

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

MİKRO ŞEBEKELERDE SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ ENTEGRASYONU VE HOMER GRID OPTİMİZASYONU: ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ ÇÖZÜMLERİYLE VERİMLİLİĞİN ARTIRILMASI SUSTAINABLE ENERGY INTEGRATION IN MICROGRIDS AND HOMER GRID OPTIMIZATION: ENHANCING EFFICIENCY WITH ELECTRIC VEHICLE CHARGING SOLUTIONS

*Dr. Öğr. Üyesi Aykut Fatih Güven,
Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Şaban Türkmen,
Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Faruk Karayığıt
Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*

ÖZET

Fosil yakıtların hızla tükenmesi ve çevreye verdiği zararlar, yenilenebilir enerji kaynaklarına ve elektrikli araçların yaygınlaşmasına geçişi zorunlu kılmaktadır. Bu çalışma, Yalova Üniversitesi Merkez Kampüsü'ndeki binaların ve elektrikli araç şarj istasyonlarının enerji ihtiyaçlarını karşılamak için bir hibrit yenilenebilir enerji sistemi (HRES) tasarlamaktadır. HOMER Grid yazılımı kullanılarak, 8760 saatlik yük verisi, mevsimsel iklim değişkenleri ve şarj istasyonu kapasitelerini içeren simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Senaryo-1, optimal senaryo olarak öne çıkmış olup, 7.74 milyon \$'lık net bugünkü maliyeti, enerji başına 0.288 \$ seviyelendirilmiş maliyeti ve 304,683 \$ işletme ve bakım maliyetleri ile karakterize edilmiştir. Bu senaryo, enerjisinin %73'ünü yenilenebilir kaynaklardan elde etmekte ve 5.7 yıllık geri ödeme süresi öngörmektedir. Hibrit sistem, emisyonları önemli ölçüde azaltmış ve karbon dioksit için yıllık 387,653 kg, kükürt dioksit için 1,681 kg ve azot oksitler için 822 kg azalma sağlamıştır. Bu sonuçlar, üniversite kampüsleri gibi yüksek talep görülen ortamlarda yenilenebilir enerji sistemlerinin uygulanabilirliğini ve çevresel sürdürülebilirliğini göstermektedir.

Keywords: HOMER grid, Hibrit enerji sistemleri, Elektrikli araç şarj istasyonu, Tekno-ekonomik analiz, Enerji optimizasyonu.

ABSTRACT

The rapid depletion of fossil fuels and their environmental impacts necessitate a transition to renewable energy sources and the widespread adoption of electric vehicles. This study designs a hybrid renewable energy system (HRES) to meet the energy needs of buildings and electric vehicle charging stations at Yalova University Central Campus. Using HOMER Grid software, simulations incorporating 8760 hours of load data, seasonal climate variables, and charging station capacities were conducted. Scenario-1 emerged as the optimal scenario, characterized by a net present cost of \$7.74 million, a levelized cost of energy of \$0.288 per kWh, and operation and maintenance costs of \$304,683. This scenario obtains 73% of its energy from renewable sources and has a projected payback period of 5.7 years. The hybrid system significantly reduces emissions, achieving annual reductions of 387,653 kg for carbon dioxide, 1,681 kg for sulfur dioxide, and 822 kg for nitrogen oxides. These results demonstrate the feasibility and environmental sustainability of implementing renewable energy systems in high-demand environments such as university campuses.

Keywords: HOMER Grid, Hybrid Energy Systems, Electric Vehicle Charging Station, Techno-Economic Analysis, Energy Optimization.

GİRİŞ

20. yüzyılda, içten yanmalı motor teknolojilerinin hızlı gelişimi ve karbon bazlı yakıtların yaygın kullanımı, otomobilleri ulaşım sektöründe en popüler araçlar haline getirdi (Leach ve ark. 2020). Ancak bu gelişme, atmosfere zararlı etkilerin artmasına yol açarak çevresel sorunlara neden oldu (Towoju ve Ishola, 2020). Fosil yakıtların doğaya verdiği zararları azaltma çabaları, yenilenebilir enerji teknolojilerine ve elektrikli araçlara yönelik geçişi hızlandırdı (Williams ve Blyth, 2022). Özellikle, elektrik ve elektronik alanlarındaki ilerlemeler, elektrikli araçların zararlı gazlar yaymadan ulaşım sektörüne hızla entegre olmalarını sağladı, çevre dostu ve ekonomik alternatifler sundu. Bu araçlar arasında elektrikli bisikletler, kaykaylar ve scooterlar bulunmaktadır. Küresel nüfusun artmasıyla bu

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

teknolojilerin yaygınlaşması, küresel enerji tüketiminde de önemli artışlara yol açmaktadır (Hung ve Lim, 2019). Yine de, küresel elektrik üretiminin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarını, örneğin rüzgar ve güneşi, elektrik enerjisine dönüştüren yeni uygulamaların gelişimini hızlandırmıştır. 2024 Şubat itibarıyla Türkiye'deki kurulu elektrik gücünün kaynaklara göre dağılımı şöyledir: %29.7 hidroelektrik, %23.3 doğal gaz, %20.3 kömür, %11.1 rüzgar, %11.5 güneş, %1.6 jeotermal ve %2.5 diğer kaynaklardan sağlanmaktadır (Güven ve Yücel, 2023). Yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi bu bağımlılığı azaltabilir ve ulusal ekonomiye önemli katkılarda bulunabilir.

Elektrikli araçların yaygınlaşması, aynı zamanda enerji depolama kapasitesiyle doğrudan ilgili başka bir meydan okumayı da beraberinde getirmiştir. Batarya teknolojilerindeki yavaş ilerleme, araçların menzil kapasitelerini sınırlamakta ve daha fazla şarj istasyonu kurulmasını gerektirmektedir. Bu konuda literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, (Shafiq ve ark. 2023), Pakistan'da yenilenebilir enerji tabanlı bir ağa bağlı şarj istasyonları için teknik ve ekonomik değerlendirmeler yapmış, elektrikli araçların artan kullanımı ve yetersiz şarj olanaklarını ele almışlardır. Önerdikleri sistem, günlük şarj taleplerini karşılarken ağ yükünü ve enerji maliyetlerini azaltacak şekilde optimize edilmiştir. Başka bir çalışmada, Visakhapatnam'daki iş yerleri ve evler için uygun PV sistem kapasiteleri belirlenirken elektrikli araçların fotovoltaiik panellerle şarj edilmesinin uygulanabilirliği araştırılmıştır (Sood ve ark. 2022).

