

**Atf İçin:** Aydın, F. ve Öztürk, D. (2024). Şehir İçi Yolcu Taşımacılığında Elektrikli Araçlara Geçiş Sürecinin Teknik, Ekonomik ve Çevresel Yönlerden İncelenmesi: Diyarbakır Örneği. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(3), 1111-1127.

**To Cite:** Aydın, F. & Öztürk, D. (2024). A Study on the Transition to Electric Vehicles in Urban Passenger Transport from Technical, Economic, and Environmental Perspectives: The Case of Diyarbakır. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(3), 1111-1127.

**Şehir İçi Yolcu Taşımacılığında Elektrikli Araçlara Geçiş Sürecinin Teknik, Ekonomik ve Çevresel Yönlerden İncelenmesi: Diyarbakır Örneği**

Ferhat AYDIN<sup>1</sup>, Dursun ÖZTÜRK<sup>2</sup>

**Öne Çıkanlar:**

- Şehir içi taşımacılıkta EV'lere geçişin önemi vurgulanmıştır.
- EV'lerin enerji ihtiyacını karşılayacak bir mikro şebeke tasarlanmıştır
- Tasarlanan şebekenin ekonomik ve çevresel analizi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:**

- Elektrikli araçlar
- CO<sub>2</sub> emisyonu
- Yenilenebilir enerji tabanlı mikro şebekeler
- HOMER Pro.

**A Study on the Transition to Electric Vehicles in Urban Passenger Transport from Technical, Economic, and Environmental Perspectives: The Case of Diyarbakır**

**Highlights:**

- The importance of transition to EVs in urban transportation is emphasized.
- A microgrid has been designed to meet the energy needs of EVs.
- An economic and environmental analysis of the designed network was carried out.

**Keywords:**

- Electric vehicles
- CO<sub>2</sub> emissions
- Renewable energy based microgrid
- HOMER Pro.

**ÖZET:**

Günümüz dünyasında enerji kavramı tarihte olmadığı kadar önem kazanmıştır. Bunun birçok sebebi olmakla beraber hızlı nüfus artışı ve gelişen teknolojinin insanların konfor seviyesini yükseltmesi ilk sayılabacak sebeplerdendir. Gelişen teknoloji ile beraber şehirleşme kavramı da farklı bir boyut kazanmış ve kırsal nüfusun şehirlere göçü hızlanmıştır. Tüm bu gelişmeler var olan geleneksel enerji kaynaklarının ihtiyacı karşılamaması tehlikesini doğurmuştur. Ayrıca geleneksel kaynakların çevresel bakımdan olumsuz etkilere sahiptir. Temiz ve sürdürülebilir enerji arzını sağlamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim bir tercihten çok zorunluluk haline gelmiştir.

Şehir içi yolcu taşımacılığı şehir hayatının vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir. Bununla beraber mevcutta kullanılan araçların yaydığı CO<sub>2</sub> gazı çevreye zarar vermektedir. Bu çalışma, Diyarbakır ilindeki şehir içi taşımacılıkta kullanılan dizel ve doğal gazlı araçların sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla elektrikli araçlara (EA) geçiş sürecini ele almaktadır. Mevcutta kullanılan 933 aracın tamamının EA'lara çevrilmesi durumunda bu araçların enerji ihtiyacını karşılayacak yenilenebilir enerji tabanlı bir mikro şebeke tasarlanmıştır. Tasarlanan şebekenin NPC değeri 47.77 milyon \$, mevcut araçların bir yıllık yakıt gideri ise 24.83 milyon \$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler tasarlanan sistemin birkaç yıllık yakıt bedeli ile kendini amorti edeceğini göstermektedir. Ekonomik analizin yanında çevresel etki analizi de gerçekleştirilerek tasarlanan şebekenin yıllık CO<sub>2</sub> emisyon değerinin (14,137 ton/yıl) mevcut araçların yıllık CO<sub>2</sub> emisyon değerine kıyasla (45,540 ton/yıl) üçte birinden daha az olacağı ortaya konulmuştur.

**ABSTRACT:**

The concept of energy has gained unprecedented importance in today's world. This is due to several reasons, with rapid population growth and advancing technology, which increases people's comfort levels, being among the primary ones. Along with technological advancements, the notion of urbanization has transformed, leading to accelerated migration of rural populations to cities. All these changes have given rise to the concern that traditional energy sources may no longer meet the growing demand. Furthermore, traditional sources often have negative environmental impacts. To ensure clean and sustainable energy supply, the shift toward renewable energy sources has become more of a necessity than a choice.

Urban passenger transportation has become an indispensable part of city life. However, CO<sub>2</sub> emissions from existing vehicles are harming the environment. This study examines the process of transitioning to electric vehicles (EVs) to reduce greenhouse gas emissions from diesel and natural gas vehicles used in urban transportation in the Diyarbakır. A renewable energy-based microgrid was designed to meet the energy needs if all 933 existing vehicles were converted to EVs. The NPC (Net Present Cost) value of the designed network has been calculated as \$47.77 million, while the annual fuel cost of the existing vehicles is \$24.83 million. These values indicate that the designed system will amortize itself within a few years' worth of fuel costs. In addition to the economic analysis, an environmental impact analysis was also conducted, revealing that the annual CO<sub>2</sub> emission value of the designed network (14,137 tons/year) will be less than one-third of the annual CO<sub>2</sub> emission value of the existing vehicles (45,540 tons/year).

<sup>1</sup>Ferhat AYDIN ([Orcid ID: 0009-0000-6234-881X](https://orcid.org/0009-0000-6234-881X)), Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Sistemleri, Bingöl, Türkiye

<sup>2</sup> Dursun ÖZTÜRK ([Orcid ID: 0000-0002-0335-8118](https://orcid.org/0000-0002-0335-8118)), Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ferhat AYDIN, e-mail: f.aydin@igdir.edu.tr

## GİRİŞ

Ulusal Çevresel Bilgi Merkezleri'nin (National Centers for Environmental Information, NCEI) 2021 yılı Küresel İklim Raporuna göre, 1880'den bu yana küresel yıllık sıcaklık her on yılda ortalama  $0,08^{\circ}\text{C}$  ( $0,14^{\circ}\text{F}$ ) oranında artış göstermiştir. Bu artış oranı 1981'den bu yana iki kattan fazla artarak  $0,18^{\circ}\text{C}$  ( $0,32^{\circ}\text{F}$ ) seviyesine ulaşmıştır. (NCEI, 2021). Modern şehirler, sürekli artan nüfus ve gelişen ekonomilerle birlikte bu artışın daha da hızlandığı gözlemlenmektedir. İklim, uzun bir süre boyunca meydana gelen atmosferik koşulların toplamını ve ortalama durumunu belirtir. Hava durumu ise kısa bir süre içindeki anlık atmosfer koşullarını ifade eder. İklimi etkileyen faktörler genellikle sıcaklık, yağış, rüzgâr gibi değişkenlerdir. İnsan etkinlikleri sonucunda atmosferin kimyasal bileşimi değişmekte ve bu da sera gazlarının üretimine yol açmaktadır. Özellikle ısıyı tutma özelliğine sahip olan  $\text{CO}_2$ , metan ve nitrit oksitlerin ( $\text{NO}_x$ ) salınımı artmaktadır (Muslu, 2000). Atmosferdeki  $\text{CO}_2$  gazının konsantrasyon değeri 1750 yılından günümüze kadar artışı %31 oranında artarken son yirmi yıldaki yıllık artış oranı ise %0.4 olmuştur. Son 20 yılda, atmosfere salınan insan kaynaklı  $\text{CO}_2$  gazının yaklaşık dörtte üçü fosil yakıtların yanması nedeniyle, geri kalan kısmı ise arazi kullanımı değişikliği ve özellikle ormanların yok edilmesinden kaynaklanmıştır (Diler, 2006).

Uluslararası Enerji Ajansının 2022 yılı raporuna (IEA, 2023) göre karayolu taşımacılığındaki artan talebe bağlı olarak günlük petrol talebi 18 milyon varile ulaşmıştır. Son yirmi yılda otomobil sayısındaki artış 600 milyonu bulurken karayolu taşımacılığı faaliyetleri %65 oranında artmıştır. Bu artışların sonucu olarak günümüzdeki petrol talebinin %45'i karayolu taşımacılığı faaliyetlerine aittir.

Yine aynı rapora göre dünyada 2020 yılındaki toplam otomobil satışlarının %4'ünü elektrikli araçlar (EA) oluşturmaktadır. 2022 yılında EA'ların satışı 10 milyonu aşarak rekor kırmıştır. Elektrikli otobüslerin satışı gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde hızla artmaktadır. EA satışlarındaki artışlara bağlı olarak 2030 yılına kadar günlük petrol tüketiminin 18 milyon varilden 2 milyon varile düşmesi beklenmektedir.

TÜİK'in 2021 yılı sera gazı emisyon envanterine göre, Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonu  $\text{CO}_2$  eşdeğeri olarak 564.4 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Çizelge 1'de ulaştırma sektörlerine göre sera gazı emisyon değerleri gösterilmektedir. 2020 yılında ulaştırma kaynaklı emisyon miktarı 80,680 kiloton  $\text{CO}_2$  eşdeğeri iken 2021 yılında bu miktar 91,200 kiloton  $\text{CO}_2$  eşdeğerine yükselmiştir. 2021 yılındaki emisyonun %94.8'i karayolundan, %3.1'i havayolundan, %1.2'si denizyolundan, %0.4'ü demiryolundan ve %0.4'ü diğer ulaştırma türlerinden kaynaklanmıştır. 1990 yılında ulaştırma kaynaklı emisyonların toplam sera gazı emisyonlarındaki payı %12.8 iken, 2021 yılında bu oran %16.2'ye yükselmiştir (Çevre, 2021).

