





# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Farklı İklim Özelliklerine Sahip Fotovoltaik Panel ve Enerji Depolama Entegreli Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Teknik, Ekonomik ve Çevresel Optimizasyonu

 Alpaslan DEMİRCİ<sup>a,\*</sup>,  Zafer ÖZTÜRK<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Elektronik Fak., Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

<sup>b</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fak., Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye

\* Sorumlu Yazar e-mail: ademirci@yildiz.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1248158

### Öz

Dünya’da artan nüfus, teknolojinin hızla gelişimi ve modern yaşam şeklinin toplumu daha fazla tüketime yönlendirmesi enerjiye olan talebi artırmaktadır. Talep edilen enerjinin yaygın olarak konvansiyonel kaynaklardan karşılanması küresel ısınma başta olmak üzere birçok çevresel ve ekonomik problem oluşturmaktadır. Dahası enerji tüketim araçlarının verimliliklerinin düşük olması ve daha çok konvansiyonel kaynaklara bağımlılığı bu durumu daha da kötüleştirmektedir. Dolayısı ile özellikle fosil kaynaklı enerji tüketiminin yaklaşık %20’sine sahip içten yanmalı araçların elektrikli hale getirilmesi ve bunların enerji taleplerinin yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile karşılanması çok önemlidir. Bu çalışmada elektrikli araç (EA) şarj istasyonlarının solar fotovoltaik panel (FV) ve enerji depolama sistemleri (EDS) ile entegrasyon potansiyeli araştırılmış ve teknik, ekonomik ve çevresel etkileri optimize edilmiştir. Ek olarak önerilen modelin farklı iklimsel özelliklere sahip coğrafi bölgelerdeki etkileri yapılan hassasiyet analizleri ile tespit edilmiştir. Sonuçlar birim enerji maliyetlerinin iklimsel farklılıklara bağlı olarak %21’e kadar artış gösterdiğini ve en iyi sonucun 0,046 \$/kWh ile İzmir ilinde elde edildiğini göstermiştir. Kullanılmayan yenilenebilir enerji oranını azaltmak ve temiz enerji tüketimini artırmak amacıyla kullanılan EDS’ler, solar radyasyon potansiyeli düşük olan şehirlerde amortisman sürecinin proje ömrüne yaklaşmasına sebep olmuştur. Diğer taraftan FV’li hibrit modellerde amortisman süreci 7,88 yıla kadar düşmüştür. Sonuçlar FV-EDS entegreli EA şarj istasyonlarının buldukları bölge iklim özelliklerine bağlı olarak farklı teknik, ekonomik ve çevresel etkilere sahip olabileceğini göstermiştir. Bu durumlar dikkate alınarak altyapı ve yatırımcı teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli araç şarj istasyonları, Fotovoltaik panel, Hibrit güç sistemleri, Optimizasyon, Sıfır karbon hedefi

## Technical, Economic and Environmental Optimization of Electric Vehicle Charging Stations Integrated Photovoltaic Panel and Energy Storage with Different Climatic Characteristics

### ABSTRACT

The increasing population in the world, the rapid development of technology, and the modern lifestyle leading society to more consumption increase the energy demand. Meeting the demand for energy widely from conventional sources creates many environmental and economic problems, especially global warming. Moreover,

1913

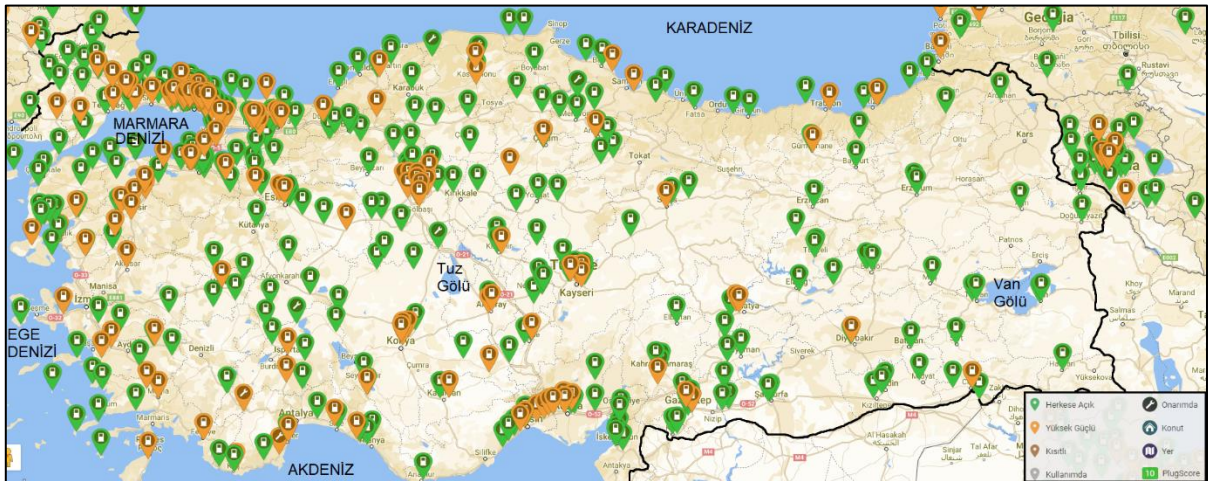
energy consumption devices' low efficiency and dependence on traditional resources further complicate the situation. Therefore, it is essential to electrify internal combustion vehicles, which have approximately 20% of fossil-based energy consumption, and to meet their energy demands with renewable energy systems (RES). In this study, the integration potential of electric vehicle (EV) charge stations with solar photovoltaic panels (PV) and energy storage systems (ESS) was investigated, and their technical, economic, and environmental effects were optimized. In addition, the effects of the proposed model in geographical regions with different climatic characteristics were determined by sensitivity analysis. The results showed that unit energy costs increased up to 21% due to climatic differences, and the best result was obtained in the province of Izmir with \$0.046/kWh. ESSs used to reduce the clipped energy and increase clean energy consumption have caused the depreciation process to approach project life in cities with low solar radiation potential. On the other hand, the amortization period in hybrid models with PV decreased to 7.88 years. The results showed that PV-ESS-integrated EV charge stations might have different technical, economic, and environmental effects depending on the region's climatic characteristics. Developing infrastructure and investor incentive mechanisms is necessary by considering these situations.

**Keywords:** *Electric vehicle charging station, Hybrid power system, Optimization, Photovoltaic panel, Zero carbon targets.*