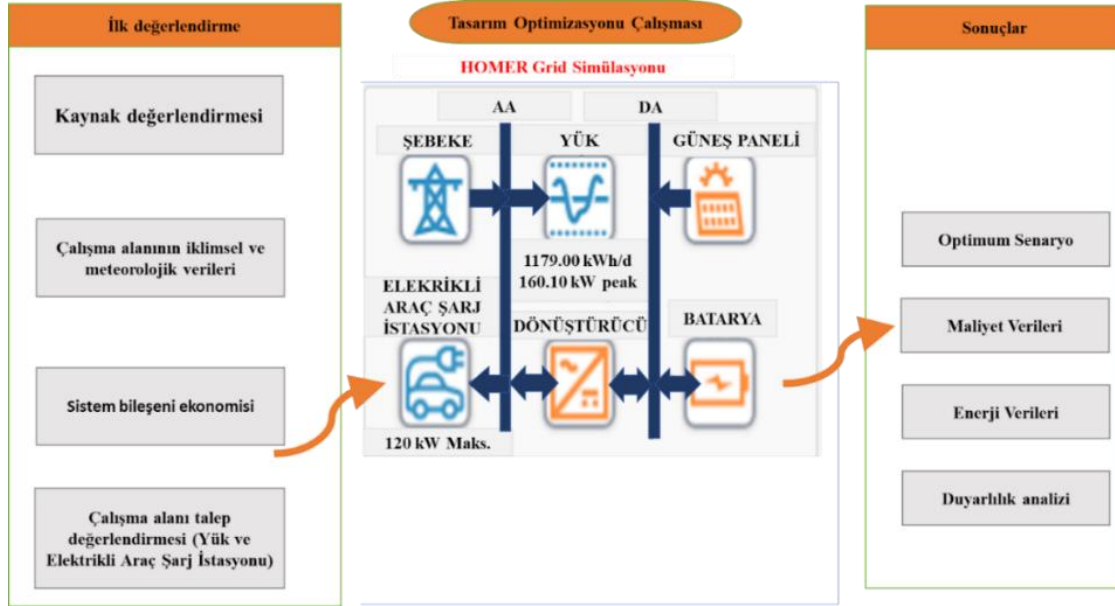
Bu çalışmaların yanı sıra, (Solanki ve ark. 2023) elektrikli araç bataryalarını sürekli şarj etmek için güneş fotovoltaiik dizileri ve batarya enerji depolama sistemlerini kullanmışlardır. Bu sistemler, bataryalar tamamen şarj olduğunda fazla enerjiyi şebekeye geri verebilir veya güneş PV dizisi yeterli güç üretmediğinde enerjiyi şebekeden çekebilir. Bu tasarım, elektrikli araçların güneş enerjisi kullanılarak daha sürdürülebilir bir şekilde şarj edilmesini sağlamaktadır. (Oladigbolu ve ark. 2023) yaptıkları çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu yoluyla elektrikli araç (EV) şarj istasyonları için temiz enerji sağlamayı amaçlayan bağımsız bir sistem üzerinde teknik ve ekonomik analizler içermektedir. Araştırma sonuçları, mevcut şebekeye ek yatırımlar yapmak yerine, optimize edilmiş bağımsız bir EV şarj istasyonu sisteminin daha maliyet etkin, sürdürülebilir ve çevreye duyarlı bir seçenek sunabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, elektrikli araçların enerji altyapılarına entegrasyonu konusundaki karmaşık zorlukları ve bu konuda yapılan çalışmaların geniş kapsamlılığını vurgulamaktadır. Ayrıca, her çalışma yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrikli araç şarj altyapısının bütünleştirilmesine yönelik değerli bilgiler sunarak bu alandaki bilgi birikimine katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmada, farklı Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri (HRES) senaryolarının performansı HOMER Grid programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Dört senaryo, yük talebini karşılamak üzere simüle edilmiş ve her senaryo ekonomik ve çevresel parametreler açısından karşılaştırılmıştır. Simülasyonlar, güneş panelleri, şebeke ve bataryaların entegrasyonunu içeren ve enerji ihtiyaçlarını karşılarken maliyet etkinliği ve çevresel sürdürülebilirlik sağlayan Senaryo 1'i en uygun çözüm olarak belirlemiştir. Diğer senaryolar, dizel jeneratörler, rüzgar türbinleri ve batarya depolama sistemleri gibi çeşitlendirilmiş enerji üretim bileşenlerini içermekte olup, enerji sistemlerinin karmaşıklığını ve gerçek dünya uygulamalarının çeşitliliğini ortaya koymaktadır. Özellikle birinci senaryo, en verimli ve çevre dostu çözüm olarak belirlenmiş, güneş panellerinin şebeke bağlantıları ve batarya depolama sistemleri ile optimize edilmiş kullanımını sağlamaktadır. İkinci senaryo, güneş panellerini ve rüzgar türbinlerini dizel jeneratörler ve bataryalarla birleştirirken, üçüncü senaryo, yenilenebilir enerji kaynaklarının genişletilmiş kullanımını temsil eden şebekeye dizel jeneratörlerin entegrasyonunu içermektedir. Bu kapsamlı analiz, sürdürülebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesi için sağlam bir temel oluşturmakta ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin elektrikli araç şarj altyapısıyla daha ileri entegrasyonu için stratejik bilgiler sağlamaktadır.

MATERYAL ve METOD

Bu çalışma, Yalova Üniversitesi Merkez Kampüsü'ndeki binaların ve elektrikli araç şarj istasyonlarının 2022 yılına ait enerji taleplerinin HOMER Grid programı aracılığıyla teknik ve ekonomik analizlerini içermektedir. Sistem, günlük ortalama 5966.0 kWh yük talebi ile kayıt altına alınmış ve pik yük talebi 1005.91 kW olarak tespit edilmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonunun günlük yük talebi ise 258 kW olarak hesaplanmıştır. Çalışma, iklimsel parametrelerin dikkate alınmasını sağlamak amacıyla, Yalova bölgesine özgü 2022 yılı verilerini kapsamlı bir şekilde kullanmıştır; bunlar arasında sıcaklık, güneş ışınımı ve rüzgar hızı bilgileri Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilmiştir. Analizin odak

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

noktası, kampüs binalarının enerji gereksinimlerini karşılamak ve mevcut fazla enerjiyi şarj istasyonlarındaki kullanım için etkin bir biçimde yönlendirmek olmuştur. Sürecin metodolojik yaklaşımını ve aşamalarını betimleyen Şekil 1, bu bütünlük enerji yönetimi stratejisinin görsel bir özetini sunmaktadır.