**Çizelge 1.** Ulaştırma türüne göre sera gazı emisyonu (kiloton  $\text{CO}_2$  eşdeğeri)

	Karayolu	Havayolu	Demiryolu	Denizyolu	Diğerleri	Toplam
1990	24.777	923	721	509	39	26.969
1995	29.760	2.775	768	726	83	34.112
2000	31.850	3.099	713	623	180	36.465
2005	35.532	4.089	757	1.299	364	42.041
2010	39.941	2.862	517	1.682	390	45.392
2015	69.309	4.205	480	1.147	656	75.797
2018	78.907	3.688	435	931	657	84.618
2019	76.720	3.509	400	1.217	581	82.427
2020	76.601	2.164	323	1.264	328	80.680
2021	86.499	2.856	356	1.128	361	91.200

EA'lar düşük emisyonlu olmaları nedeniyle hava kirliliğini ve sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Emisyondaki azalma ise daha temiz bir hava, daha sağlıklı bir çevre ve daha

yaşanabilir şehirler anlamına gelmektedir. Bu nedenle, şehir içi taşımada EA'lara geçiş, sürdürülebilir bir geleceğe doğru atılmış önemli bir adımdır.

EA'lara geçiş beraberinde başka ihtiyaçları doğuracaktır. Bunlardan en önemlisi EA'ların elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasıdır. Mevcut şebeke üzerinden EA'ların şarj edilmesi şebekelerin aşırı yüklenmesine neden olacağı için alternatif çözümler düşünülmelidir. Hibrit mikro şebekeler bu konuda iyi bir çözüm olabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli dezavantajı doğası gereği kararsız olmalarıdır. Mikro şebekeler birden fazla kaynağın bir araya getirildiği sistemler olduğundan herhangi bir kaynağın üretim dışı kalması durumunda yüklerin enerjisiz kalmaması için diğer kaynaklar devreye girebilmektedir. Bu tür uygulamalarda; coğrafi konumun özelliğine, bölgenin enerji ihtiyacına ve teknolojik imkanlara bağlı olarak güneş-rüzgâr, hidroelektrik-rüzgâr-güneş, güneş-biyoenjerji-hidrojen gibi farklı kombinasyonlarla maksimum verim elde etmek mümkündür. Mikro şebekeler ana şebeke ile bağlantılı olabileceği gibi ana şebekeden bağımsız da olabilir. Şebeke bağlantılı sistemlerde mikro şebekenin ürettiği enerji, talep edilen enerji değerinden düşük olması durumunda ihtiyaç duyulan kısım ana şebekeden karşılanarak kesintilerin önüne geçilir. Üretimin tüketimden fazla olduğu zamanlarda ise üretilen fazla enerji şebekeye satılır. Ana şebekeden bağımsız sistemlerde ise depolama sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemlerde üretilen enerji, talep edilen miktarı aştığı zamanlarda fazla enerji depolanmaktadır. Tüketimin üretimden fazla olduğu zamanlarda ise depolanan enerji tüketilerek enerji arzının kesintiye uğraması önlenmektedir.

Aşağıda yenilenebilir enerji tabanlı mikro şebekelerin birkaç önemli üstünlüğü belirtilmiştir.

- Hibrit sistemler öncelikle şebekeden beslenemeyen kırsal bölgelerin enerji ihtiyacını karşılamak için hayati öneme sahiptir. Kişi başına enerji tüketim miktarı, ülkelerin gelişmişlik düzeyini gösteren önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle kırsal bölgede yaşayan toplulukların enerjiye ulaşamaması ülkelerin gelişmişlik seviyesini geriletecek ve böylece uluslararası arenada gelişmiş ülkeler kategorisinde sayılmamasına yol açacaktır.

- Yenilenebilir enerji tabanlı hibrit mikro şebekeler CO<sub>2</sub> salınımını azaltmada büyük rol oynamaktadırlar. Bu nedenle çevresel etki bakımından mikro şebekelere yönelim ülkeler için artık bir zorunluluk haline gelmiştir.

- Elektrik enerjisinin tüketim merkezlerine yakın yerlerde üretilmesi iletim hatlarındaki kayıpları azaltmaktadır. Kayıpların azalması hem enerji verimliliğini arttıracak hem de ekonomik kayıpları azaltacaktır.

Islam ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, elektrik üretimi için farklı enerji kaynaklarını birleştirerek üç alternatif hibrit şebeke modeli geliştirmişlerdir. Güneş enerjisi, biyokütle jeneratörü, dizel jeneratör gibi kaynaklar ile batarya depolama sistemleri çeşitli kombinasyonlarla kullanılmıştır. Tekno-ekonomik analizler için HOMER Pro yazılımı kullanılarak en uygun sistem konfigürasyonu belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, önerilen hibrit sistemin mevcut yöntemlere göre %75 daha az CO<sub>2</sub> salımı gerçekleştireceği ifade edilmiştir (Islam ve ark., 2018).

Odetoye ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada Nijerya'nın kırsal bir bölgesi için çok kaynaklı, bağımsız ve yenilenebilir enerji tabanlı bir mikro şebeke tasarımı sunmuşlardır. Önerilen modelin planlaması ve mali analizi, HOMER Pro yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulgular, önerilen sistemle yıllık 7,540 tona kadar CO<sub>2</sub> tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir (Odetoye ve ark., 2023).

Baek ve arkadaşları, Güney Kore'nin Yeongjong Adası'nda elektrik tüketiminin tamamen yenilenebilir hibrit enerji sistemleriyle karşılanmasını teknolojik, ekonomik ve sosyolojik açıdan uygulanabilir bulmuşlardır. Araştırmalarında, adaya kurulacak yenilenebilir enerji istasyonunun diğer

alternatiflere göre daha düşük maliyete sahip olacağını ve aynı zamanda CO<sub>2</sub> yayımı ile diğer çevresel etkiler yönünden üstünlüğünü ön plana çıkarmışlardır (Beak ve ark., 2015).

Wang ve arkadaşları, bir yenilenebilir mikro şebekenin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkisini araştırmışlardır. Hong Kong'un Town Adası'ndaki bir mikro şebeke için yapılan değerlendirme sonucunda 12 farklı etki kategorisi ve enerji geri ödeme süresi dikkate alınmıştır. Mikro şebekenin, dizel jeneratör ve şebeke uzatma seçenekleriyle karşılaştırıldığında, 12 etkiden 8'inde en az etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Enerji geri ödeme süresi, mikro şebeke için 9.2 yıl olarak bulunmuş, şebeke uzatımı için bu sürenin 6.4 kat, dizel jeneratör için ise 10.1 kat daha fazla olduğu ortaya konulmuştur (Wang ve ark., 2019).

Sharma ve Mishra 2019 yılında yaptıkları çalışma ile Punjab Teknik Üniversitesi kampüsü için bir hibrit enerji sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmada, biyokütle enerjisi ve güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmış, enerji depolaması için ise bataryalar tercih edilmiştir. HOMER programı aracılığıyla, şebekeden bağımsız ve şebeke ile entegre edilmiş durumlar incelenmiştir. Araştırma, şebeke ile entegre edilmiş sistemlerin uygulanabilir bir çözüm olduğunu belirtmektedir (Sharma, Mishra, 2019).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla tasarlanan hibrit sistemler, karbon emisyonlarının azalmasına katkı sağlasa da, dizel jeneratörlerin yedek enerji sistemi olarak kullanılması karbon salınımına neden olabilir. Ancak, karbonsuz bir çözüm için hidrojen tankı, yakıt hücresi ve batarya sistemleri gibi seçenekler düşünülebilir. Rohani ve arkadaşları tarafından yürütülen bir çalışmada, güney İran'ın Şiraz kentinde elektrik tedarikinde sürekli sıkıntı yaşayan bir köy için güneş panelleri, rüzgar türbinleri, hidrojen tankı, yakıt hücresi ve bataryalar kullanılarak HOMER programıyla en uygun ve ekonomik çözüm analiz edilmiş ve şebekeye bağımlı olmayan bir sistem tasarlanmıştır (Rohani ve ark., 2010).

Khan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, üç elektrikli van ve sekiz elektrikli otobüsü şarj edecek günlük 2,325 kWh yüke sahip şarj ünitesi için bir mikro şebeke tasarlamışlardır. HOMER-Pro yazılımı kullanılarak tasarlanan şebeke FV, RT, BDS ve doğal gaz jeneratöründen oluşmaktadır. Hibrit sistemin tekno-ekonomik analizi Malezya'nın beş farklı bölgesi için gerçekleştirilmiştir. FV, BDS ve doğal gaz jeneratörünün birleşiminden oluşan modelin 1,066,868 \$ NPC değeri ile en ekonomik model olduğu belirlenmiştir (Khan ve ark., 2024).

Alanazi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, elektrikli araçların şarj edilmesine yönelik hibrit enerji sistemlerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmada araçların gündüz, gece ve gün boyu şarj edilmesi şeklinde üç farklı demografik durum ele alınmaktadır. HOMER Pro yazılımı kullanılarak FV, RT ve BSS bileşenlerini içeren hibrit modelin hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız olma durumları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre şebekeden bağımsız ve araçların gündüz şarj edilmesi (demografi-1) durumunda 0.168 \$/kWh LCOE değeri ile en ekonomik modelin elde edildiği ifade edilmiştir (Alanazi ve ark., 2024).

