarj ünitesi
Maksimum şarj gücü	22 kW	50 kW

### 3.2 Test Sonuçları

Önerilen yapının etkinliğini göstermek için PV sistem kapasitesi değiştirilerek 5 farklı durum çalışması gerçekleştirilmektedir. Durum-1'de, Şekil 5'te sunulan verinin kullanıldığı ifade edilmelidir. Durum-2'de PV sistemin olmadığı varsayılırken, Durum-3, Durum-4 ve Durum-5'te PV kapasitesinin sırasıyla Durum-1'e göre 0,25, 0,5 ve 2 kat değiştiği düşünülmektedir. Test çalışmalarına ait detaylı veri Tablo 5'te sunulmaktadır. Ayrıca EA'lara toplam 42 TL şarj ünitesinden ayrılmama cezası uygulanırken, şarj işlemi gecikmesinden muzdarip olan kullanıcılara toplam 15 TL ödeme gerçekleştirilmektedir.

Tablo V. Test çalışmalarına ait veri

Table 5. Data related to the test studies

Durum çalışması	PV kapasitesi
Durum-1 (Önerilen yapı)	1x
Durum-2	–
Durum-3	0,25x
Durum-4	0,5x
Durum-5	2x

Tablo VI. Çalışmadan elde edilen sonuçlar

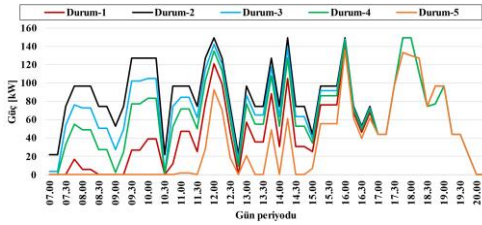
Table 6. Results obtained from the test studies

Durum çalışması	Maliyet [TL]	Durum-1'e göre değişim
Durum-1 (Temel Durum)	-8149	–
Durum-2	-6293	-%22,78
Durum-3	-6820	-%16,31
Durum-4	-7272	-%10,76
Durum-5	-9842	+%20,78

Çalışmadan elde edilen sonuçlar Tablo 6'da verilmektedir. Burada her bir durum çalışması için maliyet ve Durum-1'e göre değişimler sunulmaktadır. En iyi sonucun PV sistem kapasitesinin 2 katına çıkartıldığı Durum-5'te 9842 TL kazanç ile elde edildiği belirtilmelidir. Temel durum olan Durum-1'de şarj istasyonunun işletimi ile 8149 TL kazanç sağlanabilmektedir. Ayrıca PV sistemin olmadığı Durum-2'de kazancın yaklaşık olarak %23 azaldığı belirtilmelidir. Bu durumda kazanç 1856 TL'lik bir azalma göstermektedir. PV sistemin kapasitesinin iki katına çıkartılması ile kazancın 1693 TL arttığı belirtilmelidir ki bu %20,78'lik bir artış oranına tekabül etmektedir. PV sistem kapasitesinin %25 ve %50 olduğu Durum-3 ve Durum-4'te ise kazanç sırasıyla 1329 TL ve 877 TL düşmektedir. Ayrıca bu gelirlerin bir günlük ve nispeten az sayıda araç için dikkate alındığının altı çizilmelidir.

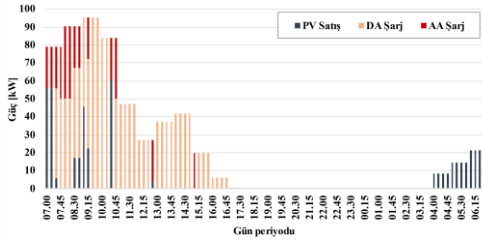
Her bir durum çalışması için şebekeden satın