## **I. GİRİŞ**

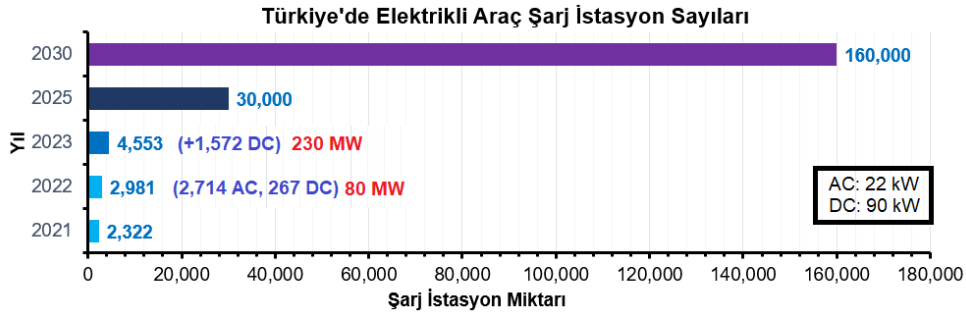
Dünya'da artan nüfus ve toplumların modernleşmesi enerjiye olan gereksinimi ciddi oranda artırmaktadır. Günümüzde enerji kaynaklarının yarısından fazlasını fosil kaynaklar oluşturmaktadır [1]. Bu durum hem çevre açısından olumsuz etkiler oluşturmakta hem de sürdürülebilir enerji yönetimi ile ilgili ciddi kaygılara neden olmaktadır. Dahası, dünya nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 9 milyara çıkacağı, enerji tüketiminin ise %50'lere kadar artacağı ve küresel ısınmanın ciddi boyutlara ulaşacağı düşünülmektedir [2]. Küresel ısınmanın etkilerini azaltmak, sera gazı emisyonlarını ve çevre kirliliğini düşürmek amacıyla birçok ülke yıllar boyunca gerekli tedbirler almıştır [3]. İlk olarak 1992'deki Rio Konferansı'nda Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Sözleşmesi ve 1997'deki Kyoto Protokolü ile küresel ısınmayı sınırlamak ve sera gazı emisyonlarının azaltılması adına birtakım kararlar alınmıştır [4]. 21. Taraflar Konferansı (2015) küresel iklim değişikliği müzakerelerine katılan ülkeler sera gazı emisyon azaltım taahhüdünde bulunmuştur [5]. BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında iklim değişikliğini ve sera gazı emisyonlarını azaltmak adına 2015 yılında Paris Antlaşması, 191 ülke tarafından imzalanmıştır. Bu antlaşma ile katılımcı ülkeler sıcaklık artışını 1,5-2<sup>0</sup>C'nin altında sınırlamayı hedeflemiştir [6]. Türkiye, Paris Antlaşması'nı 2016 tarihinde imzalamış ve net sıfır emisyon hedeflerini benimseyerek enerji başta olmak üzere sanayi, ulaştırma, bina, tarım, atık ve doğal varlıkların kullanımı konularında yeni eylem planlarının hazırlanmasını kararlaştırmıştır [7]. Dünya'da enerji tüketiminin %75'i konut ve sanayi gibi mekânsal alanlarda ve geri kalan %25'i ise ulaşımda kullanılmaktadır [8]. Diğer taraftan, CO<sub>2</sub> salınımının %74'ü mekânsal alanlarda ve geri kalan %26'sı ise ulaşımda (büyük çoğunluğu karayolu taşımacılığında) yaşanmaktadır [9]. Yüksek yakıt fiyatları, hızla tükenen petrol kaynakları, artan hava kirliliği ve sera gazındaki artış, enerji sektöründe alternatif enerji kaynaklarına yönelimi artırmıştır [10]. Karbon salınımını azaltmak, YEK'lere yönelmek ve çevreyle bütünleşik bir ortam yaratmak için EA'lar ön plana çıkmıştır [11], [12]. Yapılan araştırmalar EA'ların tercih edilmesinde; sürüş menzili ve performansı, şarj süresi, satın alma maliyeti, bakım-onarım maliyeti, şarj istasyon altyapısı ve marka çeşitliliği gibi faktörlerin etkili olduğunu ortaya koymuştur [13]. 2000 yılından sonra özellikle batarya teknolojilerindeki gelişmeler EA pazarının önünü açmış ve satışlar ciddi oranda ivme kazanmıştır. Dünya'nın en büyük EA pazarının ilk üç sırasını Çin, ABD ve Avrupa ülkeleri oluşturmaktadır [14], [15], [16]. 2020 yılı başında Dünya'da yaklaşık olarak üretilen 7,2 milyon adet EA sayısının 2050 yılına gelindiğinde 100 milyonun üzerine çıkması beklenmektedir. Diğer taraftan EA'ların artışıyla beraber talep edilen enerjinin YEK'lerden karşılanması sıfır karbon hedeflerine ulaşılması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle kurulacak EA şarj istasyonlarının YEK'lerle bütünleşik olması kaçınılmazdır [17]. EA'ların, fosil yakıtlı motorlu araçlara göre daha çevreci bir enerji kaynağına sahip olsa da birtakım dezavantajları bulunmaktadır. Bunlara yetersiz batarya kapasitesi, uzun şarj süreleri, altyapının yetersizliği, koruyucu ekipmanlara gereksinimleri, daha pahalı ve kısa menzile sahip olması örnek verilebilir. Şarj süreleri, eksik altyapı sorunları ve menzil problemlerinin çözümüne katkı sağlayacak önemli bir hususta EA şarj

istasyonlarının ülke içerisinde yaygınlaştırılmasıdır. Düzensiz yerleştirilen veya uygun olmayan alanlara kurulan EA şarj istasyonları, EA kullanıcılarını ve buna etken olacak trafik ağlarını olumsuz etkileyeceğinden şarj istasyonlarının yer seçimi oldukça önemlidir [18]. Bu nedenle EA şarj istasyonlarının diğer yakıt istasyonlarına nazaran daha esnek alanlarda ve şebekeye yakın kurulması önemlidir. Buna göre uygun alanların tespit edilmesi ve buna uygun şarj tiplerinin (DC, AC) yerleştirilmesi gerekmektedir. 2014/94/EU direktifinde şarj noktaları standart (<22 kW) ve hızlı (>22 kW) olmak üzere iki tiplidir. Bunun dışında şarj gücüne göre şarj noktaları AC şarj noktaları (AC<7,4 kW, 7,4≤AC≤ 22 kW, AC>22 kW) ve DC şarj noktaları (DC<50 kW, 50≤DC<150 kW, 150≤ DC≤350 kW, DC>350 kW) olmak üzere iki sınıfa ayrılır [19]. Çin, AB, ABD ve diğer bütün ülkeler dikkate alındığında EA şarj istasyon sayısı en çok Çin’de bulunmaktadır. 2015 yılında toplam EA şarj istasyon sayısının %32,1’ine sahip olan Çin, 2021 yılında bu oranı %64,6’ya kadar artırmıştır [20]. AB ülkeleri de 2015 yılında en yüksek kurulum oranına sahipken 2021 yılında ikinci sırada yerini almıştır. Türkiye’deki EA sayıları son yıllarda ciddi oranda artmasına rağmen özellikle birçok gelişmiş Avrupa ülkesinin gerisindedir [21]. EA pazarının yaygınlaşması için devlet destekli adımlar atılmaktadır. Özellikle Türkiye’nin yeni yerli marka (TOGG) bir araç üretimi hedefi ile yola çıkması bu desteklerin artarak devam etme sürecini hızlandırmıştır. Diğer taraftan oluşturulan yatırım teşvik paketleri ile EA şarj istasyon kurulumu, batarya üretimi, araştırma-geliştirme (AR-GE) ve üretim faaliyetlerinin artırılması hedeflenmektedir [22]. Türkiye’de EA’ların yaygınlaşmasının önünde birçok zorluklar olmasına rağmen fırsatlarda bulunmaktadır. Örneğin, benzin fiyatlarının çok yüksek olmasına rağmen elektrik enerjisini satın alma maliyetlerinin görece daha düşük olması EA’ların yaygınlaşması açısından ciddi bir ekonomik avantaj sunmaktadır.



*Şekil 1. Türkiye’deki EA şarj istasyon lokasyonları (2023)*

Şekil 1’de 2023 yılına göre Türkiye’de yer alan EA şarj istasyon dağılımları görülmektedir [23]. 2022 yılında 2981 adet (2714 AC, 267 DC) olan EA şarj istasyon sayısının 2023’te T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’nın kısa vadeli bir destek planlaması ile 4553’e çıkarılması hedeflenmektedir. Yapılan planlamalara göre 2025 yılında toplam 30 bin adet, 2030 yılında ise 160 bin adet EA şarj istasyonu kurulumu öngörülmektedir (Şekil 2) [24], [25]. Diğer taraftan nüfusun homojen olmayan dağılımı ve şehirlerarasındaki heterojen gelişmişlik düzeyleri EA’ların bölgesel yaygınlaşma hızını ve dolayısı ile altyapı ve yönetsel planlamaları zorlaştırmaktadır. Bu durum EA şarj istasyonlarının optimal konum ve boyutlandırmasını zorlaştırmakta ve özellikle nüfusun yoğun olduğu gelişmiş sanayi şehirlerinde teknik, ekonomik ve çevresel birçok yeni kısıt ortaya çıkarmaktadır. Oluşan bu kısıtların bertaraf edilmesi için olası alternatif çözümlerden biri de EA şarj istasyonların YEK’ler ile entegrasyonudur.