Palanisamy ve Lala yaptıkları çalışmada, 48 elektrikli aracın ve 17 hidrojenli aracın enerji ihtiyacını karşılamak için HOMER Pro yazılımını kullanarak, BGG, RT ve FV bileşenlerinden oluşan bir hibrit sistem tasarlamışlardır. Tasarlanan sistem ile 2,009,492 kWh/yıl elektrik ve 30.199 kg/yıl hidrojen üretileceği belirtilmiştir. Sistemin NPC, LCOE ve birim hidrojen maliyetleri sırasıyla 3.46 milyon \$, 0.493 \$/kWh ve 8.86 \$/kg olarak hesaplanmıştır (Palanisamy ve Lala, 2024).

Demirci ve Öztürk yaptıkları çalışmada, 12 farklı il için FV ve BDS bileşenleri ile entegreli bir araç şarj istasyonunun teknik, ekonomik ve çevresel analizini gerçekleştirmişlerdir. Ekonomik açıdan en iyi sonuç İzmir için elde edilirken, şebekeye enerji satımı ve yenilenebilir enerji oranına göre en iyi

değerler ise sırasıyla Van ve Gaziantep illeri için elde edilmiştir. En az CO<sub>2</sub> salınımı ise Antalya iline ait model ile gerçekleşmiştir (Demirci ve Öztürk, 2023).

Yılmaz ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Batman Üniversitesi Batı Raman kampüsünde elektrikli araç şarj istasyonunu beslemek için şebekeye bağlı FV ve RT'den oluşan bir şebekenin teknik ve ekonomik analizi HOMER Pro yardımıyla gerçekleştirilmiştir. 100 kW gücünde tasarlanan şebekenin kurulum maliyeti 66,500 \$, LCOE değeri ise 0.045 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Toplam enerjinin sadece %1.9 'luk kısmı şebekeden sağlanırken %98.1'lik kısmı ise FV ve RT sistemleri tarafından üretilmiştir. FV'nin üretim oranı %91.2 olurken RT'nin oranı ise %6.87 olarak gerçekleşmiştir (Yılmaz ve ark., 2023).

Yukarıda sunulan çalışmalarda da görüleceği gibi elektrikli araçların enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan hibrit mikro şebekelerin tasarımı üzerine çok sayıda çalışmalar yapılmaktadır. Ancak bu çalışmalarda genellikle çok az sayıda araç için nispeten daha düşük güçlü sistemlerin tasarımı gerçekleştirilirken bu çalışmada yaklaşık 1000 aracın enerji talebini karşılayabilecek günlük 180 MWh enerji üretebilecek bir mikro şebeke tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile öne çıkan ve vurgulanan hususlar şöyle sıralanabilir;

- Şehir içi taşımacılıkta EA'lara geçişin önemi vurgulanmıştır.

- İlgili kurum ve kuruluşlardan alınan bilgilere göre Diyarbakır ilinde şehir içi taşımacılıkta kamu ve özel sektöre bağlı toplam 280 otobüs ve 653 minibüs kullanılmaktadır. Otobüslerin 130 tanesi ve minibüslerin tamamı dizel yakıt kullanırken 150 otobüs ise sıkılaştırılmış doğal gaz (CNG) kullanmaktadır. Bu araçların saldıdığı CO<sub>2</sub> emisyonunu minimize etmek için şehir içi taşımacılığın tamamen EA'lar ile yapılması planlanmış ve araçların ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisini üretmek için FV ve RT bileşenli şebeke bağlantılı bir mikro şebeke modeli tasarlanmıştır.

- HOMER Pro yazılımı yardımıyla tasarlanan modelin teknik, ekonomik ve çevresel analizleri yapılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Diyarbakır ilinde şehir içi taşımacılıkta kullanılan ve fosil yakıt tüketen 280 otobüs ile 653 minibüsün yerine teknik ve kapasite özellikleri benzer olan ancak fosil yakıt yerine elektrik ile çalışan araçların kullanılması durumu ele alınmıştır. Bu değişimin gerçekleştirilebilmesi için ilk önce bu araçların enerji ihtiyacını sağlamak üzere yenilenebilir enerji tabanlı bir mikro şebeke HOMER Pro ile tasarlanmıştır. Söz konusu yazılım yardımıyla farklı senaryolar için teknik ve ekonomik analizler gerçekleştirilerek en ekonomik ve çevre dostu çözüm elde edilmiştir. HOMER Pro, ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilmiş ve dünya çapında yaygın olarak kullanılan bir enerji sistemleri modelleme yazılımıdır. HOMER Pro, şebekeden bağımsız veya şebekeye bağlı güç üretim sistemlerinin tasarımını gerçekleştirmeğe olanak sağlayan ve fotovoltaik (FV) paneller, rüzgâr türbinleri (RT), yakıt hücreleri (FC), hidroelektrik santraller, biyokütle güç kaynakları, rejeneratif jeneratörler ile batarya depolama sistemleri (BSS) ve hidrojen tankları gibi enerji depolama ünitelerini ve yükleri birlikte modelleme yeteneğine sahip bir yazılımdır (Jahangiri, 2020).

## Yük Profili

Diyarbakır İlinin şehir içi taşımacılık sektöründe, 130'u otobüs 653'ü minibüs olmak üzere toplam 783 dizel araç ve 150 CNG ile çalışan otobüs kullanılmaktadır. Şehir içi hatların güzergâh uzunlukları farklı olmakla beraber kısa mesafeli hatlarda çalışan araçlar gün içerisinde daha çok sefer yaparken uzun mesafeli hatlarda çalışan araçlar ise daha az sefer yapmaktadırlar. Bu nedenle yaklaşık bir hesaplama için her bir aracın günde ortalama 275 km yol kat ettiği kabul edilmiştir. Şehir içi yolcu taşımacılığında



mevcutta kullanılan araçlara ait bilgiler Çizelge 2’de gösterilmiştir. Mevcut araçların saldıdığı emisyonlar sonucu meydana gelen olumsuz çevresel etkileri en aza indirmek için bu çalışmada şehir içi taşımacılıkta kullanılması önerilen EA’ların teknik özellikleri ise Çizelge 3’te sunulmuştur.

**Çizelge 2.** Diyarbakır ili şehir içi yolcu taşımacılığında mevcutta kullanılan araçların bilgileri

	Minibüs	Belediye Otobüsü	
Araç sayısı	653	130	150
Yakıt cinsi	Dizel	Dizel	Doğal Gaz
100 km’de yaktığı yakıt	15 (lt)	27 (lt)	50 (m <sup>3</sup> )
Günlük ortalama kat edilen mesafe (km)	275	275	275
Toplam yolcu sayısı	22	89	89

**Çizelge 3.** Diyarbakır ili şehir içi yolcu taşımacılığında kullanılması önerilen EA’ların bilgileri

	Marka / Model	Motor gücü (kWh)	Menzil (km)	Yolcu Kapasitesi	Batarya (kWh)
Minibüs	Karsan e-Jest (Karsan, 2024)	135	210	22	BMW Li-on 360V-88kWh
Otobüs	Karsan e-ATA 12 (Karsan, 2024)	250	450	89	LFP - 449 kWh

Çizelge 3’te görüldüğü gibi otobüslerin batarya değeri 449 kWh olup menzili 450 km’dir. Günlük 275 km yol kat edeceği dikkate alındığında bu araçların günlük enerji ihtiyacı 275 kWh’tir. Minibüslerin ise batarya değeri 88 kWh olup menzili ise 210 km’dir. Benzer şekilde bir gün boyunca toplam 275 km’lik yol gidecekleri göz önüne alındığında bir minibüsün günlük enerji ihtiyacı yaklaşık 115 kWh olarak hesaplanacaktır. Bu bilgiler ışığında 653 adet minibüsün toplam günlük enerji ihtiyacı 75,095 kWh, 280 adet otobüsün ise günlük enerji ihtiyacı 77,000 kWh olacaktır. Bu durumda tüm araçların günlük enerji talebi 152,095 kWh olur. Çizelge 4’te gösterilen bu değerler tasarlanacak şebekenin günlük yük profilini oluşturmada referans alınacaktır.