Şekil 1. Optimizasyon akış süreci

Fotovoltaik panel

Bir güneş paneli, genellikle silikon gibi yarı iletken malzemelerden yapılmış olan fotovoltaik hücrelerden oluşan bir cihazdır. Bu paneller, güneş ışığını emer ve fotovoltaik hücreler aracılığıyla doğru akım (DA) enerjisine dönüştürür. Tek başına birimler olarak çalışabilirler veya güneş enerjisi sistemlerinin bileşenleri olarak bir araya getirilebilirler (Güven ve ark. 2023). Konut, ticari ve büyük ölçekli güneş enerjisi istasyonlarında elektrik üretimi için kullanılan güneş panelleri, düşük karbon ayak izleri nedeniyle sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. 1 kW güneş paneli sistemi için kurulum ve yenileme maliyetleri yaklaşık olarak 550 \$ olarak tahmin edilmekte, yıllık bakım gideri ise 10 \$ ve tahmini ömrü 25 yıl olarak öngörülmektedir.

PV panelinin güç çıkışı, Denklem (1) ile matematiksel olarak açıklanabilir:

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{G_T}{G_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_f (T_c - T_{c,STC})]$$

Belirtilen Denklem (1)'de, P_{PV} (W) terimi fotovoltaik sistemin mevcut çıkış gücünü ifade eder. Y_{PV} (W), PV sisteminin standart test koşulları (STC) altında standart çıkış gücü olarak tanımlanırken, f_{PV} (%), PV sistemine gerçek dünya koşullarını hesaba katmak için uygulanan ayarlama faktörüdür. G_T (W/m²), herhangi bir anda PV modülünü etkileyen güneş ışımasını temsil eder ve $G_{T,STC}$ (1000 W/m²), PV sistemi üzerindeki güneş ışımasını STC altında, 25°C sıcaklıkta varsayılan ışımasını ifade eder. PV modülünün sıcaklık katsayısı, α_f (%/°C) olarak not edilir ve genellikle %0.3 ile %0.5 arasında değişir, bu da PV çıkışının sıcaklık değişimlerine olan hassasiyetini gösterir. T_c (°C), PV modülünün mevcut sıcaklığını, $T_{c,STC}$ (°C) ise PV modülünün STC altındaki sıcaklığını belirtir ve bu da 25°C olarak ayarlanmıştır (Güven ve Poyraz, 2021).

HOMER yazılımı, PV sisteminin performansı üzerindeki sıcaklık katsayısının [α_f (%/°C)] etkisini göz ardı ettiğinde, alternatif bir hesaplama yöntemi kullanır. Bu yöntem, denklem (2) olarak adlandırılır ve sıcaklığın etkileri az olduğunda veya sıcaklık değişimlerinin kesin etkisi önemli olmadığında süreci basitleştirir (Mussard ve ark. 2023).

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{G_T}{G_{T,STC}} \right) \quad (2)$$

Dizel jeneratör

Bir dizel jeneratör (DG), dizel yakıt kullanarak elektrik enerjisi üreten bir cihazdır. Dizel jeneratörler genellikle elektrik kesintileri sırasında, yerel şebeke erişimi olmayan alanlarda veya geçici enerji ihtiyaçları için kullanılır. Taşınabilir küçük jeneratörlerden büyük endüstriyel ölçekli ünitelere kadar çeşitlilik gösterirler ve genellikle elektrik arzının sürekli olmadığı yerlerde yedek güç kaynağı olarak kullanılırlar (Güven ve Yörükeren, 2022). Ancak, dizel jeneratörlerin yanma süreci nedeniyle zararlı emisyonlar üretebileceği ve dizel yakıt maliyetlerinin dalgalanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Sistemde kullanılan dizel jeneratörün emisyon değerleri şu şekildedir: CO 16.5, yanmamış HC 0.72, partikül madde 0.1 g/L, NOx yakıt başına 15.5. Yakıtın kükürt içeriği %2.2'dir. Dizel yedek jeneratörden çıkan güç, yakıt tüketimine bağlıdır. Jeneratörün yakıt tüketimini modellemek için lineer bir denklem kullanılır.

$$F_{DG} = a_1 P_{DG} + a_0 P_{DGR} \quad (3)$$

Burada, F_{DG} jeneratörün yakıt tüketimidir (l/saat), a_0 yakıt kesme katsayısıdır (l/saat/kW), P_{DGR} jeneratörün kapasitesidir (kW), a_1 yakıt eğrisi eğimidir (l/saat/kW) ve P_{DG} güç çıkışıdır (kW) (Li ve ark. 2022).

Rüzgar Türbini

Bir rüzgar türbini, rüzgar enerjisini mekanik enerjiye ve sonrasında elektrik enerjisine dönüştüren bir cihazdır. Rüzgar tarafından üretilen kinetik enerjiyi kullanarak elektrik üretmek için yaygın olarak kullanılan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Rüzgar türbinleri genellikle, rüzgar çiftlikleri olarak bilinen gruplar halinde kurulur. Bir rüzgar çiftliği, genellikle geniş bir alana enerji sağlamak üzere bir elektrik şebekesine bağlı olarak aynı bölgede yer alan birden fazla türbinden oluşur. Rüzgar enerjisi, temiz, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır (Ion ve Marinescu, 2019). Rüzgar türbinleri, karbon emisyonlarını azaltmada ve enerji bağımsızlığını artırmada önemli bir rol oynar. Sistemde kullanılan 1 kW rüzgar türbini için kurulum ve yenileme maliyetleri 750 \$, yıllık bakım maliyeti 10 \$, ömrü 25 yıl ve türbin yüksekliği 17 metredir.

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p A v^3 \quad (4)$$

Denklem 4, genellikle rüzgar hızı ile bir rüzgar türbininin elektrik çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlar. İlgili parametreler genellikle türbinin süpürme alanını (A), hava yoğunluğunu (ρ) ve rüzgar hızını (v) içerir. Bu faktörler birlikte, belirli bir tasarım ve çevresel koşullara bağlı olarak, bir rüzgar türbininin rüzgar enerjisini ne kadar verimli bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürebileceğini belirler.

Batarya (BT)

Bir BT, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren ve depolayan bir cihazdır. Çeşitli boyutlar ve kapasitelerde, farklı uygulamalar için mevcuttur. Taşınabilir elektronikler, araçlar ve enerji depolama sistemlerini güçlendirmede, şarj ve deşarj döngüleri sırasında kimyasal reaksiyonlardan yararlanarak kritik bir rol oynarlar. Şarj sırasında, elektrik enerjisi BT içindeki kimyasal reaksiyonları başlatarak enerjiyi kimyasal bir formda depolar. Deşarj olurken, depolanan kimyasal enerji tekrar elektrik enerjisine dönüştürülerek çıkış sağlanır. Bataryalar, taşınabilir cihazların işlevselliğini artırır, elektrikli araçlara güç sağlar ve evlerde ve işletmelerde yenilenebilir enerji sistemlerinin verimliliğini artırarak elektrik enerjisinin erişilebilirliğini iyileştirir (Allouhi ve Rehman, 2023).