**Şekil 2.** Türkiye'de yıllara göre EA şarj istasyon sayılarındaki artış

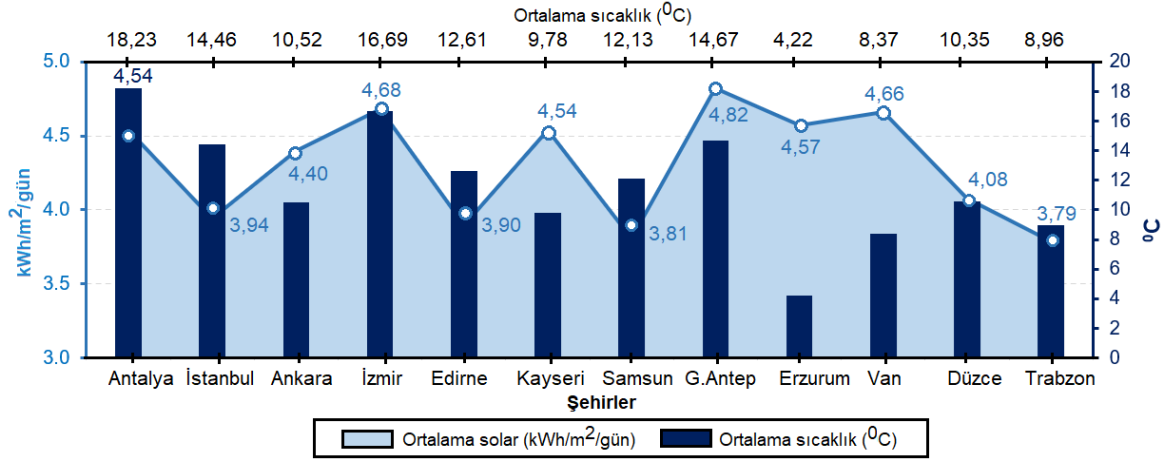
Literatürde EA şarj istasyonlarının optimal konumlandırılması, boyutlandırılması ve YEK'ler ile desteklenme potansiyeli birçok çalışmada araştırılmıştır. Üniversite kampüsünde yer alan EA şarj istasyonlu alışveriş merkezinin şebekeye bağımlılığını azaltmak için dizel jeneratörlü, FV'li ve rüzgâr türbinli hibrit güç sisteminin (HGS) teknik ve ekonomik etkileri iki farklı meta sezgisel algoritma kullanılarak optimize edilmiştir. Optimal senaryolarda yenilenebilir enerji oranını %87'lere kadar çıktığı görülmüştür [26]. Üç farklı bölgede FV'li EA şarj istasyonlarının optimal konfigürasyonları solar radyasyon ve elektrik tarife fiyatları dikkate alınarak analiz edilmiştir [27]. Hollanda'da pik talepleri karşılamak amacıyla FV-EDS'li EA şarj istasyonları, teknik ve ekonomik açıdan analiz edilmiş ve etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar %100 EA'lı penetrasyonda maksimum potansiyel belirlenmiş ve dört farklı mevsim üzerinden RF'ler karşılaştırılmıştır. Kış aylarında %12,6-75,8 arasında RF elde edilirken yaz aylarında bu değer %70,6-91,6 arasında olduğu belirlenmiştir [28]. İspanya'da yapılan çalışmada EA'ların varış zamanını ve şarj durumlarını dikkate alan hızlı şarj özellikli istasyon tasarımı genetik algoritma ile analiz edilmiş ve Monte Carlo yöntemi kullanılarak EA talebine uygun YEK'li HGS optimizasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, YEK'li EV şarj istasyonlarının kârlı olabileceğini ancak yenilenebilir enerji kesintilerini dengelemek için bir şebeke bağlantısına veya bir depolama sistemine ihtiyaç duyulacağı vurgulanmıştır [29]. Bir başka çalışmada Kanada'daki bir bölgede EA şarj istasyon çevresel emisyonlarını dikkate alan ve yaşam döngü maliyetlerini minimize eden optimal HGS tasarımı yapılmış ve farklı senaryolar altında başa-baş mesafeleri değerlendirilmiştir. Şebekeli sistemin şebekesiz sisteme göre birim enerji maliyetini (COE-cost of energy) %11,84 azaltmıştır [30]. FV güç üretime sahip HGS'li EA otoparkının pik fiyatlandırmada şebekeden çektiği güç değerini minimize etmek amacıyla EA'ların optimum şekilde yönetildiği bir algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritmanın yüksek pik fiyat dönemlerinde şebekeden çekilen gücü azalttığı ve EA otopark sahiplerinin kârını da arttırdığı görülmüştür [31]. Türkiye'de yapılan bir çalışmada FV'li HGS'yi içeren bir EA şarj istasyonunun toplam elektrik maliyetini minimize edilmesi amacıyla şarj yönetim modeli önerilmiştir [32]. Heterojen nüfus dağılımı, bölgesel altyapı, gelişmişlik düzeyi ve idari planlama EA şarj istasyonlarının planlı konum ve boyutlandırılmasını ve YEK'li enerji yönetimini zorlaştırmaktadır. EA sahipleri için altyapıyı uygun hale getirmek ve yatırımcılara yol gösterebilmek amacıyla farklı bölgelerdeki EA şarj istasyon altyapılarının detaylı analiz gerekliliği belirtilmiştir [33]. Bu çalışmada, EA şarj istasyonlarını YEK ile entegre ederek belirtilen bu zorlukların üstesinden gelebilmek için FV tabanlı HGS'lerin teknik, ekonomik ve çevresel etkileri analiz edilmiştir. Ayrıca farklı iklim bölgeleri için EDS'nin HGS üzerindeki etkileri dikkate alınarak optimal boyutlandırma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde konu ile ilgili literatür taraması açıklanmıştır. Bunun dışında Bölüm 2'de metodoloji ve yöntem, Bölüm 3'te hibrit güç sisteminin modellenmesi, Bölüm 4'te oluşturulan HGS'nin optimizasyon sonuçları ve Bölüm 5'te ise genel sonuçlar açıklanmıştır.

## II. METODOLOJİ VE YÖNTEM

### A. BÖLGELERİN SOLAR RADYASYON VE SICAKLIK DEĞİŞİMLERİ

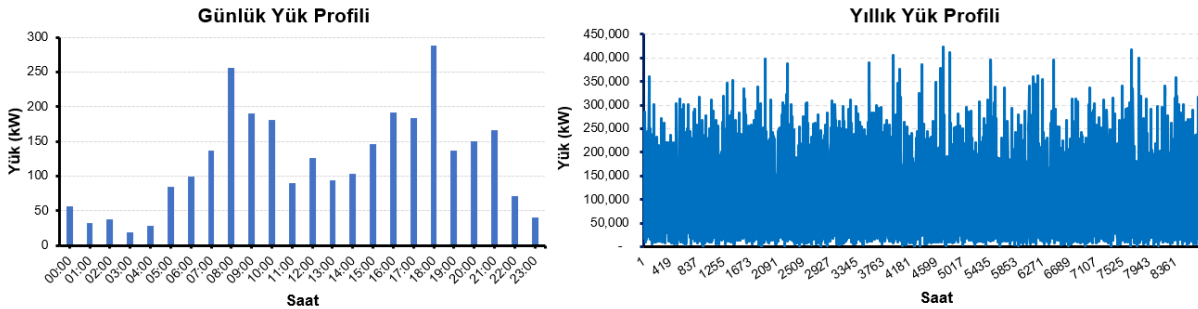
Türkiye'nin farklı bölgelerini temsil eden 12 ilin yıllık ortalama sıcaklık ve solar radyasyon verileri Şekil 3'te görülmektedir [34], [35]. Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konum itibarıyla ortalama sıcaklık ve radyasyon değerleri sırasıyla 4,22-18,23°C ve 3,79-4,82 kWh/m<sup>2</sup>/gün aralığında değişmektedir.



Şekil 3. Yıllık ortalama sıcaklık ve solar radyasyon (GHI) verileri

### B. EA ŞARJ İSTASYONU YÜK PROFİLİ

Yük profili, EA şarj istasyonu ve bu istasyonun temel elektrik yükü olmak üzere iki farklı profil üzerinden oluşturulmuştur. HOMER Grid [36] isteğe bağlı EA şarj modeli ile kullanıcı şarj talepleri dikkate alınarak yavaş ve hızlı şarj istasyonları tanımlanmıştır. EA şarj istasyonu için temel yük profili olarak 50 kWh/gün ve 6,84 kW/pik değerleri baz alınmıştır. EA şarj istasyonu yük profili ortalama 2.513 kWh/gün olmaktadır. Yük profillerinin günlük ve yıllık gösterimleri Şekil 4'te verilmiştir. Bu yük profilinin, belirlenen tüm bölgelerde aynı şekilde kullanılması öngörülmüştür.



Şekil 4. EA şarj istasyonu yük profili

EA şarj istasyonundaki şarj hızlarına ve güç durumlarına bağlı olarak EA'lar belirli zamanlarda şarj olurlar. Sistem boyutlandırma bu parametreler dikkate alınarak güç kapasitesi belirlenir. EA'ları şarj etmek için gereken sürenin formülü Eşitlik (1)'de ve  $t$  zamanında toplam EA güç değeri Eşitlik (2)'de verilmiştir [37].

$$\tau_{e,j} = \left\lceil st_{e,j} + \frac{ER_e}{P_{EV(max)}} \right\rceil \quad (1)$$

$$P_{EV}^t = \sum_{j=1}^{N_{EV}} P_{EV(j,t)} \quad \forall t; \quad P_{EV(j,t)} = \begin{cases} P_{EV(max)} & t \in \tau_{e,j} \\ 0 & t \notin \tau_{e,j} \end{cases} \quad (2)$$

Her iki eşitlikte verilenlere göre  $\tau_{e,j}$  her bir  $e$  özellikli  $j$ 'ninci EA şarj edilmesi için gereken süre (saat),  $st_{e,j}$  her bir EA şarj başlama zamanını (saat),  $ER_e$  EA'ların ihtiyaç duyduğu ortalama enerji (kWh),  $P_{EV(max)}$  maksimum şarj gücü (kW),  $P_{EV}^t$   $t$  zamanındaki toplam EA yükü (kW),  $P_{EV(j,t)}$   $t$  zamanında her bir EA'nın şarj gücü (kW) ve  $N_{EV}$  aynı model EA sayısıdır. Bu çalışmada kullanılan EA şarj istasyonların teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan EA şarj istasyonların teknik özellikleri

EA Tipi	Maksimum Şarj Gücü	Ortalama Şarj Süresi	EA Şarj Sayısı
Güçlü EA	100 kW AC	20 dakika	2 adet
Küçük EA	22 kW AC	20 dakika	8 adet

Tablo 2'de çalışmada kullanılan üç zamanlı tarife birim enerji maliyetleri görülmektedir [38], [39].