**Çizelge 4.** Diyarbakır ilinin şehir içi yolcu taşımacılığında kullanılması önerilen EA’ların günlük enerji ihtiyacı

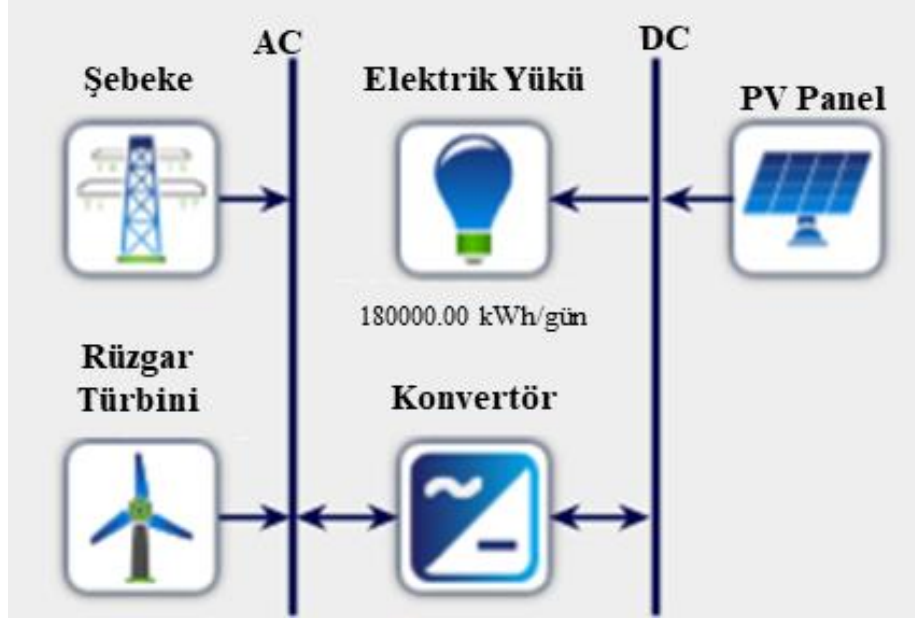
	Minibüs	Otobüs
Günlük kat edeceği yol (km)	275	275
Günlük şarj için gereken enerji (kWh)	115	275
Araç sayısı	653	280
Her bir araç grubu için gereken günlük enerji (kWh)	75.095	77.000
Tüm araçlar için gereken günlük enerji (kWh)	152.095	

### Mikro Şebeke Tasarımı

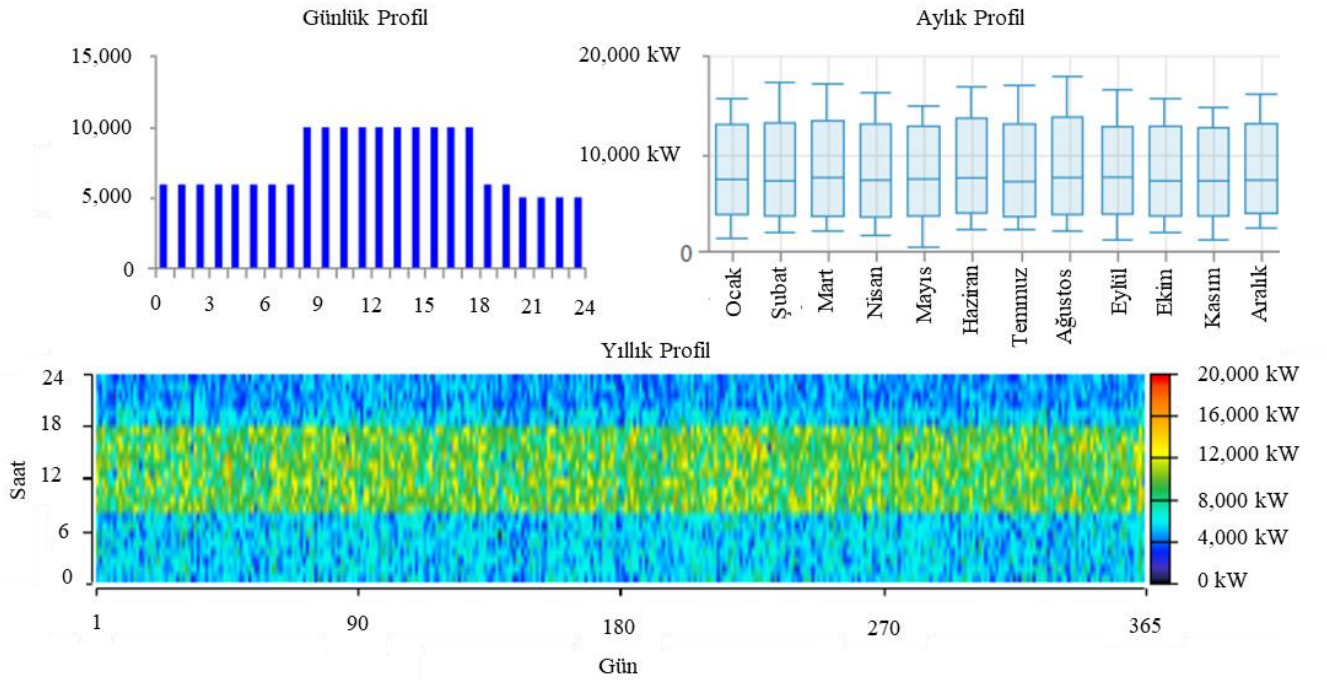
Çizelge 4’te görüldüğü gibi Diyarbakır ilinde şehir içi yolcu taşımacılığının mevcut dizel ve CNG’li araçlar yerine EA’lar ile gerçekleştirilmesi durumunda, üretici firmanın verdiği değerlere göre bu araçların günlük enerji ihtiyacı 152,095 kWh olacaktır. Ancak kataloglardaki enerji tüketim değerleri her zaman için test koşullarında elde edilen değerler olup gerçek koşullarda kullanırken tüketilen değerlerin bir miktar altında kalmaktadır. Ayrıca zamanla gerek araç sayısında meydana gelecek artışlar gerekse de yeni yerleşim alanlarının ortaya çıkması sonucu tesis edilecek yeni hatlar dikkate alınarak tasarlanan şebekenin gücü belirli oranda daha büyük tasarlanmalıdır. Bu nedenle tasarlanan mikro şebekenin günlük yük profili 180,000 kWh olarak belirlenmiştir.

280 elektrikli otobüs ve 653 elektrikli minibüsün ihtiyaç duyacağı elektrik enerjisini üretecek mikro şebeke HOMER Pro’da tasarlanmıştır (Şekil 1). Toplam 933 aracın yük profili ise Şekil 2’de gösterilmektedir. HOMER Pro yazılımında yük profili oluşturulurken mikro şebekenin üreteceği enerji saatlik değerler olarak girilmiş ve 24 saatte toplamda 180 MWh’i sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Burada, araçların gündüz yoğun çalışmaları nedeniyle şarj ihtiyacının daha fazla ortaya çıkabileceği ve

fotovoltaik (FV) sistemlerden daha fazla yararlanılabileceği göz önüne alınarak, yük profilinde gündüz saatlerine ağırlık verilmiştir.



Şekil 1. Elektrikli araçlar için HOMER Pro'da tasarlanan mikro şebeke modeli



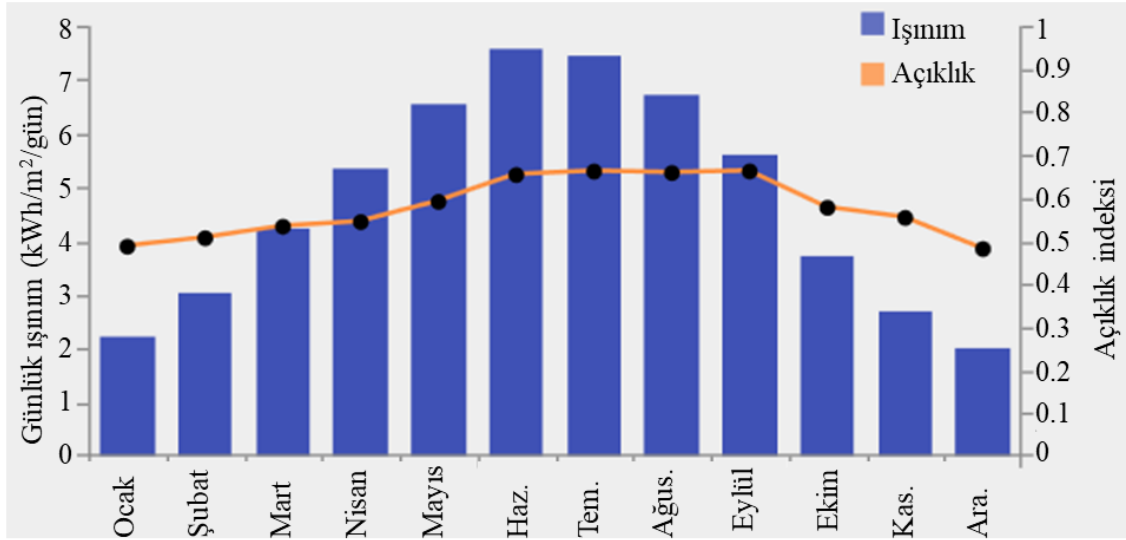
Şekil 2. 933 araç için oluşturulan yük profili

### Bölgenin Meteorolojik Verileri

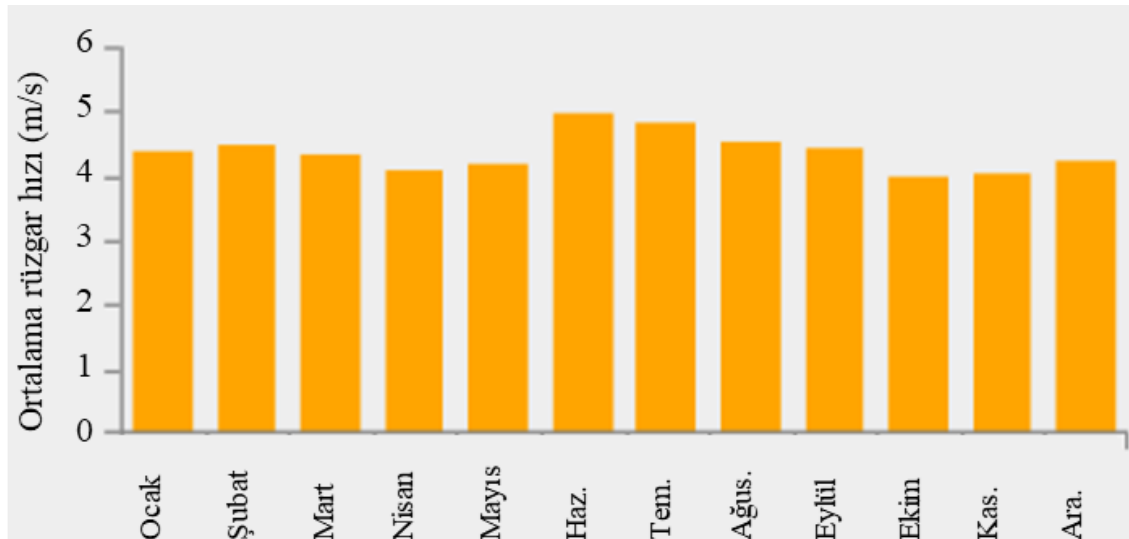
Diyarbakır ilinin meteorolojik verileri HOMER Pro yazılımına entegre edilmiş NASA verilerinden elde edilmiştir. Aylık açıklık indeksi, günlük ortalama ışınım ve aylık ortalama rüzgâr değerleri Çizelge 5'te sunulurken grafiksel gösterimi ise Şekil 3'te verilmiştir. Aylık rüzgâr grafiği ise Şekil 4'te sunulmuştur.