Bir BT bankasından çıkan güç, Denklem (5) kullanılarak tahmin edilir.

$$P_{out} = I V_{output} = V_0 I - R_0 I^2 \quad (5)$$

Bu formül, BT bankasının iç direncini (R_0) ve nominal voltajını (V_0) dikkate alarak çıkış gücü P_{out} hesaplar ve enerji depolama sistemlerinin performansını değerlendirmek için önemlidir.

BT'nin şarj durumu (SOC), Denklem (6) kullanılarak tahmin edilebilir.

$$SOC(t + \Delta t) = \min\{SOC(t)(1 - \delta) + \eta_{ch}(P_{gen} - P_L)\Delta t, SOC_{max}\} \quad (6)$$

Burada t mevcut zamanı, Δt zaman aralığını, δ kendiliğinden deşarj oranını, η_{ch} BT verimliliğini, P_L güç talebini ve SOC_{max} maksimum izin verilen SOC'yi temsil eder.

Üretilen güç P_{gen} belirlemek için hem PV dizileri hem de DG sistemleri kullanılır:

$$P_{gen} = \begin{cases} \eta_{Inv} P_{PV} & \text{yalnızca pv dizisi} \\ \eta_{Inv} P_{PV} + P_{DG} & \text{PV ve DG sistemleri.} \end{cases} \quad (7)$$

Burada η_{Inv} inverter verimliliğini ifade eder. Bu hesaplama, enerji üretim sistemlerini entegre etmek ve optimize etmek için hayati öneme sahiptir.

Şarj süreci sırasında, BT tarafından kabul edilebilecek güç, şarj akımı sınırlaması $I_{bat,c}^{lim}$ tarafından kısıtlanmıştır. Bu matematiksel olarak denklem (8)'de yer almaktadır.

$$P_{gen} - P_L < P_{bat,c}^{lim} = I_{bat,c}^{lim} \times V_{bat} \quad (8)$$

Burada V_{bat} BT'nin terminal voltajını temsil eder. Bu sınırlamanın uygulanması, BT'nin bütünlüğünü korumak ve kapasitesi ve operasyonel sınırları doğrultusunda giriş enerjisini kısıtlayarak aşırı şarjı önlemek için hayati önem taşır (Rawa ve ark. 2024).

Sistemde kullanılan bataryanın teknik ve ekonomik özellikleri şu şekildedir: Nominal voltajı 48V, maksimum kapasitesi 417 ve nominal kapasitesi 1.2 Amper-saattir. Maksimum şarj ve deşarj akımı 105 A'dır ve çift yönlü verimlilik %75'tir. Bataryanın sermaye maliyeti 10,700 \$, yenileme maliyeti 9,300 \$ ve ömrü 25 yıldır.

Çift yönlü dönüştürücü

İnverter, doğru akımı (DA) alternatif akıma (AA) çeviren bir cihazdır. Birçok elektronik alet ve sistem doğru akım ile çalışmakta iken, evler, iş yerleri ve genel güç altyapıları genellikle alternatif akım kullanır. Bu bağlamda, inverterler DA'den AA'ye enerji dönüşümünde hayati bir role sahiptirler. Küçük ölçekli taşınabilir aletlerden başlayıp, geniş ölçekli güneş veya rüzgar enerjisi sistemlerine kadar geniş bir uygulama yelpazesinde inverter teknolojisinden yararlanılmaktadır. İnverterlerin fonksiyonları ve kullanım alanlarına bağlı olarak çeşitli türleri ve özellikleri mevcuttur. İnverterlerin temel işlevi, DA girişini verimli bir şekilde AA çıkışa dönüştürmektir; bu da enerji verimliliği konusunda kritik bir öneme sahiptir. Bazı inverter modelleri ise voltaj ve frekans ayarları gibi ek fonksiyonlara imkan tanımaktadır. Sistemde kullanılan inverterin kurulum ve yenileme maliyeti 300 \$ olarak belirlenmiş, yıllık bakım maliyeti sıfır \$ olarak hesaplanmış ve kullanım ömrü 15 yıl olarak öngörülmüştür. İnverter kapasitesi, Denklem (9) aracılığıyla belirlenmiştir.

$$P_{inv} = \frac{E_{L,max}}{\eta_{DC/AC}} \quad (9)$$

Denklem (9)'da, P_{inv} (W), güç inverterinin kapasitesini belirtir, $E_{L,max}$ (Wh) yükün zirve enerji talebini ifade eder ve $\eta_{DC/AC}$ ise DC'den AC'ye dönüşümün verimlilik oranını simgeler (Singh ve Kumar, 2023).

Elektrikli araç şarj istasyonu

Elektrikli araç şarj istasyonları, sürdürülebilir ulaşımın önemli bir bileşeni olarak elektrikli araçların bataryalarını şarj etmeyi sağlayan altyapılardır. Bu istasyonlar, enerjiyi elektrikli araçlara aktararak bataryalarını doldurur ve böylece araçların kullanıma hazır hale getirilmesine imkan tanır. Genellikle evdeki standart prizler aracılığıyla gerçekleştirilen şarj işlemleri dışında, halka açık şarj istasyonları daha hızlı ve güvenli bir şarj süreci sunar. Bunlar tipik olarak şehir merkezlerinde, otopark alanlarında, alışveriş merkezlerinin yakınlığında, otoyol kenarlarında ve diğer kolay erişilebilir konumlarda yer almaktadır (Kumar ve ark. 2023).

Şarj istasyonlarının tasarımı, AA ve DA olmak üzere iki ana kategorideki farklı şarj teknolojilerine göre ayrılabilir. AA şarj noktaları daha düşük güç seviyelerinde çalışarak, genellikle ev ve iş yerlerindeki standart prizler aracılığıyla araçları tam olarak şarj etmek için uzun süreler gerektiren temel seviyedeki şarj hizmetini sağlar. DA şarj istasyonlarıysa, yüksek güç çıkışlarıyla araçları çok daha kısa sürede şarj etme kapasitesine sahip olup, bu durum özellikle yolda hızlı şarj ihtiyacı duyulduğunda büyük avantaj sunar (Singh ve Sharma, 2022). Her iki şarj istasyonu tipi de, çeşitli araç modelleriyle uyumluluk sağlamak için farklı konektör tipleri ve şarj standartlarına göre dizayn edilmiştir.