**Tablo 2.** Şebeke enerji tarifeleri ve maliyetleri

Tarif Türü	Şebeke Alış Tarifesi			Şebeke Satış Tarifesi
	Gündüz Tarifesi	Puant Tarifesi	Gece Tarifesi	
Saat aralığı	06:00-17:00	17:00-22:00	22:00-06:00	24 saat
Maliyetler	0,100 \$/kWh	0,160 \$/kWh	0,056 \$/kWh	0,051 \$/kWh

### C. FOTOVOLTAİK PANEL

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde en önemli bileşenlerden birisi de güneş solar enerjisi ile elektrik üretimini sağlayan fotovoltaik paneller (FV) olup bu paneller EA şarj istasyonları için ana bileşendir. Bu panellerin performansları küresel olarak güneş radyasyon değerine, panel üzerinde oluşan sıcaklık değerine ve paneldeki verim değerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Eşitlik (3)'te FV dizisinin ürettiği güç miktarı ve Eşitlik (4)'te FV dizisinin hücre sıcaklığı görülmektedir [40].

$$P_{PV}(t) = Y_{PV} \cdot f_{PV} \cdot \left( \frac{G_T(t)}{G_{T,STC}} \right) \cdot [1 + \alpha_P \cdot (T_C(t) - T_{C,STC})] \quad (3)$$

$$T_C(t) = T_a(t) + \frac{G_T(t)}{800} \cdot (T_{NOCT} - 20) \quad (4)$$

Her iki eşitlikte verilenlere göre  $P_{PV}(t)$  FV dizisinin  $t$  anında ürettiği güç değeri (kW),  $Y_{PV}$  FV dizisinin 25°C sıcaklığı altındaki anma güç kapasitesi (kW),  $f_{PV}$  FV panelin değer kaybı faktörü (%),  $G_T(t)$   $t$  anında FV dizisindeki güneş radyasyonun etkisi (kW/m<sup>2</sup>),  $G_{T,STC}$  FV dizisinin 25°C sıcaklığı altındaki güneş radyasyonun etkisi (1 kW/m<sup>2</sup>),  $\alpha_P$  FV dizisinde üretilen gücün sıcaklık katsayısı (0,1 %/°C),  $T_C(t)$   $t$  anında FV hücre sıcaklığı (°C),  $T_{C,STC}$  FV dizisinin 25°C sıcaklığı altındaki hücre sıcaklığı (°C),  $T_a(t)$   $t$  anında ortam sıcaklığı (°C) ve  $T_{NOCT}$  FV dizisinin normal çalışma sıcaklığı (°C) şeklindedir. Bu çalışmada 600 kW'lık güce, %80 verimliliğe ve 20 yıl ömre sahip FV panel tercih edilmiştir.

## D. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Üretilen enerjinin verimli olarak değerlendirilmesinde ve fazla enerjinin ise depolanmasında enerji depolama sistemleri (EDS)'ler EA şarj istasyonları için oldukça önemlidir. EDS'in çıkış enerjisi, şarj ya da deşarj olma durumuna göre değişmektedir. EDS'in  $t$  anında oluşturduğu enerji miktarı Eşitlik (5)'te görülmektedir [41].

$$E_{ESS}(t) = \begin{cases} E_{ESS}(t-1) + \eta_{şarj} \cdot P_{ESS}(t) \cdot \Delta t & ; P_{ESS}(t) > 0 \\ E_{ESS}(t-1) + \frac{P_{ESS}(t)}{\eta_{deşarj}} \cdot \Delta t & ; P_{ESS}(t) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Eşitlikteki verilere göre  $E_{ESS}(t)$  şarj veya deşarj durumuna göre EDS'nin  $t$  anındaki enerji miktarı (kWh),  $E_{ESS}(t-1)$  EDS'nin bir önceki durumdaki enerji miktarı (kWh),  $P_{ESS}(t)$  EDS'nin  $t$  anındaki güç çıkış değeri (kW),  $\eta_{şarj}$  DC'deki şarj durumundaki EDS verimliliği (%),  $\eta_{deşarj}$  DC'deki deşarj durumundaki EDS verimliliği (%) ve  $\Delta t$  zaman değişimi (saat) şeklindedir. EA şarj istasyonlarında elektrokimyasal Lityum-iyon özellikli EDS'ler tercih edilmektedir. Bu çalışmada 3,7 V nominal voltajlı, 1,02 kWh nominal kapasiteli, 276 Ah kapasiteli, 15 yıl ömürlü, %40 minimum şarj durumlu, %20 değiştirme bozulma limitli, 60 °C maksimum çalışma sıcaklıklı, 270 A maksimum şarj akımlı ve 810 A maksimum deşarj akımlı Lityum-İyon (ASM) özellikli EDS tercih edilmiştir.

## E. KONVERTÖRLER

HGS'de AC ile DC sistemler arasındaki enerji alışverişi sağlamak amacıyla konvertörler kullanılır. Bir konvertör, invertör ve doğrultucudan meydana gelir. Konvertör gücünün uygun boyutta seçilmesi, HGS modellemesi açısından oldukça önemlidir. İnvörtör çıkış güç ifadesi Eşitlik (6)'da ve doğrultucunun çıkış güç ifadesi ise Eşitlik (7)'de gösterilmiştir [42].

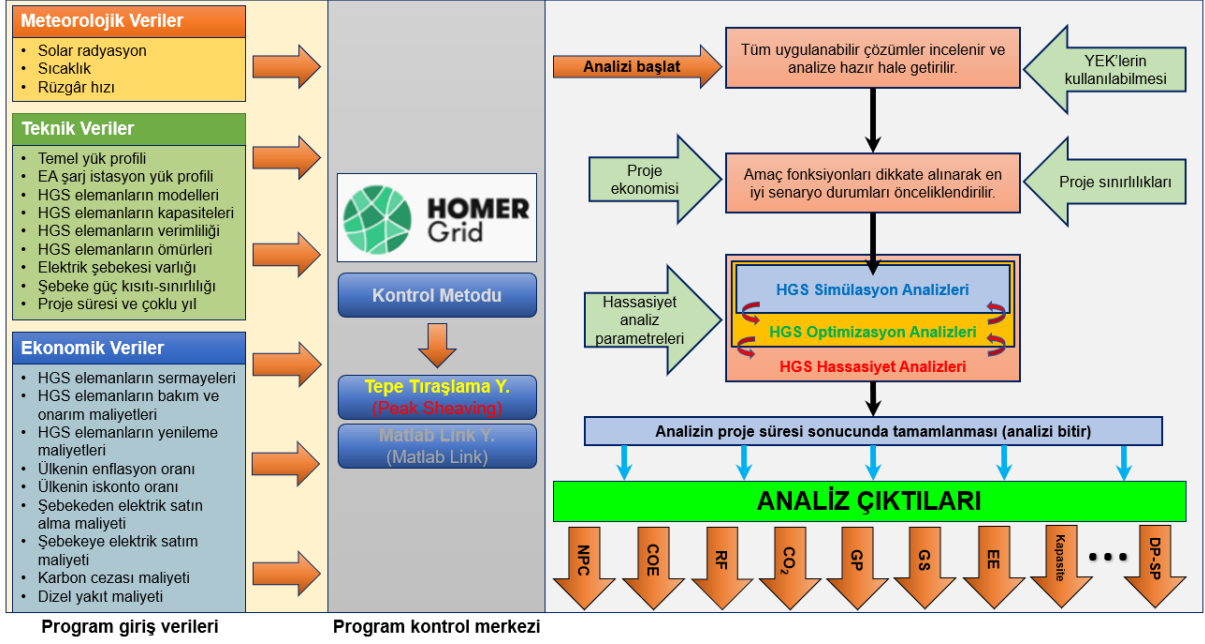
$$P_{inv}(t) = \eta_{inv} \cdot P_{DC}(t) \quad (6)$$

$$P_{rec}(t) = \eta_{rec} \cdot P_{AC}(t) \quad (7)$$

Her iki eşitlikteki verilere göre  $P_{inv}(t)$   $t$  anındaki invertör çıkış gücü (kW),  $\eta_{inv}$  invertör verimliliği (%),  $P_{DC}(t)$   $t$  anındaki DC bara güç değeri (kW),  $P_{rec}(t)$   $t$  anındaki doğrultucu çıkış gücü (kW),  $\eta_{rec}$  doğrultucu verimliliği (%) ve  $P_{AC}(t)$   $t$  anındaki AC bara güç değeri (kW) şeklindedir. Bu çalışmada 15 yıl ömürlü,  $\eta_{inv} = \%98$  ve  $\eta_{rec} = \%95$  verimli bir konvertör tercih edilmiştir.