Çizelge 5. Diyarbakır ilinin güneş, açıklık indeksi ve ortalama rüzgâr değerleri

	Açıklık indeksi	Günlük ışımm (kWh/m <sup>2</sup> /gün)	Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)
Ocak	0.487	2.40	4.40
Şubat	0.507	3.04	4.47
Mart	0.534	4.24	4.32
Nisan	0.545	5.35	4.09
Mayıs	0.591	6.56	4.18
Haziran	0.654	7.57	4.99
Temmuz	0.662	7.46	4.81
Ağustos	0.658	6.70	5.52
Eylül	0.662	5.59	4.42
Ekim	0.578	3.73	4.00
Kasım	0.554	2.69	4.02
Aralık	0.482	2.01	4.21



Şekil 3. Diyarbakır iline ait aylık güneş radyasyonu ve açıklık indeksi grafiği



Şekil 4. Diyarbakır iline ait aylık rüzgâr hızı grafiği



## Sistem Bileşenlerinin Matematiksel Modelleri

Çizelge 6. Eşitliklerdeki parametreler ve anlamları

Parametre	Anlamı
$y_{FV}$	FV dizisinin nominal kapasitesi (kW)
$f_{FV}$	Değer kaybı faktörü (%)
$G_T$	FV'deki anlık ışınım miktarı (kWh/m <sup>2</sup> )
$G_{T,STC}$	Standart test koşulundaki ışınım miktarı (kWh/m <sup>2</sup> )
$T_C$	Anlık hücre sıcaklığı (°C)
$T_{C,STC}$	Standart test koşullarındaki hücre sıcaklığı (°C)
$\alpha_p$	Gücün sıcaklık katsayısı (%/°C)
$T_a$	Ortam sıcaklığı (°C)
$T_{C,NOCT}$	Nominal çalışma hücre sıcaklığı (°C)
$T_{a,NOCT}$	Nominal çalışma hücre sıcaklığındaki ortam sıcaklığı (20 °C)
$G_{T,NOCT}$	Nominal çalışma hücre sıcaklığındaki ışınım değeridir (0.8 kW/m <sup>2</sup> )
$\eta_{mp,STC}$	Standart test koşullarındaki maksimum güç noktası verimliliği (%)
$\tau$	Solar geçirgenlik (%)
$\alpha$	FV dizisinin solar absorpsiyonu (%)
$U_{hub}$	Türbin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)
$U_{anem}$	Anemometre yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)
$Z_{hub}$	Gövde yüksekliği (m)
$Z_{anem}$	Anemometre yüksekliği (m)
$Z_0$	Yüzey pürüzsüzlük uzunluğu (m)
$\alpha$	Güç kanunu üssü
$P_{RTG}$	Rüzgâr türbinin çıkış gücü (kW)
$P_{RTG,STP}$	Standart sıcaklık ve basınç altındaki türbin çıkış gücü (kW)
$\rho$	Gerçek hava yoğunluğunu (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_0$	Standart sıcaklık ve basınç altındaki hava yoğunluğu (1.225 kg/m <sup>3</sup> )

HOMER Pro fotovoltaik dizinin güç çıkışını Eşitlik 1'e göre, FV hücre sıcaklığını ise Eşitlik 2'ye göre hesaplamaktadır. Eşitliklerdeki parametreler ve anlamları Çizelge 6'da sunulmuştur.

$$P_{FV} = y_{FV} * f_{FV} * \frac{G_T}{G_{T,STC}} * [1 + \alpha_p * (T_C - T_{C,STC})] \quad (1)$$

$$T_C = \frac{T_a + (T_{C,NOCT} - T_{a,NOCT}) \left[ \frac{G_T}{G_{T,NOCT}} \right] \left[ 1 - \frac{\eta_{mp,STC} (1 - \alpha_p T_{C,STC})}{\tau \alpha} \right]}{1 + (T_{C,NOCT} - T_{a,NOCT}) \left[ \frac{G_T}{G_{T,NOCT}} \right] \left[ \frac{\alpha_p \eta_{mp,STC}}{\tau \alpha} \right]} \quad (2)$$

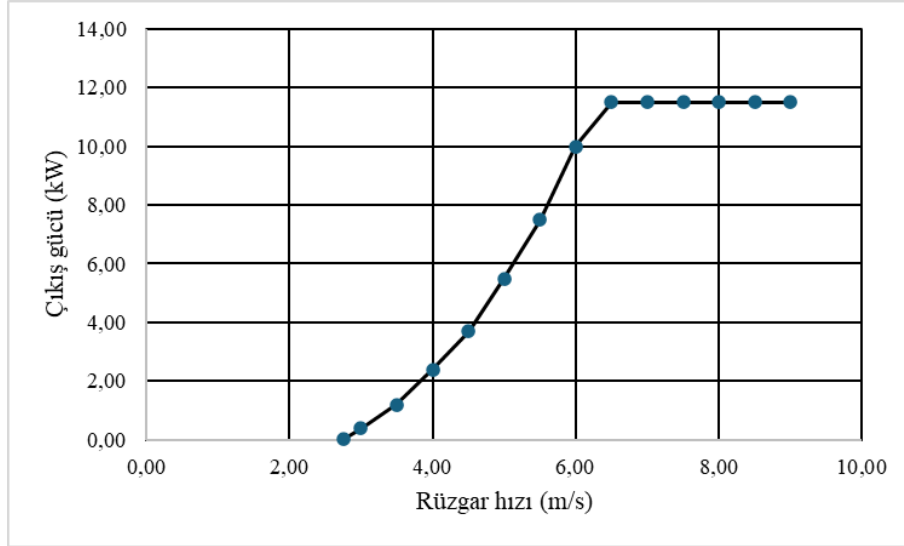
HOMER Pro yazılımında tüm bileşenlerin seçimi için mevcut kataloglar bulunmaktadır. Ancak, kullanıcılar dilerse gerekli teknik bilgileri girerek kendi seçecekleri bir marka veya modeli tercih edebilirler. Bu çalışmada FV paneller olarak HOMER Pro yazılımının kendi kataloğunda yer almayan LXR-410M LXR-M-72C-410W mono kristal panel seçilmiştir.

HOMER Pro rüzgâr türbinin çıkış gücünü ise iki aşamada hesaplar. Birinci aşamada türbinin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızını kullanıcının seçimine bağlı olarak Eşitlik 3 ve 4'e göre hesaplar.

$$U_{hub} = U_{anem} \left( \frac{Z_{hub}}{Z_{anem}} \right)^\alpha \quad (3)$$

$$U_{hub} = U_{anem} \frac{\ln\left(\frac{Z_{hub}}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{anem}}{Z_0}\right)} \quad (4)$$

İkinci aşamada ise türbine ait güç eğrisine bakarak hesaplanan hıza karşılık gelen güç değerini bulur. Bu çalışma için HOMER’de seçilen Eocycle EO10 model rüzgâr türbinine ait rüzgâr hızı-çıkış gücü değerleri Çizelge 7’de, güç eğrisi ise Şekil 5’te sunulmuştur.



Şekil 5. EO10 rüzgâr türbinine ait güç eğrisi

HOMER Pro yazılımında türbin seçimi yaparken öncelikle bulunulan bölgenin ortalama rüzgâr hızı ile türbin güç eğrisine birlikte bakılmalıdır. Çizelge 5’te Diyarbakır iline ait rüzgâr hızının ortalama değeri 4.45 m/s’dir. Çizelge 7’de ise seçilen Eocycle EO10 model türbinin bu rüzgâr hızında yaklaşık 3.7 kW’lık güç üreteceği görülmektedir. Ayrıca bölgenin rüzgâr hızı yılın hiçbir ayında 4 m/s’nin altına düşmediği için bu türbin ile tüm yıl boyunca enerji üretimi mümkün olacaktır.

Çizelge 7. EO10 rüzgâr türbinine ait çıkış gücü değerler

Rüzgâr hızı (m/s)	Çıkış gücü (kW)
2.75	0.02
3	0.4
3.5	1.2
4	2.4
4.5	3.7
5	5.5
5.5	7.5
6	10
6.5	11.5
7	11.5
7.5	11.5
8	11.5
8.5	11.5
9	11.5

Eğrideki değer standart sıcaklık ve basınç koşullarındaki değer olduğundan HOMER Pro gerçek koşullardaki değeri elde etmek için Eşitlik 5’i kullanır.

$$P_{RTG} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) \cdot P_{RTG,STP} \quad (5)$$

### Ekonomik Analiz

Tasarlanan mikro şebekede kullanılan bileşenlere ait birim maliyet değerleri Çizelge 8’de sunulmuştur.