alınan güçler Şekil 8'de verilmektedir. Şebekeden en çok gücün PV sistemin yer almadığı Durum-2'de satın alındığı belirtilmelidir. Burada 1116,32 kWh enerji satın alınmaktadır. PV sistem kapasitesinin 0,25 ve 0,5 kat olduğu durumlarda ise sırasıyla 979,31 kWh ve 1047,82 kWh enerji satın alınmaktadır. Temel durumda ise 854,51 kWh enerji tüketilmektedir. Burada PV sistemde üretilen enerjinin şebekeye satışının gerçekleştirildiği de hatırlatılmalıdır. Sonuç olarak PV sistem kapasitesinin artırılması ile şebekeden çekilen enerji miktarında giderek bir azalma olduğu söylenmelidir. Ayrıca önerilen yapı ile günün ilk saatlerinde şebekeden çekilen güç miktarında önemli miktarda azalma söz konusudur. Örneğin 09.30'da Durum-1'de Durum-2'ye göre 100,53 kW daha az güç çekilmektedir.



Şekil 8. Şebekeden satın alınan toplam güç miktarları

Figure 8. Total amount of power purchased from the power grid

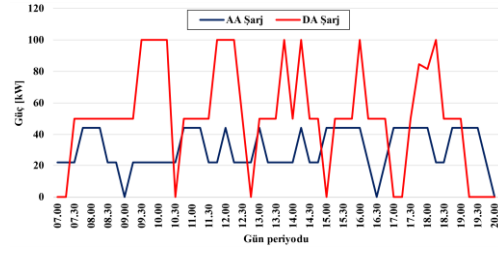


Şekil 9. PV sistemde üretilen enerjinin işletimsel dağılımı

Figure 9. Distribution of the energy produced in the PV system

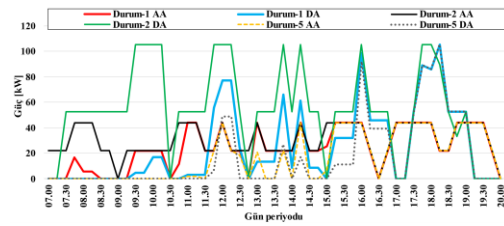
Durum-1'de PV sistemde üretilen enerjinin nerede değerlendirildiğine ait veri Şekil 9'da sunulmaktadır. Burada enerjinin çoğunun DA şarj ünitelerinde değerlendirildiği ifade edilmelidir. Elektrik şebekesine bir satış da söz konusudur. PV sistemde üretilen enerjinin 369,62 kWh'i DA şarj ünitelerinde değerlendirilirken, 87,10 kWh'i ise AA şarj ünitelerinde kullanılmaktadır. Ayrıca 114,83 kWh enerji ise elektrik şebekesine satılmaktadır. AA ve DA şarj işlemleri için değerlendirilmeyen fazla enerjinin şebekeye satıldığı ifade

edilmelidir.



Şekil 10. AA ve DA şarj gücü toplamı

Figure 10. Sum of AC and DC charging power



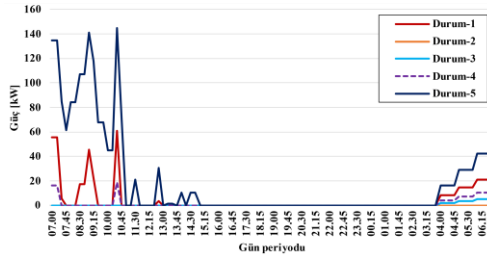
Şekil 11. Durum-1, Durum-2 ve Durum-5'te şebekeden çekilen toplam AA ve DA şarj gücü

Figure 11. Total AC and DC charging power drawn from the power grid in State-1, State-2 and State-5

Durum-2 için toplam AA ve DA şarj gücü verisi Şekil 10'da sunulmaktadır. Şarj güçlerinde rezervasyon sisteminde planlanana göre bir farklılık da söz konusu olduğu belirtilmelidir. Rezervasyon işlemi bitmesine rağmen ünitelerden ayrılmayan EA'lar sebebiyle 09.30, 11.45, 12.00, 14.30, 15.00, 15.15 periyotlarında AA şarj işlemi, 13.00, 13.15, 13.00 periyotlarında ise DA şarj işlemi gerçekleştirilememiştir. AA şarj işlemi için gün boyu 401,5 kWh enerji kullanılırken DA şarj işlemi için 679,08 kWh enerji harcanmaktadır. Durum-1, Durum-2 ve Durum-5'te şebekeden çekilen toplam AA ve DA şarj güçleri ise Şekil 11'de verilmektedir. PV sistem kapasitesinin artması ile şebekeden hem AA hem de DA şarj işlemi için çekilen güç miktarında azalma söz konusudur. Durum-5'te ise 11.00'e kadar AA ve DA şarj işlemi için hiç enerji satın alınmadığının altı çizilmelidir. Durum-2'de Durum-5'e göre şebekeden enerji talebinin %60,4 oranında azaldığının altı çizilmelidir. Bu durum enerji maliyetini azaltırken, karbon salınımının azaltılmasına da yardımcı olmaktadır. Ayrıca şebekeden enerji tüketimi gerçekleştirmediği için güç sisteminde güvenilirliğin artırılması konusunda da fayda sağlayabilir.