Tablo 1, Merkez Kampüsünde konumlandırılan şarj istasyonlarının teknik özelliklerini, güç çıkışını ve günlük kullanım sıklığını içermekte, Tablo 2 ise farklı elektrikli araç modellerinin—SUV'lar ve küçük elektrikli araçlar gibi—şarj istasyonlarındaki dağılımını ve şarj süreçlerini ayrıntılı olarak sunmaktadır.

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

Bu bilgiler, elektrikli araçların yaygınlaşması sürecinde altyapı ihtiyaçlarının karşılanmasına ve kullanıcı deneyiminin iyileştirilmesine yönelik değerli veriler sağlamaktadır.

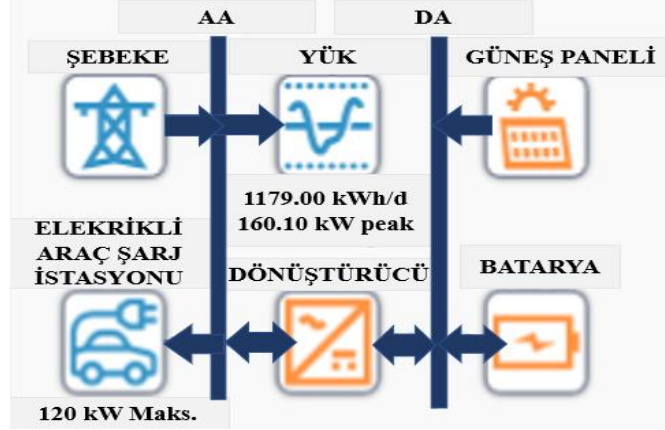
Tablo 1. Elektrikli araç şarj istasyonu teknik bilgileri

Şarj cihazı çıkış gücü (kW)	Şarj cihazı sayısı	Ölçekli Ort. Oturma/gün	Şarj cihazı yıllık yük profili (kWh/günlük ortalama.)
12	10	5	258

Tablo 2. Elektrikli araç tipleri

Araç tipi	Elektrikli araç nüfusu oranı(%)	Elektrikli araç başına maksimum şarj gücü(kW)	Ortalama şarj süresi (dk)
7SUV elektrikli araç	30	150	260
Küçük elektrikli araç	70	50	260

Şekil 2, dört farklı senaryo simülasyonundan en optimal sonuç olarak belirlenen Senaryo 1'in şematik temsilini göstermektedir. Elektrikli araç şarj istasyonu sistemine ait enerji akışını gösterirken, AA ve DA gücün entegrasyonu, zirve tüketimin etkisi ve güneş panelleri ile depolama bataryalarının dahil edilmesi detaylandırılmıştır. Sistem maksimum 120 kW çıkış kapasitesine sahiptir.



Şekil 2. Senaryo-1 mikroşebeke modeli

Enerji maliyet modellemesi

Enerji maliyeti, bir sistemin toplam yıllık enerji harcamasının AA ve DA yüklerinin toplamına bölünmesiyle hesaplanır ve bu ilişki matematiksel olarak denklem (10) ile ifade edilir. Bu denklem, enerji maliyetlerinin sistem içindeki AA ve DA yüklerine göre nasıl dağıtıldığını analiz ederek, enerji tüketimi üzerinden sistemin maliyet etkinliğini belirleme konusunda önemli bir metriktir (Seyed Alavi ve ark. 2023; Güven, 2017).

$$COST_{energy} = \frac{(COST_{yr,total})}{(DA_{load} + AA_{load})} \quad (10)$$

Bir sistemin enerji maliyeti, $COST_{energy}$, toplam yıllık maliyet olan $COST_{yr,total}$ 'in, sistemdeki AA ve DA yüklerinin toplamına, yani AA_{load} ve DA_{load} 'a bölünmesiyle tanımlanır. Bu ilişki Denklem (10)'da açıkça ifade edilmiş olup, sistemin yıllık işletme maliyetine hem AA hem de DA güç tüketiminin farklı katkılarını dikkate alarak enerji birim maliyetini hesaplamak için net bir formül sağlar.

$$C_{year} = C_{re,fac}(i, R_{project_life}) \times C_{NPC,Total} \quad (11)$$

Bir sistemin proje ömrü boyunca net bugünkü maliyeti (NPC), denklem (11) ile ifade edilir. Burada C_{year} , yıllık maliyeti, sermaye geri kazanım faktörünü ($C_{re,fac}$) ve toplam NPC'yi ($C_{NPC,Total}$) içerir. Sermaye geri kazanım faktörü, indirim oranı (i) ve proje ömrü ($R_{project_life}$) işlevi olup, proje süresince eşdeğer yıllık maliyeti yansıtır (Yan ve ark. 2024; Güven ve Samy, 2022).

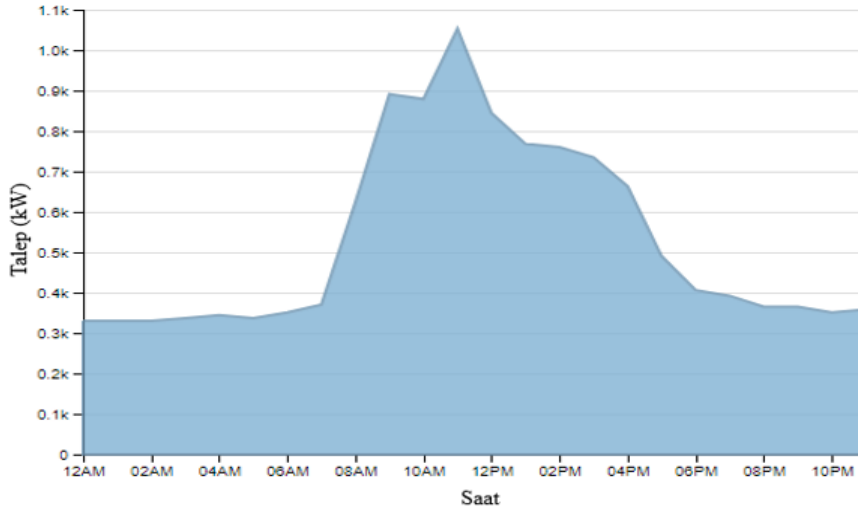
10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

Sermaye geri kazanım faktörü $C_{re,fac}$, bir yatırımın ' n ' yıl boyunca ' i ' faiz oranında geri kazanılması gereken yıllık ödemenin hesaplanmasında kullanılan finansal bir metriktir. Bu faktör, denklem (12) ile belirlenir ve sermaye maliyetini zaman içinde yansıtarak, gelecekteki ödemeler serisini tek bir mevcut değere dönüştürme sürecinde finansal analizlerin temel bir parçasıdır (Nasser ve Hassan, 2023).