Çizelge 8. Mikro şebeke bileşenlerinin birim maliyet değerleri

Bileşenler	Kurulum Maliyeti (\$/kW)	Yenileme Maliyeti (\$/kW)	Çalışma ve Onarım Maliyeti (\$/kW-yıl)	Yaşam Ömrü (Yıl)
FV (LXR-410M) (enerjiburada.com 2024)	700	700	10	25
RT (EO10) (Xu ve ark., 2023)	29.000	25.000	50	20
Konvertör	300	300	-	15

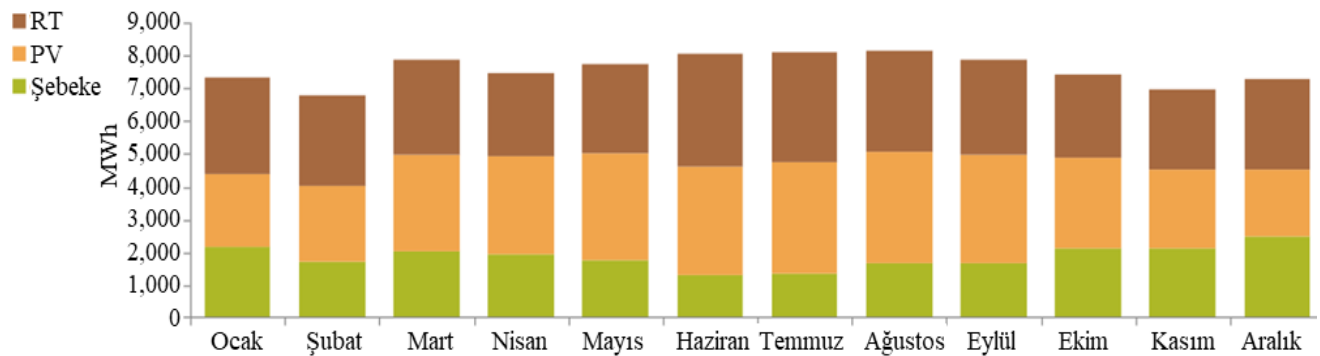
HOMER, bir sistemin Net Bugünkü Maliyetini (NPC) hesaplar, sistem için kullanım ömrü boyunca meydana gelen tüm harcamaların bugünkü değerini, kullanım ömrü boyunca elde edilen tüm gelirlerin bugünkü değerinden çıkararak değerlendirme kriterlerini uygular (Gökçek, Kale, 2018). HOMER, Eşitlik 6'da verildiği gibi önce NPC'yi hesaplayıp ardından bunu sermaye geri kazanım faktörüyle çarparak yıllık maliyeti ( $C_{ann}$ ) hesaplar (HOMER, 2024).

$$C_{ann} = CRF(i, R_{proj}).C_{NPC} \quad (6)$$

Burada  $C_{NPC}$  net bugünkü maliyeti,  $i$  yıllık gerçek iskonto oranını,  $R_{Proj}$  proje ömrünü ifade etmektedir. CRF ise sermaye geri dönüş fonksiyonudur.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada Diyarbakır ili şehir içi taşımacılık yapan ve fosil yakıt tüketen araçların yerine EA'ların kullanılması için yenilenebilir enerji tabanlı bir mikro şebeke HOMER Pro kullanılarak tasarlanmıştır. 180 MW'lık kurulu güce sahip olan mikro şebeke FV ve RT'lerden oluşmaktadır. Ayrıca üretim arzında kesinti yaşanmaması için şebeke bağlantısı sağlanmıştır. Üretim ve tüketim güç değerleri Çizelge 9'da verilmiştir. Grafikselsel gösterim ise Şekil 6'da sunulmuştur.



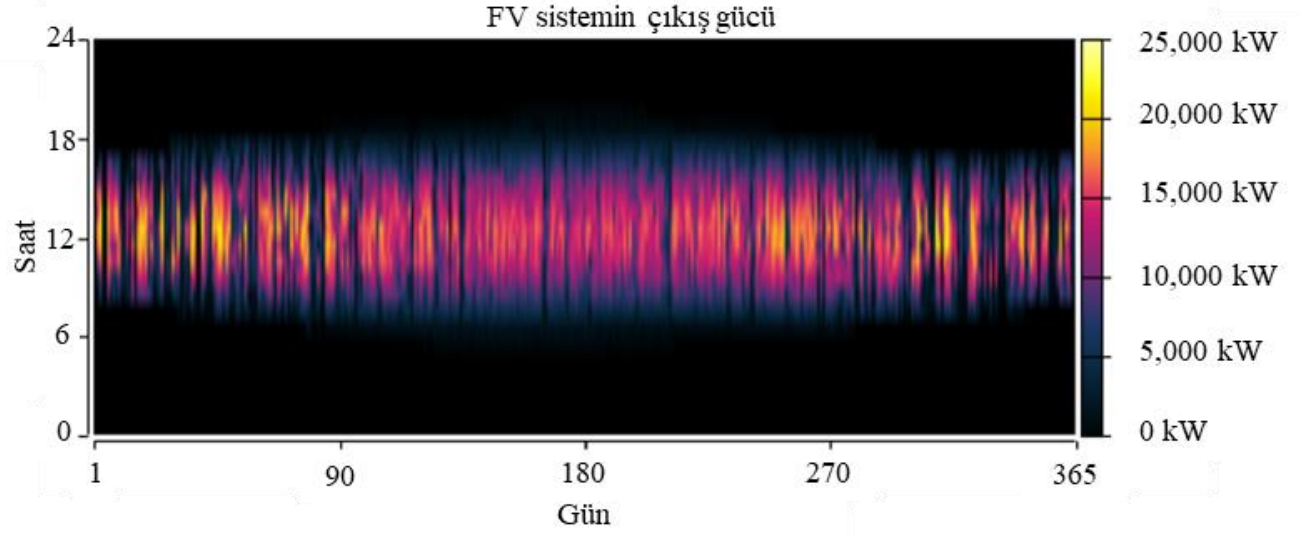
Şekil 6. Tasarlanan şebekenin üretim grafiği

Çizelgede görüldüğü gibi FV ve RT sistemlerinin üretim değerleri hemen hemen birbirine eşit gerçekleşmiştir. Şebekeden alınan enerji miktarı (22 368 947 kWh) ile şebekeye verilen enerji miktarları da (22 953 683 kWh) neredeyse birbirine eşit değerdedir.

Çizelge 9. Tasarlanan şebekenin üretim-tüketim değerleri

Bileşenler	kWh/yıl	%
FV	34 377 830	37.8
RT	34 278 770	37.7
Şebekeden alınan	22 368 947	24.6
Şebekeye verilen	22 953 683	25.2

Tasarlanan sistemin FV kapasitesi 23 000 kW olup yılda 4,386 saat çalışarak toplam 34 377 830 kWh enerji üretmiştir (Çizelge 10). FV sistemin çıkış gücü değişimi Şekil 7’de gösterilmiştir.

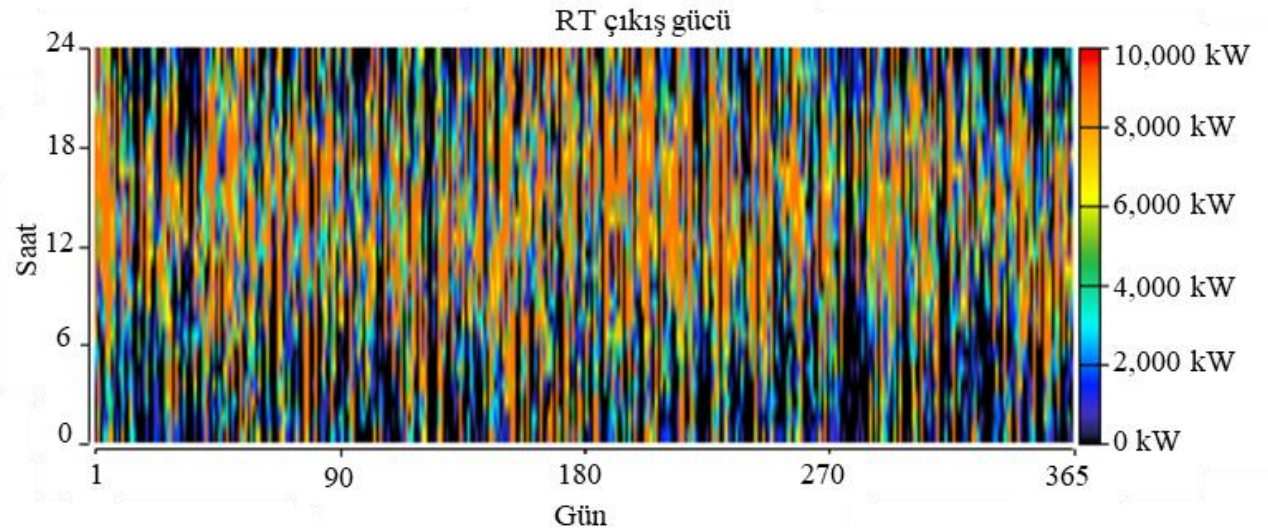


Şekil 7. FV sistemin güç üretim eğrisi

Çizelge 10. FV sistemin değerleri

Bileşenler	Değer	Birim
Nominal kapasite	23 000	kW
Ortalama çıkış gücü	3 924	kW
Minimum çıkış gücü	0	kW
Maksimum çıkış gücü	21,973	kW
Çalışma süresi	4 386	Saat/yıl
Toplam üretim miktarı	34 377 830	kW/yıl
Kapasite faktörü	17.1	%

RT sistemin kurulu gücü 8000 kW olup yılda toplam 6 665 saate 64 278 770 kWh enerji üretmiştir (Çizelge 11). Çıkış gücü değişimi Şekil 8’de gösterilmiştir.