PV sistemde üretilen enerjinin Durum-1, Durum-

2, Durum-3, Durum-4 ve Durum-5'te şebekeye satılan miktarları Şekil 12'de ele alınmaktadır. Beklendiği gibi PV kapasitesinin artması ile şebekeye satılan miktarda artış yaşanmaktadır. Burada PV sistemden gerçekleştirilen enerji satışlarının EA'ların şarj gücü talebinin fazlası olduğu ifade edilmelidir. Şebekeye Durum-1'de 114,83 kWh, Durum-3'te 10,97 kWh, Durum-4'te 34,79 kWh ve Durum-5'te 484,05 kWh enerji satışı gerçekleştirilmektedir. Burada PV sistemden elde edilen fazla enerjinin şebekeye satılarak bir kazanç elde edildiği belirtilmelidir.



**Şekil 12.** PV sistemden elektrik şebekesine satılan güç miktarları

**Figure 12.** Amounts of power sold from the PV system to the electricity grid

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada Trakya Üniversitesi akademik personeli ve öğrencilerine hizmet ettiği varsayılan PV sistem destekli bir EA şarj istasyonunun optimum işletim modeli sunulmaktadır. Tasarlanan mobil uygulama ile EA şarj rezervasyon işlemleri yürütülebilmektedir. EA, kullanıcının mobil cihazı ve şarj istasyonu üzerindeki sensörler arasındaki iletişim nesnelerin interneti teknolojileriyle gerçekleştirilmektedir. Önerilen bulut tabanlı mimari sistemin geliştirilmesine imkân sağlamaktadır. Şarj istasyonunda yavaş ve hızlı şarj üniteleri EA sahiplerinin enerji ihtiyaçlarının karşılanması için kullanılmaktadır. Ayrıca PV sistemdeki fazla enerji elektrik piyasasında satılarak kâr elde edilebilmektedir. Bu çalışmada önerilen yapı karışık tam sayılı doğrusal programlama yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Çalışmanın etkinliğini test etmek amacıyla PV sistemin enerji üretimini belirlemek için gerçek küresel radyasyon verisi kullanılarak çeşitli durum çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre önerilen yapı ile şarj yönetimi optimum bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. İstasyon yöneticisi

PV sistem olmadığı durumda bile şebekeden enerji satın alıp EA'lara satarak bir kazanç elde edebilmektedir. PV sistemin dâhil edilmesi ile kazancın yaklaşık olarak %23 oranında arttığının altı çizilmelidir. PV sistemde üretilen güç çoğunlukla DA şarj işlemi için kullanılırken, ikinci olarak ise elektrik şebekesine satılarak değerlendirilmektedir. PV sistem kapasitesinin artırılması ile şebekeden satın alınan enerji miktarının azaldığı görülmüştür. Hatta günün belirli bir periyodunda şebekeden hiç enerjinin satın alınmadığı da belirtilmelidir. Bu durum enerji maliyetinin ve karbon salınımlarının azaltılması, güç sistemlerinde esnekliğin artırılması konularında fayda sağlayacaktır. Önerilen yapı ile EA, şarj ünitesi ve EA kullanıcısının mobil cihazı arasında gerçekleştirilen iletişim aracılığıyla şarj işlemleri optimum ve sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilebilecektir. Sunulan model burada bahsedilen konuda araştırma yapacak olan araştırmacılar ve sistem tasarımcıları için iyi bir rehber olacaktır.