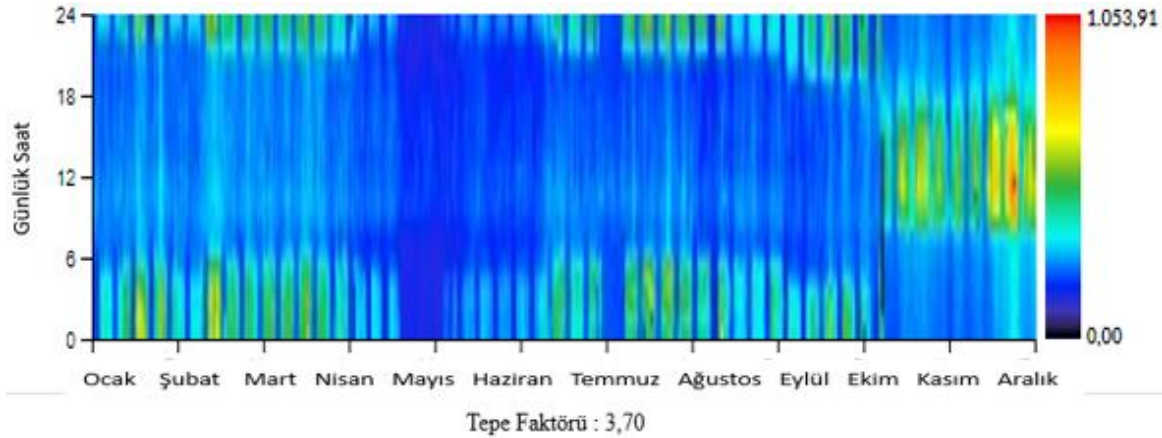
$$C_{re,fac}(i, n) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (12)$$

SONUÇLAR

Yalova Üniversitesi Merkez Kampüsü, hibrit enerji sisteminin kurulacağı yer olarak belirlenmiştir. Kampüsün ortalama elektrik tüketimi günlük olarak 6.127,3 kWh, aylık olarak 189,1 MWh ve yıllık olarak ise 2.269,3 MWh'dir. Yıl içindeki elektrik tüketimi zirvesi, 23 Aralık'ta 1.053,91 kW ile kaydedilmiştir. Ayrıca, Şekil 3'de gösterildiği üzere, en yüksek yük talebi 23 Aralık sabah saat 11:00 sıralarında 1.1 kW olarak ölçülmüştür. Sabah 7:30 ile öğlen 12:00 arasında yük talebinde bir artış gözlenmiş, öğlen 12:00'den akşam 6:00'ya kadar olan süreçte ise talep kademeli olarak azalmıştır. Bu veriler, kampüsün enerji kullanım dinamiklerini ve hibrit sistem için enerji ihtiyaçlarını belirlemede kritik öneme sahiptir.



Şekil 3. En yüksek talebin olduğu güne ait yük profili (23 aralık)



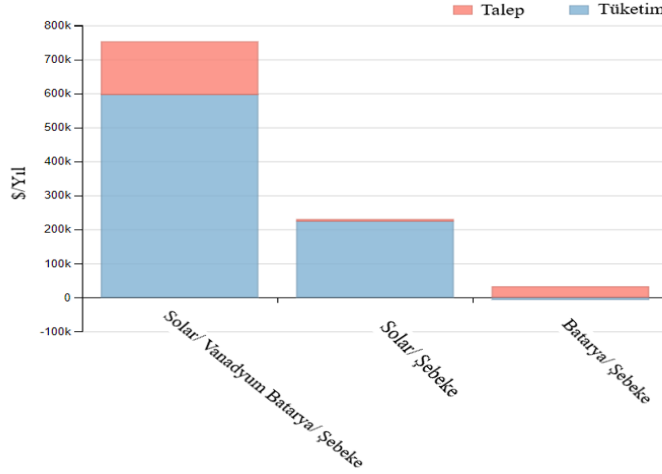
Şekil 4. Enerji tüketim modellerini gösteren ısı haritası

Şekil 4'ten de anlaşıldığı üzere, Ekim ayının ilk çeyreğinden başlayarak Aralık ayının sonuna kadar öğlen saatlerinde enerji tüketimi artmaktadır. Ayrıca, Mart ayının sonundan Haziran ayının başlarına kadar yük değerlerinin stabil olduğu gözlemlenmiştir. Bu dönemdeki yüksek ve düşük tüketim kalıpları, enerji yönetimi stratejilerinin planlanmasında önemli bir rol oynar. Ek olarak, tepe faktörü 3.70 olarak

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

ölçülmüştür, bu da belirli zamanlarda maksimum talebin, ortalama talebe göre ne kadar yüksek olduğunu gösterir.

Şekil 5 incelendiğinde, Solar/Batarya/Şebeke kombinasyonunun yıllık talebinin 750 bin \$ ve tüketiminin 600 bin \$ olduğu görülmekte; bu da enerji fazlasının satıldığını gösteriyor. Solar/Şebeke durumunda yıllık talep 230 bin \$ iken tüketim 225 bin \$ olduğundan, yıllık yaklaşık 5 bin \$'lık bir enerji satışı yapıldığı anlaşıyor. Batarya/Şebeke kombinasyonu için ise yıllık 25 bin \$'lık bir talep bulunmakta fakat tüketim gözlenmemekte. Bu durum, Solar/Batarya/Şebeke kombinasyonunun ekonomik açıdan en avantajlı seçenek olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 5. Elektrik faturasında öngörülen yıllık tasarruflar

Tablo 3. Senaryo 1' e ait sistem önerilerinin karşılaştırması

Araç tipi	Temel durum	Solar/Vanadyum Batarya/ Şebeke (Senaryo 1)	Solar/Şebeke (Senaryo 1a)	Batarya/Şebeke (Senaryo 1b)
Maliyetler ve Karlar				
Sermaye gideri (\$)	\$0	4.134.180	675.806	251.091
İşletme gideri (\$)	1.023.480	304.683	808.689	999.662
Yıllık toplam kar (\$)	0	718.797	214.790	23.818
Yıllık fatura kar (\$)	0	751.849	228.999	24.503
Yıllık talep masrafları (\$/yıl)	221.428	66.04	216.372	190.412
Yıllık enerji ücretleri (\$/yıl)	802.052	205.607	578.110	808.565
Ekonomik Parametreler				
İndirimli geri ödeme süresi(yıl)		7,5	3,6	19,7
Basit geri ödeme süresi(yıl)		5,7	3,1	10,2
Sevyeleştirilmiş enerji maliyeti (\$/kWh)	0,451	0,288	0,381	0,450
Maliyet/Kar oranı (%)		17.10	32.12	8.16
Bugünkü net maliyet (\$)	12.103.740	7.737.383	10.239.420	12.073.160
Çevresel Etki				
Emisyon (ton/yıl)	1.433,4	387,7	1.079,8	1.146,5