## F. KULLANILAN YAZILIM

Hibrit güç sistemlerinin modellenmesinde, simülasyonunda ve kapsamlı analizinde HOMER Grid yazılımı kullanılmıştır. Şekil 5'te HOMER Grid yazılımının kontrol yapısı görülmektedir [43]. HOMER Grid, dağıtılmış ve şebekeye bağlı sistemler içerisinde YEK'leri etkili ve uygun güçte belirlenmesinin yanında elektrik maliyetlerini en etkili yoldan nasıl düşürebileceğini araştıran ve analiz eden bir optimizasyon aracıdır. Şebeke maliyetlerini, ülkelerin ekonomik parametrelerini (enflasyon ve iskonto oranları), bölgelerin meteorolojik verilerini (güneş, rüzgâr vb.) ve kurulacak sistemin yatırım maliyetlerini dikkate alarak teknik, ekonomik ve çevresel etkileri derinlemesine analiz eder. Ayrıca yazılımın optimizasyon ve hassasiyet analiz algoritmaları, birçok olası sistem konfigürasyonunun değerlendirilmesini oldukça kolaylaştırır. Optimizasyon analizinde "Tepe Yük Tıraşlama" kontrol metodu kullanılarak HGS bileşenleri boyutlandırılmıştır. Bu metot ile şebekeden satın alınan pik güç değeri kısıtlanır ve enerji maliyetleri azaltılarak en düşük maliyetli hibrit güç sistemi yönetimi sağlanır [36].



Şekil 5. HOMER Grid yazılımının kontrol yapısı

## G. TEKNİK VE EKONOMİK PARAMETRELER

**Şimdiki Toplam Net Maliyet (NPC-Net Present Cost):** HGS'nin proje ömrü boyunca kazanılan tüm gelirlerin bugünkü değerinden, proje ömrü boyunca tüm maliyetlerin bugünkü değerinin çıkarılmasıyla elde edilir. HOMER Grid yazılımı enflasyon ve iskonto oranlarını dikkate alarak toplam net şimdiki maliyeti proje ömrü sonuna göre hesaplar. Sistemin toplam net şimdiki maliyet formülü Eşitlik (8)'de ve yıllık reel faiz oranı ifadesi ise Eşitlik (9)'da verilmiştir [44]. Eşitliklerde verilenlere göre  $NPC$  proje ömrü sonundaki şimdiki net toplam maliyet (\$),  $C_{ann,tot}$  sistemin yıllık toplam maliyeti (\$/yıl),  $i$  yıllık reel faiz oranı (%),  $N$  proje ömrü (yıl),  $f$  beklenen enflasyon oranı (%) ve  $i'$  nominal faiz oranı (%) şeklindedir. Bu çalışmada proje ömrü 20 yıl, enflasyon oranı ( $IR$ -inflation rate) %23,31 ve iskonto oranı ( $DR$ -discount rate) %14 alınmıştır [45].

$$NPC = C_{ann,tot} \cdot \frac{i \cdot (1 + i) - 1}{i \cdot (1 + i)^N} \quad (8)$$

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (9)$$

Eşitlik (10)'da HGS amaç fonksiyon denklemini görülmektedir.

$$f = \min\{NPC\} \quad (10)$$

**Birim Enerji Maliyeti (COE):** HGS tarafından üretilen faydalı enerjinin kWh başına ortalama maliyeti şeklinde tanımlanır. Birim enerji maliyet ifadesi Eşitlik (11)'de verilmiştir [46]. Eşitlikteki verilenlere göre  $COE$  sistemin birim enerji maliyeti (\$/kWh) ve  $E_{load}$  hizmet verilen toplam elektrik yük miktarı (kWh/yıl) şeklindedir.

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{load}} \quad (11)$$

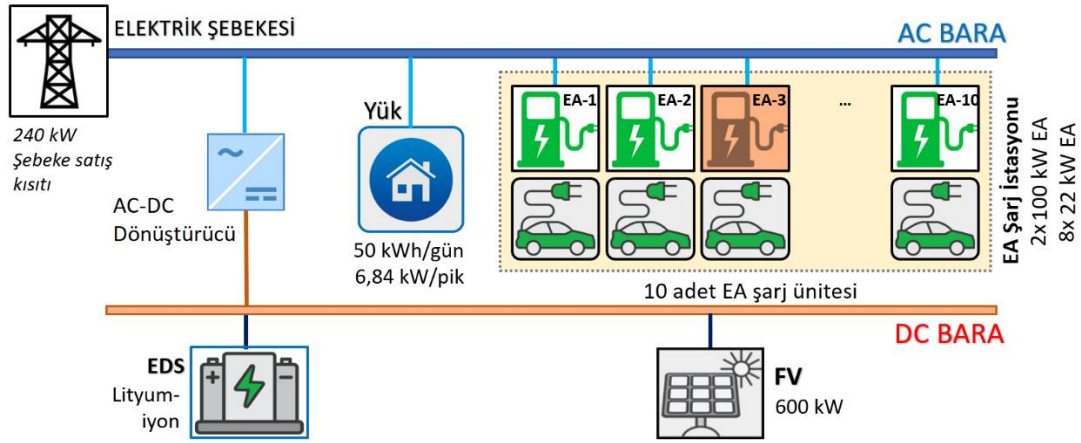
**Yenilenebilir Enerji Oranı (RF-Renewable Fraction):** Yüke aktarılan toplam yıllık YEK enerjisinin oranını gösterir. Eşitlik (12)'te  $RF$  oranı görülmektedir [44]. Eşitlikte verilenlere göre  $RF$  yenilenebilir



enerji oranı (%),  $E_{no\_ren}$  konvansiyonel enerji kaynağından (dizel vb.) üretilen ve/veya şebekeden alınan enerji miktarı (kWh/yıl) ve  $E_{load}$  yükün enerji ihtiyacı (kWh/yıl) şeklindedir.

$$RF = 1 - \frac{E_{no\_ren}}{E_{load}} \quad (12)$$

### III. HİBRİT GÜÇ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ



Şekil 6. Hibrit güç sistemi modellenmesi

Hibrit güç sistemi modeli Şekil 6'da görülmektedir. EA şarj istasyonunda 10 adet EA şarj ünitesi tanımlanmış olup, bunlardan 8 tanesi maksimum 22 kW'lık şarj güçlü, 2 tanesi ise maksimum 100 kW'lık hızlı şarjlı olarak tercih edilmiştir. Sistem modellenirken şebeke kapasite kısıtları dikkate alınarak FV kurulu gücünün maksimum %40'ına kadar enerji satışına izin verilmiştir. HGS bileşenlerinin her birinin yatırım, değiştirme ve bakım-onarım (O&M) maliyetleri Tablo 3'te verilmiştir [47].