#### 5. Discussion and Results

In this study, an optimum operational model of a PV system-supported EV charging station is presented, which is assumed to serve the academic staff and students of Trakya University. The designed mobile application allows for the management of EV charging reservations. The communication between the EVs, users' mobile devices, and the charging station is achieved through the Internet of Things (IoT) technologies. The proposed cloud-based architecture facilitates further development of the system. At the charging station, slow and fast charging units are used to meet the energy needs of EV owners. The excess energy in the PV system can be sold in the electricity market to make a profit. The proposed structure in this study is modeled using mixed-integer linear programming method. To test the efficiency of the study, various case studies are conducted using real global radiation data to determine the energy production of the PV system.

According to the results obtained from the study, the proposed structure enables an optimal charging management. The station manager can even make a profit by buying energy from the grid and selling it to EV owners when the PV system is not operational. It should be emphasized that the inclusion of the PV system increases the profit by approximately 23%. The

power generated from the PV system is mainly used for DC charging processes, and secondly, it is utilized by selling it to the power grid. Increasing the capacity of the PV system has been observed to reduce the amount of energy purchased from the power grid, and in certain periods of the day, no energy is purchased from the grid at all. This leads to cost savings and reduction in carbon emissions while enhancing flexibility in power systems. With the proposed structure, charging operations between EVs, charging units, and users' mobile devices can be carried out optimally and seamlessly through the communication established. The presented model will serve as a valuable guide for

researchers and system designers working on the mentioned topic.

## 6. Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Bu makalede sözü edilen sistem, bilimsel çalışma amacıyla tasarlanmış olup, adı geçen kurum ve kuruluşlar dâhil herhangi bir kurum ya da kuruluş tarafından onaylanmamış ya da hayata geçirilmemiştir.

## Kaynakça

- [1] Çiçek, A. (2022). Optimal operation of an all-in-one EV station with photovoltaic system including charging, battery swapping and hydrogen refueling. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(76), 32405-32424. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.07.171>.
- [2] Bedogni, L., Bononi, L., D'Elia, A., Felice, M. D., Rondelli S., Cinotti, T. S. (2014). A Mobile Application to Assist Electric Vehicles' Drivers with Charging Services. 2014 Eighth International Conference on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies, 78-83, DOI: 10.1109/NGMAST.2014.49.
- [3] Mohammed, A.M., Alalwan, S.N.H., Taşçıkaraoğlu, A., Catalão, J.P.S. (2022). Sliding mode-based control of an electric vehicle fast charging station in a DC microgrid. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 32, December 2022, 100820.
- [4] H. Zhou et al., "LSTM-based Energy Management for Electric Vehicle Charging in Commercial-building Prosumers," in *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 9, no. 5, pp. 1205-1216, September 2021, doi: 10.35833/MPCE.2020.000501.
- [5] Hamad, K., Htun, P. T. T., & Obaid, L. (2021). Characterization of travel behavior at a university campus: A case study of Sharjah University City, UAE. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100488>.
- [6] Sgarra, V., Meta, E., Saporito, M. R., Persia, L., & Usami, D. S. (2022). Improving sustainable mobility in university campuses: the case study of Sapienza University. In *Transportation Research Procedia* (Vol. 60, pp. 108-115). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.015>.
- [7] Al-Turjman, F., & Malekloo, A. (2019, August 1). Smart parking in IoT-enabled cities: A survey. *Sustainable Cities and Society*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101608>.
- [8] Elma, O., Cali, U., & Kuzlu, M. (2022). An overview of bidirectional electric vehicles charging system as a Vehicle to Anything (V2X) under Cyber-Physical Power System (CPPS). *Energy Reports*, 8, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.008>.
- [9] Ding, X., Gan, Q., & Shaker, M. P. (2023). Optimal management of parking lots as a big data for electric vehicles using internet of things and Long-Short term Memory. *Energy*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126613>.
- [10] Karasu Asnaz, M. S., Özdemir, B. (2021). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Optimal Konumlandırması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 4 (2) , 175-187. DOI: 10.51513/jitsa.1015108.
- [11] Turan, S., Efe, S. B. (2020). Elektrikli bisiklet paylaşımı: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi örneği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3 (2) , 112-122. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/57732/767304>.
- [12] Onur, S., Efe, S. B. (2020). Elektrikli bisikletle paylaşımlı hareketlilik: Balıkesir Üniversitesi Kampüsü örneği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3 (2), 216-226. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/57732/769766>.
- [13] Mussarat-Ul-Ain, Usman, M.T., Hassan, A., Akbar, A., Waleed A., Hasham, A. (2021). Development of Time and Energy Efficient, Smart Parking System. 2021 International Conference on Innovative Computing (ICIC). 1-6, DOI: 10.1109/ICIC53490.2021.9691511.
- [14] Durmuş, F. S. & Kaymaz, H. (2020). Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri . *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi* , 3 (2) , 123-139 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/57732/742474>.
- [15] Çiçek, A. & Erdinç, O. (2019). PV-Batarya Hibrit Sistemi İçeren Elektrikli Araç Otoparkının Şarj Yönetimi . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* , (15) , 466-474 . DOI: 10.31590/ejosat.527350.
- [16] Kerem, A. & Gürbak, H. (2020). ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN HIZLI ŞARJ İSTASYONU TEKNOLOJİLERİ . *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* , 8 (3) , 644-661 . DOI: 10.29109/gujsc.713085.
- [17] Güner, S. & Kır, S. S. (2020). THE FUZZY-BASED SMART CHARGING MANAGEMENT SYSTEM FOR AN ELECTRIC VEHICLE PARKING LOT INCLUDING A ROOF-TOP PV SYSTEM . *Mugla Journal of Science and Technology* , Özel Sayı 2020 , 18-24 . DOI: 10.22531/muglajsci.684822.