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

Tablo 3, Senaryo 1'e ait sistem önerilerini üç ana başlık altında karşılaştırmaktadır: Maliyetler ve karlar, ekonomik parametreler ve çevresel etkiler. Temel durumda yıllık toplam kar sıfırken, Senaryo 1 için 718.797 \$, Senaryo 1a için 214.790 \$ ve Senaryo 1b için 23.818 \$ olarak hesaplanmıştır. Yıllık enerji ücretleri Temel durumda 802.052 \$ iken, Senaryo 1'de 205.607 \$'a, Senaryo 1a'da 578.110 \$'a ve Senaryo 1b'de 808.565 \$'a düşmektedir. kWh başına seviyelendirilmiş enerji maliyeti Temel durum için 0,451 \$, Senaryo 1 için 0,288 \$, Senaryo 1a için 0,381 \$ ve Senaryo 1b için 0,450 \$'dır. Maliyet/kar oranı Temel durum için belirtilmemişken, Senaryo 1'de %17.10, Senaryo 1a'da %32.12 ve Senaryo 1b'de %8.16 olarak belirlenmiştir. Bugünkü net maliyet, Temel durum için 12.103.740 \$, Senaryo 1 için 7.737.383 \$, Senaryo 1a için 10.239.420 \$ ve Senaryo 1b için 12.073.160 \$'dır. Karbondioksit emisyonlarına bakıldığında, Temel durum yıllık 1.433,4 ton iken, Senaryo 1'de 387,7 ton/yıl, Senaryo 1a'da 1.079,8 ton/yıl ve Senaryo 1b'de 1.146,5 ton/yıl olarak kaydedilmiştir. Bu sonuçlara göre, maliyet ve çevre dostu yaklaşım açısından en optimum simülasyonun Senaryo 1 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4. Temel durum elektrik faturası

	Oca k	Şub at	Ma rt	Nis an	Ma yıs	Hazir an	Tem muz	Ağus tos	Eyl ül	Eki m	Kası m	Aralık
Enerji masrafları (\$)	68.9	65.3	76.1	56.3	43.9	52.5	63.7	69.0	60.0	66.7	80.2	98.5
Tüketim kWh	196.8	187.1	219.0	159.9	123.2	149.4	182.4	199.8	171.9	191.0	219.3	267.7
Satış (kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Talep ücretleri (\$)	19.4	19.8	18.1	14.2	8.8	15.4	17.1	18.3	19.8	18.6	19.7	31.6
En yüksek talep (kW)	648	661	605	475	296	517	572	613	661	622	657	1.054
Sabit ücretler (\$)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Aylık toplam (\$)	88.3	85.2	94.3	70.6	52.8	68.1	80.9	87.4	79.9	85.4	100.1	130.1
Yıllık Toplam												\$1.023.48

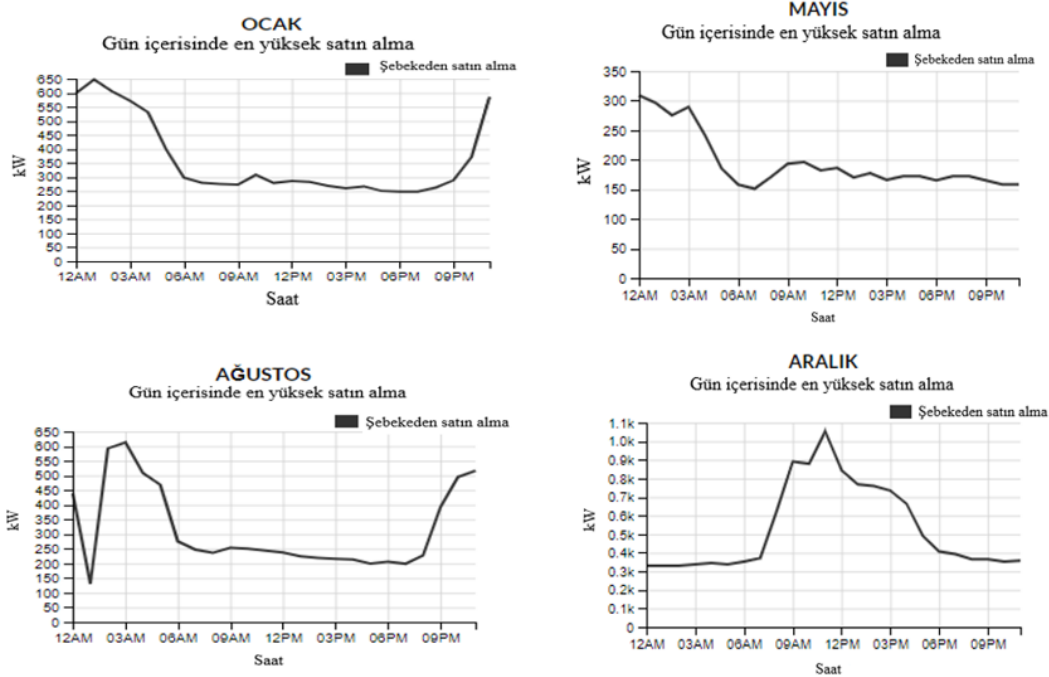
Tablo 4, bir yıllık dönem boyunca enerji masraflarını, tüketim miktarlarını, talep ücretlerini, en yüksek talep zamanlarını ve sabit ücretleri aylık bazda sunmaktadır. Ocak ayından Aralık ayına kadar enerji masrafları 68.9 \$'dan 98.5 \$'a değişirken, tüketim miktarları aynı dönemde 196.8 kWh'tan 267.7 kWh'a yükselmektedir. Satış sütunu boyunca herhangi bir kWh satışı yapılmamıştır. Talep ücretleri, aydan aya değişiklik göstererek 19.4 \$'dan 31.6 \$'a kadar çıkarken, en yüksek talep kW cinsinden 648'den Aralık ayında 1.054'e kadar yükselmiştir. Sabit ücretler ise her ay düzenli olarak 60 \$ olarak sabitlenmiştir. Aylık toplam masraflar 88.3 \$ ile başlayıp, yılın sonunda 130.1 \$ 'a çıkmıştır. Yıllık toplamda ise masraflar 1.023,48 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu veriler, enerji tüketiminin yıl boyunca nasıl değiştiğini ve en yüksek talebin genellikle yıl sonuna doğru gerçekleştiğini göstermektedir.