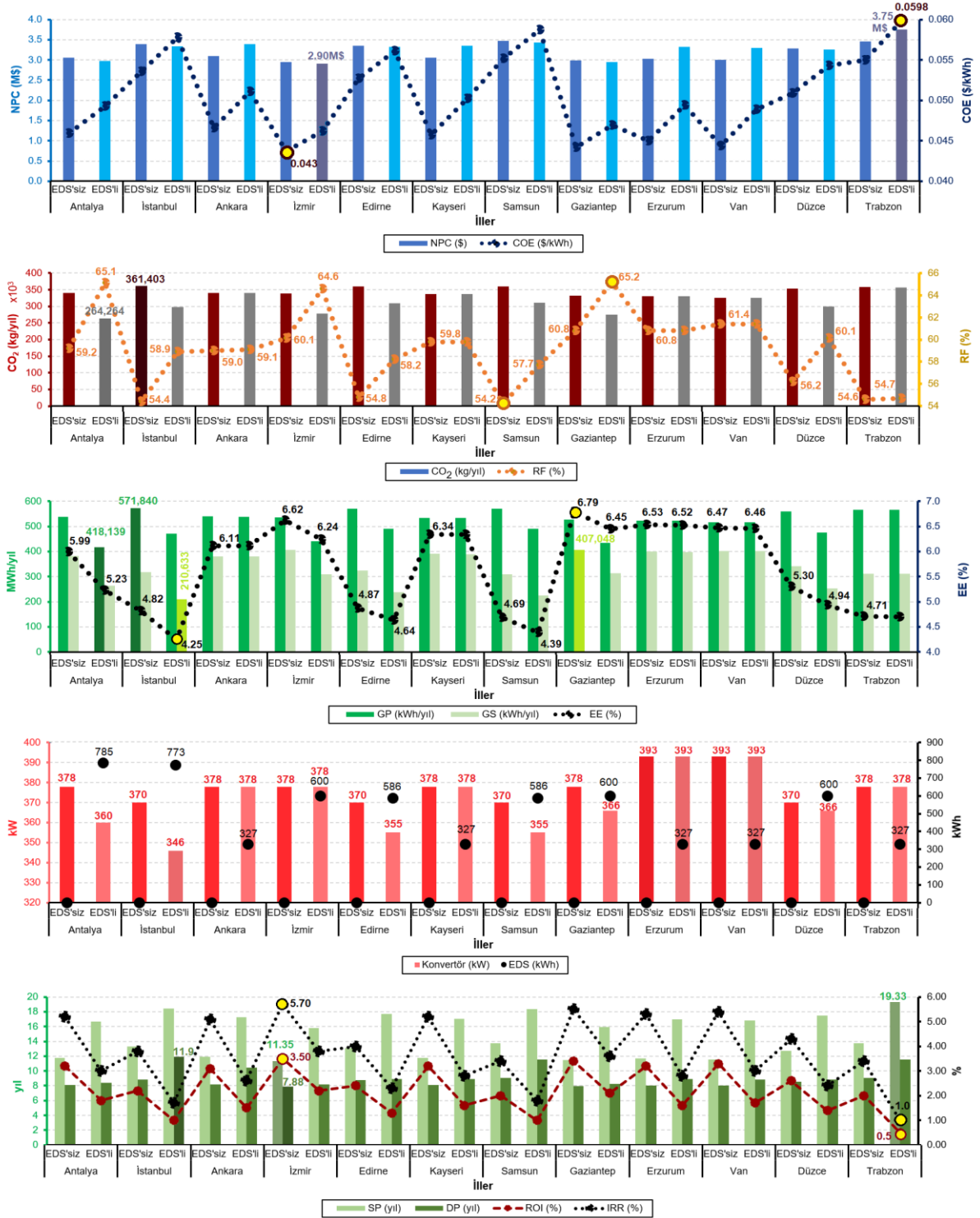
Tablo 3. HGS elemanlarının maliyetleri

Maliyetler	FV	EDS	Konvertör
Sermaye maliyeti	1000 \$/kW	300 \$/kWh	300 \$/kW
Yenileme maliyeti	900 \$/kW	250 \$/kWh	300 \$/kW
Bakım-onarım maliyeti	10 \$/yıl/kW	2 \$/yıl/kWh	0,02 \$/yıl/kW

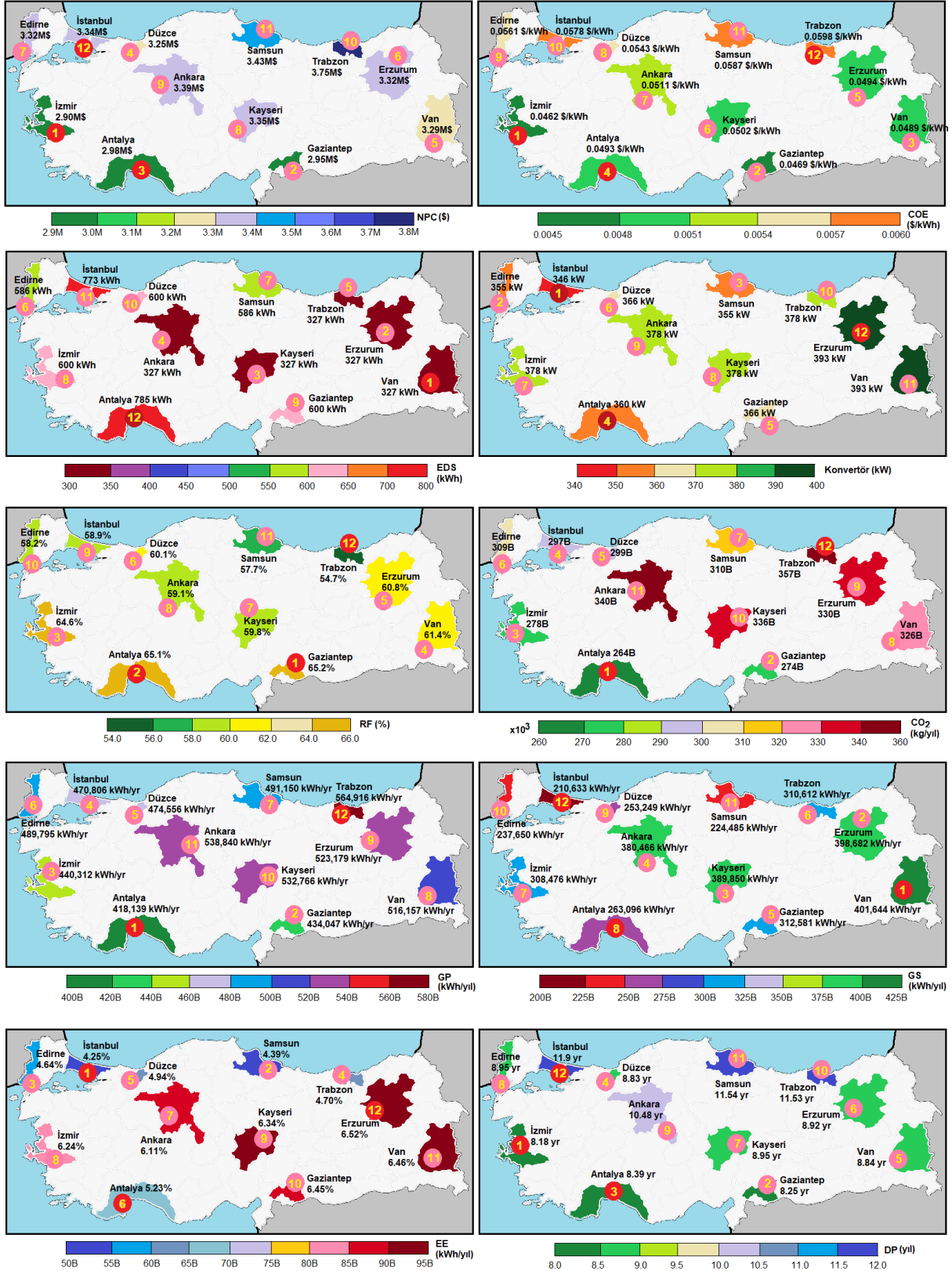
### IV. OPTİMİZASYON SONUÇLARI

Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konum itibariyle ortalama sıcaklık ve radyasyon değerleri Şekil 3'te görüldüğü gibi sırasıyla 4,22-18,23°C ve 3,79-4,82 kWh/m<sup>2</sup>/gün aralığında değişir. Elde edilen optimal HGS sonuçları ve EDS entegrasyonunun önerilen HGS'ye etkileri Şekil 7 ve Şekil 8'de görülmektedir. Bu bölümde farklı coğrafi bölgelerdeki 12 ilde kurulabilecek EA şarj istasyon FV-EDS potansiyeli araştırılmıştır. Her bir HGS senaryosu için optimal AC/DC dönüştürücü (konverter) kapasiteleri Şekil 7'de görülmektedir. Optimizasyon sonuçları, optimal DC/AC oranının 1,52-1,73 arasında değerler aldığı göstermiştir. Yalnız FV'li senaryolarda iklimsel değişimlere bağlı olarak COE ve RF sırasıyla

21% ve %12'ye kadar artış göstermiştir. En iyi RF %61.4 ile Van'da elde edilmiştir. Bu durumun önemli sebeplerinden biride Van'ın İzmir ile yaklaşık aynı solar radyasyona sahip olmakla birlikte günlük ortalama sıcaklık değerinin İzmir'in sıcaklığının yarısı kadar olmasıdır. Diğer taraftan optimum NPC İzmir'de gerçekleşmiştir. İklimsel özelliklere bağlı olarak EDS'siz senaryolarda SP 11-14 yıl arasında gerçekleşmiştir. EDS'li senaryolarda ise özellikle solar radyasyon potansiyelleri düşük olan şehirlerde SP'lerin proje ömrüne yaklaştığı görülmüştür.



Şekil 7. EA şarj istasyonlarının teknik, ekonomik ve çevresel analiz sonuçları



Şekil 8. EA şarj istasyonlarının analiz sonuçlarının kategorik sıralaması

Tablo 4 ve Tablo 5'te analiz sonuçlarının en iyi ve en kötü performans gösteren şehirleri sınıflandırılarak verilmiştir. Ayrıca tablolarda incelenen bölgeler için her bir değişkenin alt-üst sınırlarının nasıl değiştiği görülmektedir.

*Tablo 4. Teknik, ekonomik ve çevresel performans karşılaştırması (EDS'siz)*

Parametreler	En İyi Senaryo	En Kötü Senaryo	Durumlar
Şimdiki toplam net maliyet – NPC (\$)	İzmir (2.954.412 \$)	Samsun (3.467.190 \$)	2,95M\$ ≤ NPC ≤ 3,46M\$
Birim enerji maliyeti – COE (\$/kWh)	İzmir (0,04370 \$/kWh)	Samsun (0,05520 \$/kWh)	0,0437 ≤ COE ≤ 0,0552
Yenilenebilir enerji oranı – RF (%)	Van (%61,4)	Samsun (%54,2)	%54,2 ≤ RF ≤ %61,4
Şebekeden enerji alımı – GP (kWh/yıl)	Van (516.437 kWh/yıl)	İstanbul (571.840 kWh/yıl)	516.437 ≤ GP ≤ 571.840
Şebekeye enerji satımı – GS (kWh/yıl)	Gaziantep (407.048 kWh/yıl)	Samsun (309.935 kWh/yıl)	309.935 ≤ GS ≤ 407.048
Kullanılmayan enerji – EE (%)	Samsun (%4,69)	Gaziantep (%6,79)	%4,69 ≤ EE ≤ %6,79
CO <sub>2</sub> (kg/yıl)	Van (326.388 kg/yıl)	İstanbul (361.403 kg/yıl)	326.388 ≤ CO <sub>2</sub> ≤ 361.403
Basit geri ödeme süresi – SP (yıl)	İzmir (11,35 yıl)	Trabzon (13,73 yıl)	11,35 ≤ SP ≤ 13,73
İndirimli geri ödeme süresi – DP (yıl)	İzmir (7,88 yıl)	Trabzon (9,06 yıl)	7,88 ≤ DP ≤ 9,06
Yatırım getirisi – ROI (%)	İzmir (%3,5)	Samsun (%2,0)	%2,0 ≤ ROI ≤ %3,5
İç getiri oranı – IRR (%)	İzmir (%5,7)	Samsun (%3,4)	%3,4 ≤ IRR ≤ %5,7