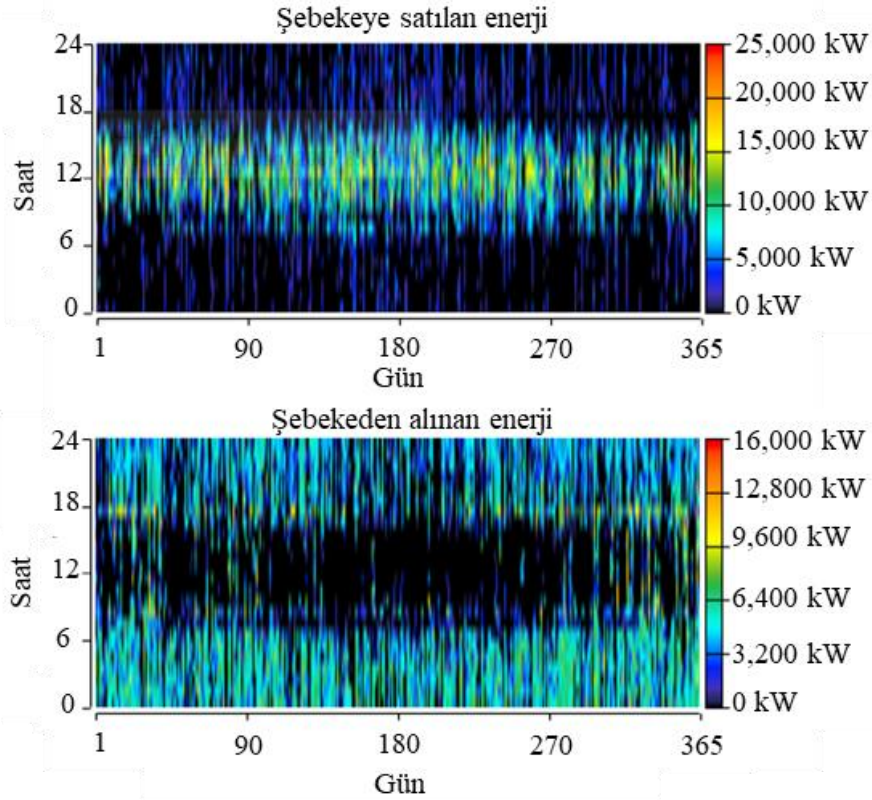


Şekil 8. RT sistemin güç üretim eğrisi

Çizelge 11. RT sistemin değerleri

Bileşenler	Değer	Birim
Nominal kapasite	8 000	kW
Ortalama çıkış gücü	3 913	kW
Minimum çıkış gücü	0	kW
Maksimum çıkış gücü	9 200	kW
Çalışma süresi	6 665	Saat/yıl
Toplam üretim miktarı	34 278 770	kW/yıl
Kapasite faktörü	48.9	%

Aylık bazda şebekeden alınan ve şebekeye satılan enerji miktarları Çizelge 12’de verilmiştir. Grafikselsel gösterim ise Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 9. Şebekeden alınan ve şebekeye satılan enerjinin grafikselsel gösterimi

Çizelge 12. Aylık bazda şebekeden alınan ve şebekeye satılan enerji değerleri

Aylar	Şebekeden alınan (kWh)	Şebekeye satılan (kWh)	Net (kWh)
Ocak	2 190 097	1 589 939	600 158
Şubat	1 716 437	1 699 557	16 880
Mart	2 037 757	1 911 619	126 138
Nisan	1 944 132	1 848 868	95 264
Mayıs	1 760 307	2 110 668	-350 361
Haziran	1 294 158	2 383 658	-1 089 500
Temmuz	1 340 602	2 424 358	-1 083 756
Ağustos	1 690 720	2 176 992	-486 272
Eylül	1 665 160	2 194 050	-528 890
Ekim	2 139 638	1 671 786	467 852
Kasım	2 107 169	1 465 697	641 472
Aralık	2 482 769	1 476 490	1 006 279
Yıllık Toplam	22 368 947	22 953 683	-584 736



Çizelgede görüldüğü gibi Mayıs-Eylül aylarında yani güneşlenme sürelerinin yüksek olduğu zamanlarda şebekeye verilen enerji miktarı alınandan daha fazladır. Gün içerisinde ise yine FV panellerin üretimde olduğu gündüz saatlerinde şebekeye enerji verilirken akşam ve gece vakitlerinde şebekeden enerji alınmıştır. Yıllık toplam değerlere bakıldığında şebekeye verilen enerji miktarı 584 736 kWh fazladır. Türkiye’de yürürlükte olan mevzuat gereği, şebekeye bağlı üretim sistemlerinde önce sistemin şebekeye verdiği enerji değerinde şebekeden çekilen enerji değeri çıkarılır. Kalan miktarın yürürlükteki değer üzerinden ödemesi yapılır. Türkiye’de 1 MWh enerji için üretim santrallerine ödenen miktar ortalama 70.32 \$’dır (EPIAŞ, 2024). HOMER Pro’da şebeke parametreleri girilirken alış ve satış fiyatı olarak 0.7032 \$/kWh girilmiştir.

Çalışma ömrü 25 yıl olarak tasarlanan sistemin maliyet tablosu Çizelge 13’te verilmiştir. Maliyet analizi sonucu sistemin NPC değeri 47 775 930.46 \$, kurulum maliyeti 43 691 887.50 \$, yenileme maliyeti 34 650 886.68 \$ ve bakım-onarım maliyeti 4 519 849.71 \$ olarak hesaplanmıştır. Sistemin geri dönüşüm maliyeti 26 046 994 \$ olup yakıt maliyeti bulunmamaktadır. LCOE değeri ise 0.01683 \$/kWh olarak elde edilmiştir.

**Çizelge 13.** Sistemin maliyet tablosu

Bileşenler	FV (LR6-72)	RT (Eocycle EO10)	Şebeke	Konverter	Sistem
Kurulum maliyeti (\$)	16 100 000	23 200 000	0.00	4 391 887.50	43 691 887.50
Yenileme maliyeti (\$)	0.00	28 867 461.09	0.00	5 783 425.59	34 650 886.68
Bakım-onarım maliyeti (\$)	7 363 072.44	1 280 534.34	13 163 456.48	0.00	4 519 849.71
Yakıt (\$)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Geri dönüşüm maliyeti (\$)	0.00	23 730 915.93	0.00	2 316 078.07	26 046 994.00
Total (\$)	23 463 072.44	29 617 079.49	13 163 456.48	7 859 235.02	47 775 930.46

Şehir içi yolcu taşımada kullanılan mevcut dizel araçların yakıt tüketim değerleri Çizelge 14’te gösterilmiştir.

**Çizelge 14.** Diyarbakır ili şehir içi yolcu taşımacılığında mevcutta kullanılan araçların yakıt tüketim

	Minibüs	Belediye Otobüsü
Araç sayısı	653	130
Yakıt cinsi	Dizel	Dizel
Birim yakıt bedeli (\$) (petrolofisi.com)	1.4	1.4
Günlük ortalama kat edilen mesafe (km)	275	275
Bir aracın 100 km’de tükettiği yakıt	15 (lt)	27 (lt)
Bir aracın günlük tükettiği yakıt	41.25 (lt)	74.25 (lt)
Bir aracın aylık (28 gün) tükettiği yakıt	1.155 (lt)	2.079 (lt)
Bir aracın yıllık tükettiği yakıt	13.860 (lt)	24.948 (lt)
Tüm araçların yıllık tükettiği toplam yakıt	9 050 580 (lt)	3 243 240 (lt)
Toplam yıllık yakıt bedeli (\$)	12.670.812	4.540.536

Çizelgede görüldüğü gibi Diyarbakır şehir içi yolcu taşımacılığında kullanılan araçların ayda 28 gün çalışmaları kabul edilmiş ve bu durumda sektördeki tüm araçların bir yıl boyunca toplam 12 293 820 litre dizel ve 6 930 000 m<sup>3</sup> doğal gaz tükettiği hesaplanmıştır. Türkiye’de dizel yakıtın bedeli yaklaşık 1.4 \$/lt, doğal gazın ise 1.1 \$/m<sup>3</sup> olduğu dikkate alınarak yapılan maliyet hesabında, bir yılda toplam 24 834 348 \$ yakıt harcaması gerçekleşmektedir. Tasarlanan şebekenin 25 yıl boyunca toplam NPC değerinin 47 775 930.46 \$ olduğu göz önüne alınırsa, yakıt bedelinin çok kısa sürede sistemin tüm maliyetini karşılayacağı anlaşılmaktadır.

Ekonomik analizin yanı sıra çevresel etki analizi için CO<sub>2</sub> salınımı hesaplanmıştır. Bir litre dizel yakıt tüketildiğinde 2.56 kg CO<sub>2</sub> açığa çıkarken 1 m<sup>3</sup> doğalgazın yakılması durumunda ise 2.03 kg CO<sub>2</sub> ortaya çıkmaktadır (Li ve ark., 2018). Bu oranlar dikkate alındığında şehir içi taşımacılık yapan tüm araçların CO<sub>2</sub> emisyon miktarları Çizelge 15’te sunulmuştur.