- [18] Cuma, M. U. , Cengiz, A. H. & Tümay, M. (2016). Çukurova Üniversitesinde Kentsel Elektrikli Araç Ulaşımı ve Şarj İstasyonu Uygulama Simülasyonu . Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi , 31 (2) , 343-354 . DOI: 10.21605/cukurovaummfd.310314.
- [19] Güneş, D. , Tekdemir, İ. G. , Şengül, M. & Alboyacı, B. (2018). Elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin güvenilirlik indisleri üzerine etkilerinin incelenmesi . Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi , 33 (3) , 1073-1084 . DOI: 10.17341/gazimmfd.416408.
- [20] Alkan, T. , Atiz, Ö. F. & Durduran, S. S. (2023). Elektrikli araç şarj istasyonları için AHP yöntemi ile uygun yer seçimi: Konya örneği . Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , 12 (1) , 193-199 . DOI: 10.28948/ngumuh.1189242.
- [21] M. Sütçü ve İ. T. Gülbahar , "Optimal location determination of electric vehicle charging stations: A case study on Turkey's most preferred highway", Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, c. 11, sayı. 2, ss. 537-543, Haz. 2022, doi:10.17798/bitlisfen.1052403.
- [22] Alaba, F. A., Othman, M., Hashem, I. A. T., & Alotaibi, F. (2017). Internet of Things security: A survey. Journal of Network and Computer Applications, 88, 10-28.
- [23] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2015). You only look once: Unified, real-time object detection. arXiv 2015. arXiv preprint arXiv:1506.02640, 1(2).
- [24] Smith, R. (2007, September). An overview of the Tesseract OCR engine. In Ninth international conference on document analysis and recognition (ICDAR 2007) (Vol. 2, pp. 629-633). IEEE.
- [25] PVGIS Photovoltaic Geographical Information System, EU Science Hub. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en) (Erişim Tarihi: 18.11.2022).
- [26] Piyasa Takas Fiyatı (PTF), EPIAŞ. <https://seffalik.epias.com.tr/transparency/piyasalar/gop/ptf.xhtml> (Erişim Tarihi: 17.11.2022).
- [27] Şarj İstasyonları Fiyatları, ZES, online erişilebilir: <https://zes.net/fiyatlar-tr> (Erişim Tarihi: 10.02.2023).