*Tablo 5. Teknik, ekonomik ve çevresel performans karşılaştırması (EDS'li)*

Parametreler	En İyi Senaryo	En Kötü Senaryo	Durumlar
Şimdiki toplam net maliyet – NPC (\$)	İzmir (2.902.011 \$)	Trabzon (3.757.383 \$)	2,90M\$ ≤ NPC ≤ 3,75M\$
Birim enerji maliyeti – COE (\$/kWh)	İzmir (0,04620 \$/kWh)	Trabzon (0,05980 \$/kWh)	0,0462 ≤ COE ≤ 0,0598
Yenilenebilir enerji oranı – RF (%)	Gaziantep (%65,2)	Trabzon (%54,7)	%54,7 ≤ RF ≤ %65,2
Şebekeden enerji alımı – GP (kWh/yıl)	Antalya (418.139 kWh/yıl)	Trabzon (564.916 kWh/yıl)	418.139 ≤ GP ≤ 564.916
Şebekeye enerji satımı – GS (kWh/yıl)	Van (401.644 kWh/yıl)	İstanbul (210.633 kWh/yıl)	210.633 ≤ GS ≤ 401.644
Kullanılmayan enerji – EE (%)	İstanbul (%4,25)	Erzurum (%6,52)	%4,25 ≤ EE ≤ %6,52

*Tablo 5 (devam). Teknik, ekonomik ve çevresel performans karşılaştırması (EDS'li)*

<b>CO<sub>2</sub> (kg/yıl)</b>	Antalya (264.264 kg/yıl)	Trabzon (357.027 kg/yıl)	$264.264 \leq CO_2 \leq 357.027$
<b>Basit geri ödeme süresi – SP (yıl)</b>	İzmir (15,77 yıl)	Trabzon (19,33 yıl)	$15,77 \leq SP \leq 19,33$
<b>İndirimli geri ödeme süresi – DP (yıl)</b>	İzmir (8,18 yıl)	İstanbul (11,9 yıl)	$8,18 \leq DP \leq 11,9$
<b>Yatırım getirisi – ROI (%)</b>	İzmir (%2,2)	Trabzon (%0,5)	$\%0,5 \leq ROI \leq \%2,2$
<b>İç getiri oranı – IRR (%)</b>	İzmir (%3,8)	Trabzon (%1,1)	$\%1,1 \leq IRR \leq \%3,8$

Sonuçlar incelendiğinde İzmir için HGS teknik, ekonomik ve çevresel performansı oldukça iyidir. Bunun haricinde Antalya ili GP ve CO<sub>2</sub>, Gaziantep ili RF, Van ili GS ve İstanbul ili ise EE açısından en iyi değerleri almıştır. Genel itibari ile en iyi sonuçlar solar radyasyonu yüksek Ege ve Akdeniz bölgelerinde elde edilmiştir. Diğer taraftan bulutlu gün sayısının fazla olduğu Karadeniz bölgesinde optimal senaryolarda RF diğer bölgelere göre %10'a kadar daha düşüktür. Örneğin Trabzon'da EDS'siz HGS'li EA şarj istasyonlarında SP 14 yıla kadar artarken, RF %54.2'ye kadar düşmüştür. Diğer taraftan solar radyasyonu yüksek olan şehirlerde EDS kapasiteleri artarak en yüksek değeri almıştır. Örneğin Akdeniz bölgesi Antalya ili için EDS kapasitesi 785 kWh'e kadar artarken, solar potansiyeli görece daha düşük olan Doğu Anadolu ve Karadeniz bölgelerinde bu değer 300 kWh'lere kadar düşmüştür.

## V. SONUÇ

Sürdürülebilir enerji ve çevre hedefleri doğrultusunda elektrikli araç (EA) pazarı dünya çapında hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır. EA şarj taleplerinin karşılanması amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile destekli temiz enerji altyapısının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada iklimsel özellikleri farklı 12 il için fotovoltaik panel (FV) ile enerji depolama sistem (EDS) entegreli EA şarj istasyonunun teknik, ekonomik ve çevresel etkileri analiz edilmiştir. En iyi ekonomik sonuçlar alınan İzmir'de, iklimsel özelliklere bağlı olarak en kötü ekonomik sonuç alınan Samsun ve Trabzon illerine göre %22,6'ya kadar şimdiki toplam net maliyet (NPC) daha düşüktür. Bu sayede indirimli geri ödeme süresi (DP) 8,18 yıla kadar düşerek proje amortismanı diğer illere göre 3,72 yıla kadar daha kısa sürede gerçekleşmiştir. EDS'siz senaryolarda iklimsel değişimlere bağlı olarak NPC %15'e kadar yükselmiş ve buna bağlı olarak DP 1,2 yıla kadar artmıştır. Yenilenebilir enerji oranı (RF) %61,4'e kadar artış göstermiş ve bu sayede karbon salınımı %26 azalmıştır. Solar radyasyon potansiyelinin yüksek olduğu şehirlerde şebekeden satın alınan enerji %10'a kadar azalırken şebekeye satılan enerji 2 katı artış göstermiştir. EDS'li senaryolarda özellikle solar radyasyon potansiyeli düşük olan şehirlerde batarya maliyetlerine bağlı olarak basit geri ödeme süresi (SP) proje ömrüne yaklaşmıştır. EDS entegrasyonu ile RF %65,2'ye kadar yükselerek şebeke enerji bağımlılığı azalmış ve daha çevreci bir hibrit güç sistemi (HGS) elde edilmiştir. Böylece EDS entegrasyonu ile karbon salınımı %20'ye kadar azaltılabilmektedir. Diğer taraftan iklimsel özelliklere bağlı olarak optimal EDS'li senaryolarda karbon salınımı 92.763 kg/yıl'a kadar farklılık gösterirken EDS'siz senaryolarda bu fark sadece 35.015 kg/yıl olarak gerçekleşmiştir. Sonuçlar, EA şarj istasyonlarının farklı iklim koşullarına bağlı olarak farklı teknik, ekonomik ve çevresel performans gösterebileceğini ve bu durumların dikkate alınarak altyapı ve yönetim modellerinin geliştirilmesi gerekliliğini göstermiştir. Gelecekteki çalışmalar, solar radyasyon ve diğer alternatif enerji kaynakları arasındaki sinerjileri göz önünde bulundurarak, güneşsiz saatlerde rüzgar gibi alternatif kaynakların potansiyelini incelemeye odaklanabilir. Ayrıca enerji satın alma maliyetleri ve solar radyasyon potansiyelleri dikkate alınarak sıfır karbon hedefi doğrultusunda teşvik paketleri geliştirilerek sürdürülebilir kalkınma süreçleri hızlandırılabilir.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] T. Igogo, K. Awuah-Offei, A. Newman, T. Lowder, and J. Engel-Cox, "Integrating renewable energy into mining operations: Opportunities, challenges, and enabling approaches," *Applied Energy*, vol. 300, p. 117375, pp. 1-13, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117375.
- [2] G. E. Halkos, and E.-C. Gkampakou, "Reviewing Usage, Potentials, and Limitations of Renewable Energy Sources," *Energies*, vol. 13, no. 11, p. 2906, pp. 1-19, Jun. 2020, doi: 10.3390/en13112906.
- [3] O. Ekren, C. Hakan Canbaz, and Ç. B. Güvel, "Sizing of a solar-wind hybrid electric vehicle charging station by using HOMER software," *Journal of Cleaner Production*, vol. 279, p. 123615, pp. 1-13, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123615.
- [4] M. Economidou, V. Todeschi, P. Bertoldi, D. D'Agostino, P. Zangheri, and L. Castellazzi, "Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings," *Energy and Buildings*, vol. 225, p. 110322, pp. 1-20, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110322.
- [5] K. Ruamsuke, S. Dhakal, and C. O. P. Marpaung, "Energy and economic impacts of the global climate change policy on Southeast Asian countries: A general equilibrium analysis," *Energy*, vol. 81, pp. 446–461, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.energy.2014.12.057.
- [6] "2015 United Nations Paris Climate Agreement," 2023 [Online]. Available: [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf).
- [7] "Paris Anlaşması Onaylandı: Türkiye'nin İklim Politikasında Yeni Bir Dönem Başlıyor.," *Sürdürülebilir Ekonomi ve Finans Araştırmaları Derneği*, 2021.
- [8] IEA, IRENA, UN, World Bank, and WHO, "Tracking SDG7: The Energy Progress Report," International Renewable Energy Agency (IRENA), Washington DC, 2023.
- [9] Y. Gürbüz, ve A. A. Kulaksız, "Elektrikli Araçlar ile Klasik İçten Yanmalı Motorlu Araçların Çeşitli Yönlerden Karşılaştırılması," *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 117, Haziran 2016, doi: 10.17714/gufbed.2016.06.011.
- [10] E. Can Güven, ve K. Gedik, "Ömrünü Tamamlamış Elektrikli Araç Bataryalarının Çevresel Yönetimi," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 726–737, Haziran 2019, doi: 10.21597/jist.446170.
- [11] N. Berkeley, D. Jarvis, and A. Jones, "Analysing the take up of battery electric vehicles: An investigation of barriers amongst drivers in the UK," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 63, pp. 466–481, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.trd.2018.06.016.
- [12] World Bank Group, "CO<sub>2</sub> emissions from transport (% of total fuel combustion)," The World Bank, Washington, D.C., 2019.
- [13] M. Nurmhammed, and T. Karadağ, "A Review on Locating the Electric Vehicle Charging Stations and Their Effect on the Energy Network," *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, vol. 8, no. 2, pp. 218–233, 2021.
- [14] IEA, "Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future," International Energy Agency, France, 2022.
- [15] M. Ashfaq, O. Butt, J. Selvaraj, and N. Rahim, "Assessment of electric vehicle charging infrastructure and its impact on the electric grid: A review," *International Journal of Green Energy*, vol.