**Çizelge 15.** Diyarbakır ili şehir içi yolcu taşımacılığında mevcutta kullanılan araçların CO<sub>2</sub> emisyon değerleri

	Minibüs	Belediye Otobüsü	
Araç sayısı	653	130	150
Yakıt cinsi	Dizel	Dizel	Doğal Gaz
Yakıtın birim CO <sub>2</sub> emisyon değeri	2.56 (kg/lt)	2.56 (kg/lt)	2.03 (kg/ m <sup>3</sup> )
Araçların yıllık tükettiği toplam yakıt	9 050 580 (lt)	3 243 240 (lt)	6 930 000 (m <sup>3</sup> )
Araçların yıllık CO <sub>2</sub> emisyon değeri (kg)	23 169 484.80	8 302 694.40	14 067 900
Toplam CO <sub>2</sub> emisyon değeri (kg/yr)	45 540 079.2		

Önerilen sistemdeki üretim kaynaklarının CO<sub>2</sub> emisyonu sıfır olmasına rağmen şebeke nedeniyle modelin toplam CO<sub>2</sub> emisyon değeri 14,137,174 kg/yr olarak hesaplanmıştır. Bu değer mevcut araçların saldıdığı emisyon değerinin üçte birinden daha azdır. Sera gazı etkisi göz önüne alındığında, CO<sub>2</sub> emisyon değerindeki bu azalış çevresel açıdan oldukça önemlidir.

## SONUÇ

Şehir içi yolcu taşımacılığı sektörü hayati bir öneme sahip olmakla beraber kullanılan fosil yakıtlar nedeniyle çevreye zarar veren sektörlerden biridir. Kırsal nüfusun azalıp şehir nüfuslarının artmasına bağlı olarak dünyada ve ülkemizde toplu taşıma araçlarının sayısı ve çeşitliliği artmaktadır. Bunun sonucu olarak sera gazı etkisine sahip CO<sub>2</sub> emisyon değeri hızla yükselmektedir.

Bu çalışmada 1.8 milyonu aşan bir nüfusa sahip olan Türkiye'nin büyük şehirlerinden Diyarbakır ilindeki şehir içi yolcu taşımacılığında kullanılan araçların elektrikli araçlara dönüştürülmesi süreci ele alınmıştır. Fosil yakıt kullanan mevcut 653 adet minibüs ile 280 adet otobüsün tamamının EA'lara çevrilmesi durumunda bu araçların enerji ihtiyacını karşılayacak bir mikro şebeke tasarlanmış ve şebekenin teknik, ekonomik ve çevresel etkileri analiz edilmiştir. Tasarlanan şebekenin NPC değeri 47.77 milyon \$, LCOE değeri ise 0.01683 \$/kWh olarak elde edilmiştir. Mevcut araçların yıllık yakıt gideri 24.83 milyon \$ olarak hesaplanmıştır. Bir yıllık yakıt bedeli ile tasarlanan sistemin 25 yıllık toplam maliyetini ifade eden NPC değeri karşılaştırıldığında önerilen modelin ne kadar ekonomik olduğu görülmektedir. Ayrıca mevcut araçların yıllık CO<sub>2</sub> emisyon miktarı 45,540 ton/yıl iken önerilen sistemin yıllık emisyon miktarı bu değerden üçte birinden azdır. Tüm bu değerler mevcut şehir içi taşımada kullanılan araçların bir an önce EA'lara dönüştürülmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu makale ile; çevresel ve ekonomik açıdan şehir içi taşımacılıkta EA'lara geçişin önemi ve gerekliliği ortaya konulmuştur. Literatürdeki çalışmalar genellikle birkaç araca hizmet veren şarj istasyonları için mikro şebeke modellerine odaklanırken, bu çalışmada yaklaşık 1000 aracın şarjını sağlayacak kapasitede bir mikro şebeke modeli geliştirilmiştir. Bu büyüklükteki bir mikro şebekenin ekonomik ve çevresel avantajlarının gösterilmesi, bu tür sistemlerin kurulması ve uygulanması için yerel yönetimleri teşvik edecek ve cesaretlendirecektir.

## Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

## KAYNAKLAR

Alanazi, A., Jan, S. T., Alanazi, M., & Khan, Z. (2024). Analysis of hybrid energy systems for electric vehicle charging of different demographics. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1-26.

- Baek, S., Kim, H., & Chang, H. J. (2015). Optimal hybrid renewable power system for an emerging island of South Korea: The case of Yeongjong Island. *Sustainability*, 7(10), 13985-14001.
- DEMİRCİ, A., & ÖZTÜRK, Z. (2023). Farklı İklim Özelliklerine Sahip Fotovoltaik Panel ve Enerji Depolama Entegreli Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Teknik, Ekonomik ve Çevresel Optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(4), 1913-1929.
- Diler, A. (2006). Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde, Doğal Gaz Kullanımının Karbon Dioksit Emisyonlarına Etkileri. *Fen Bilimleri Enstitüsü*, enerjiburada.com. (2024). <https://www.enerjiburada.com/monokristal-gunes-paneli-cesitleri-ve-fiyatlari/lexron-410w-watt-monokristal-gunes-paneli-72-cell-lxr-410m-lxr-m-72c-410w-183927333>
- EPİAŞ. (2024). Piyasa Takas Fiyatı. Retrieved from <https://seffaflik.epias.com.tr/electricity/electricity-markets/day-ahead-market-dam/market-clearing-price-mcp>
- Gökçek, M., & Kale, C. (2018). Techno-economical evaluation of a hydrogen refuelling station powered by Wind-PV hybrid power system: A case study for İzmir-Çeşme. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(23), 10615-10625.
- HOMER. (2024). HOMERHelpManual. Retrieved from <https://homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf.%20Accesed%20on%20February%2021.2024>
- IEA. (2023). WorldEnergyOutlook. Retrieved from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf>
- Islam, M. S., Akhter, R., & Rahman, M. A. (2018). A thorough investigation on hybrid application of biomass gasifier and PV resources to meet energy needs for a northern rural off-grid region of Bangladesh: A potential solution to replicate in rural off-grid areas or not? *Energy*, 145, 338-355.
- Jahangiri, M., Haghani, A., Heidarian, S., Mostafaeipour, A., Raiesi, H. A., & Alidadi Shamsabadi, A. (2020). Sensitivity analysis of using solar cells in regional electricity power supply of off-grid power systems in Iran. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(6), 1849-1866.
- KARSAN. (2024). E-ata 12 - teknik özellikler. Retrieved from <https://www.karsan.com/tr/teknik-ozellikler-e-ata-12>
- KARSAN. (2024). E-jest - teknik özellikler. Retrieved from <https://www.karsan.com/tr/e-jest-teknik-ozellikler>
- Khan, F. A., Mekhilef, S., Ramachandaramurthy, V. K., Abd Aziz, N. F., Pal, N., Yaseen, A., Yadav, A., Asim, M., & Alshammari, O. (2024). Design and Development of Grid Independent Integrated Energy System for Electric Vehicle Charging Stations at Different Locations in Malaysia. *Energy*, 131686.
- Li, P., Zhao, P., & Brand, C. (2018). Future energy use and CO2 emissions of urban passenger transport in China: A travel behavior and urban form based approach. *Applied energy*, 211, 820-842.
- Muslu, (2000). *Ekoloji ve Çevre Sorunları*. İstanbul: Aktif Yayınevi
- NCEI (2021). Annual 2021 Global Climate Report. Retrieved from <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202113>
- Odetoye, O., Olulope, P., Olanrewaju, O., Alimi, A., & Igbinosa, O. (2023). Multi-year techno-economic assessment of proposed zero-emission hybrid community microgrid in Nigeria using HOMER. *Heliyon*, 9(9).

- Rohani, A., Mazlumi, K., & Kord, H. (2010). Modeling of a hybrid power system for economic analysis and environmental impact in HOMER. Paper presented at the 2010 18th Iranian Conference on Electrical Engineering.
- Sharma, H., & Mishra, S. (2019). Hybrid optimization model for smart grid distributed generation using Homer. Paper presented at the 2019 3rd International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE).
- Palanisamy, S., & Lala, H. (2024). Optimal Sizing of Renewable Energy Powered Hydrogen and Electric Vehicle Charging Station (HEVCS). IEEE Access.
- petrolofisi.com. (2024). <https://www.petrolofisi.com.tr/akaryakit-fiyatlari>
- <https://solaravm.com/huawei-15-kw-inverter-sun2000-15ktl-m2-trifaze> (Erişim tarihi: 23.02.2024)
- Tüik. (2023). Ulaştırma türüne göre seragazi emisyonu (kiloton co2 eşdeğeri). Retrieved from <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-turune-gore-seragazi-emisyonu-i-85790aa>
- Xu, A.; Awalın, L.J.; Al-Khaykan, A.; Fard, H.F.; Alhamrouni, I.; Salem, M. Techno-Economic and Environmental Study of Optimum Hybrid Renewable Systems, including PV/Wind/Gen/Battery, with Various Components to Find the Best Renewable Combination for Ponorogo Regency, East Java, Indonesia. Sustainability 2023, 15, 1802. <https://doi.org/10.3390/su15031802>
- Yılmaz, M. S., Tur, M. R., & Özhan, D. Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak Şarj İstasyonu Enerji İhtiyacının Karşılınması: Teknik ve Ekonomik Analizi. Journal of Science, Technology and Engineering Research, 4(2), 100-111.
- Wang, R., Lam, C.-M., Hsu, S.-C., & Chen, J.-H. (2019). Life cycle assessment and energy payback time of a standalone hybrid renewable energy commercial microgrid: A case study of Town Island in Hong Kong. Applied energy, 250, 760-775.