18, no. 7. pp. 657–686, 2021, doi: 10.1080/15435075.2021.1875471.

[16] Roland Irle, “Global Plug-in Vehicle Sales Reached over 3,2 Million in 2020.” The Electric Vehicle World Sales Database (EVvolumes), Sweden, 2020 [Online]. Available: <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>.

[17] N. Adnan, S. Md. Nordin, M. A. bin Bahruddin, and M. Ali, “How trust can drive forward the user acceptance to the technology? In-vehicle technology for autonomous vehicle,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 118, pp. 819–836, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.TRA.2018.10.019.

[18] S. S. Bilgilioğlu, “Site Selection for Electric Vehicle Charging Station with Geographic Information Systems and Fuzzy Analytical Hierarchy Process,” *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering Sciences*, vol. 22, no. 1, pp. 165–174, Feb. 2022, doi: 10.35414/akufemubid.1013244.

[19] E. M. Szumska, “Electric Vehicle Charging Infrastructure along Highways in the EU,” *Energies*, vol. 16, no. 2, p. 895, pp. 1-18, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16020895.

[20] IEA, “Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future,” International Renewable Energy Agency (IRENA), Washington DC, 2022.

[21] A. Yousefi-Sahzabi, E. Unlu-Yucesoy, K. Sasaki, H. Yuosefi, A. Widiatmojo, and Y. Sugai, “Turkish challenges for low-carbon society: Current status, government policies and social acceptance,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, pp. 596–608, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.090.

[22] Ö. Gönül, A. C. Duman, and Ö. Güler, “Electric vehicles and charging infrastructure in Turkey: An overview,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 143, p. 110913, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.110913.

[23] Plugshare. (2023, Jun 12). *Türkiye Electric Vehicle Charging Station Map* [Online]. Available: <https://www.plugshare.com/>.

[24] B. Bayram. (2023, 1 Haziran). *Türkiye için şarj istasyonu kurulu gücü artıyor* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tehad.org/2022/05/22/devlet-destegi-ile-sarj-istasyonu-kurulu-gucumuz-230mwa-cikiyor>.

[25] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023, Jun 10). *Türkiye için elektrikli araç şarj altyapısı* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://sarjdestek.sanayi.gov.tr/turkiye-icin-elektrikli-arac-sarj-altyapisi>.

[26] S. Singh, P. Chauhan, and N. J. Singh, “Feasibility of Grid-connected Solar-wind Hybrid System with Electric Vehicle Charging Station,” *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 9, no. 2, pp. 295–306, 2021, doi: 10.35833/MPCE.2019.000081.

[27] P. V. Minh, S. Le Quang, and M. H. Pham, “Technical economic analysis of photovoltaic-powered electric vehicle charging stations under different solar irradiation conditions in Vietnam,” *Sustainability*, vol. 13, no. 6, pp. 15–25, 2021, doi: 10.3390/su13063528.

[28] U. Fretzen, M. Ansarin, and T. Brandt, “Temporal city-scale matching of solar photovoltaic generation and electric vehicle charging,” *Applied Energy*, vol. 282, p. 116160, pp. 1-13, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.116160.

[29] J. A. Domínguez-Navarro, R. Dufo-López, J. M. Yusta-Loyo, J. S. Artal-Sevil, and J. L. Bernal-Agustín, “Design of an electric vehicle fast-charging station with integration of renewable energy and storage systems,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 105, pp. 46–58, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.08.001.

- [30] O. Hafez, and K. Bhattacharya, "Optimal design of electric vehicle charging stations considering various energy resources," *Renewable Energy*, vol. 107, pp. 576–589, 2017, doi: 10.1016/j.renene.2017.01.066.
- [31] A. K. Mathur, C. Teja S, and P. K. Yemula, "Optimal Charging Schedule for Electric Vehicles in Parking Lot with Solar Power Generation," in *2018 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)*, Singapore, May 2018, pp. 611–615, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2018.8467916.
- [32] A. Demirci, "Optimal Sizing of Solar-Based Electric Vehicle Charging Stations Considering Charging Demand and Economic Dynamics," *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, Sep. 2023, doi: 10.28948/ngumuh.1321628.
- [33] R. Çakmak, ve A. Turan, "Türkiye’de İller Bazında Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Altyapısı: Ölçevler Aracılığıyla Analizi," *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, c. 12, s. 1, ss. 246–268, 2022, doi: 10.31466/kfbd.1029677.
- [34] NASA. (2023, Jun 2). *NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) database* [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/>
- [35] M. Suri, and T. Cebecauer. (2023, Jun 5). *Global Solar Atlas Solargis* [Online]. Available: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/turkey>.
- [36] HOMER Grid. (2023, Jun 2). *Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources Grid Help* [Online]. Available: <https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/1.8/index.html>.
- [37] J. M. Clairand, M. Arriaga, C. A. Canizares, and C. Alvarez-Bel, "Power Generation Planning of Galapagos’ Microgrid Considering Electric Vehicles and Induction Stoves," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 10, no. 4, pp. 1916–1926, 2019, doi: 10.1109/TSTE.2018.2876059.
- [38] A. Zervos, and E. Adlib, "Renewables 2021, Global Status Report," Renewables (REN21), France (Paris), 2021.
- [39] Z. Öztürk, and A. Demirci, "Optimization of Renewable Energy Hybrid Power Systems Under Different Penetration and Grid Tariffs," *Journal of Polytechnic*, vol. 26, no. 3, pp. 1267-1275, 2023, doi: 10.2339/politeknik.1246418.
- [40] S. M. Tercan, A. Demirci, E. Gokalp, and U. Cali, "Maximizing self-consumption rates and power quality towards two-stage evaluation for solar energy and shared energy storage empowered microgrids," *Journal of Energy Storage*, vol. 51, p. 104561, pp. 1-13, 2022, doi: 10.1016/j.est.2022.104561.
- [41] A. Demirci, Z. Öztürk, and S. M. Tercan, "Decision-making between hybrid renewable energy configurations and grid extension in rural areas for different climate zones," *Energy*, vol. 262, p. 125402, pp. 1-14, 2023, doi: 10.1016/j.energy.2022.125402.
- [42] Z. Öztürk, S. Tosun, and A. Öztürk, "Modeling of a Sample Hybrid Renewable Energy System with HOMER, Economic and Technical Analysis," *Bayburt University Journal of Science and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 286–299, 2019.
- [43] V. Boddapati, A. Rakesh Kumar, S. Arul Daniel, and S. Padmanaban, "Design and prospective assessment of a hybrid energy-based electric vehicle charging station," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 53, p. 102389, pp. 1-17, 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102389.
- [44] Z. Öztürk, A. Demirci, S. Tosun, and A. Öztürk, "Technic and Economic Effects of Changes in the



Location of Industrial Facilities in Industrializing Regions on Power Systems,” in *2021 13th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa (Türkiye), Nov. 2021, pp. 11–17, doi: 10.23919/ELECO54474.2021.9677827.

[45] Trading Economics. (2023, Jun 13). *Inflation Rate (World)* [Online]. Available: <https://tradingeconomics.com/country-list/inflation-rate?continent=world>.

[46] A. Demirci, Z. Öztürk, S. M. Tercan, and İ. Nakir, “Determination of photovoltaic inverter ratio minimizing energy clipping for electric vehicle charging station under different solar radiations,” in *2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, Ankara (Türkiye), Jun. 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/HORA55278.2022.9799890.

[47] F. L. Camera, “Renewable Power Generation Costs in 2020,” International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2020.