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

Tablo 5. Aylık emisyon değerleri

Ay	Oc ak	Şub at	Ma rt	Nis an	Ma yıs	Hazir an	Tem muz	Ağus tos	Eyl ül	Eki m	Kası m	Aral ık
Emisyon(ton/yıl)	124	118	138	101	78	94	115	126	109	121	139	169

Tablo 5, Ocak ayından Aralık ayına kadar olan dönemi kapsayarak aylık karbon emisyon miktarlarını ton/yıl cinsinden göstermektedir. Yılın ilk ayı olan Ocak'ta emisyon miktarı 124 ton ile başlarken, Şubat ayında bir miktar düşerek 118 tona inmiştir. Mart ayında 138 ton ile yılın ilk çeyreğindeki en yüksek emisyon değerine ulaşılmış, Nisan ve Mayıs aylarında bu miktar sırasıyla 101 ve 78 ton 'a gerilemiştir. Haziran ayında tekrar bir artış görülerek 94 ton olarak kaydedilmiş, Temmuz ve Ağustos aylarında emisyonlar 115 ve 126 ton olarak devam etmiştir. Eylül ayında 109 ton, Ekim'de 121 ton ve Kasım'da 139 ton ile yükseliş göstermiş, Aralık ayında ise yılın en yüksek karbon emisyonu 169 ton olarak tespit edilmiştir. Bu değerler, yıl boyunca emisyon miktarlarının mevsimsel etkiler ve diğer faktörler doğrultusunda nasıl değişiklik gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 6. Gün içerisinde şebekeden satın alma

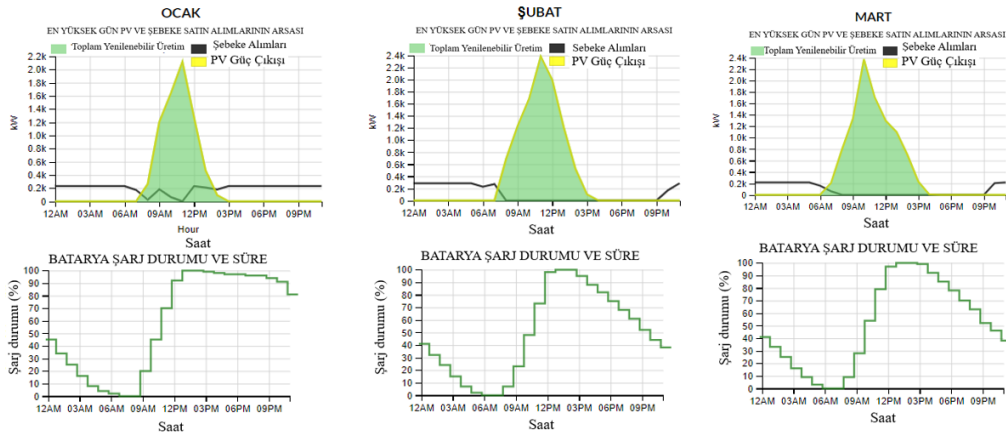
Şekil 6'da, gün içerisinde şebekeden satın alma grafiklerine göz attığımızda, Ocak ayında akşam 9 ile gece yarısı arasında bir artışın belirlendiği görülmektedir. Gece yarısından sabah 6'ya kadar satın alma miktarları azalmakta, sabah 6'dan akşam 9'a kadar ise nispeten sabit kalmaktadır. Mayıs ayında, gece yarısından sabah 6'ya kadar olan düşüşün ardından sabah saatlerinden akşam 9'a kadar satın alma değerleri sabitlenmektedir. Ağustos ayında gece yarısından gece 2'ye kadar bir düşüş yaşandıktan sonra, gece 2'den 3'e kadar bir saat süren bir artış gözlemlenmekte ve bu artışın ardından sabah 6'ya kadar tekrar bir düşüş gerçekleşmekte, akşam 9'a dek sabit bir seyir izlenmektedir. Aralık ayında ise gece yarısı ile sabah 7 arası satın alma değerleri sabit durumdayken, sabah 7'den 11'e kadar artış belirlenmekte ve sabah 11'den akşam 9'a kadar ise azalma eğilimi gözlemlenmektedir.

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

Tablo 6. Senaryo-1 elektrik faturası

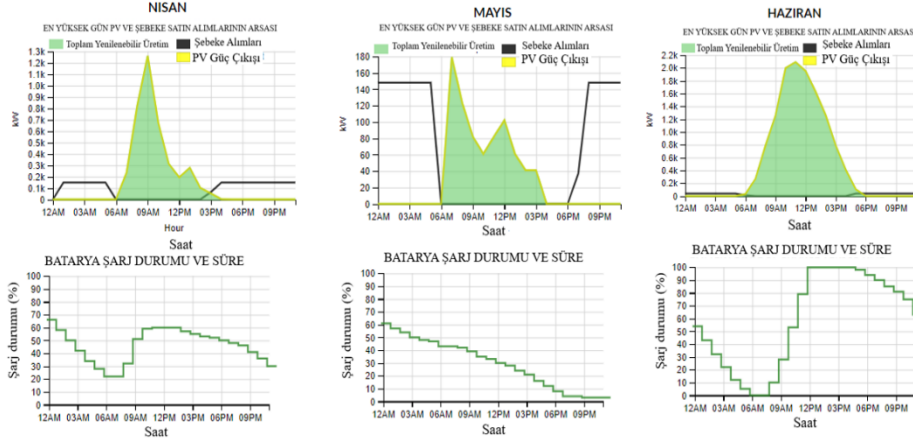
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Enerji masrafları (\$)	32.315	20.612	17.536	6.007	355	642	6.581	8.900	7.258	13.019	29.798	61.864
Tüketim (kWh)	95.173	61.924	54.215	18.513	1.116	2.108	20.492	28.145	21.577	39.625	87.542	182.945
Satış	26	67	105	128	172	174	187	188	134	109	24	10
Talep ücretleri (\$)	6.942	8.578	6.533	4.464	710	1.228	3.341	4.870	4.911	5.056	6.010	13.382
En yüksek talep (kWh)	231	286	218	149	24	41	111	162	164	169	200	446
Sabit ücretler (\$)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Aylık toplam (\$)	39.317	29.250	24.129	10.530	1.1124	1.930	9.982	13.830	12.229	18.135	35.868	75.306
Yıllık toplam (\$)	271.631											

Tablo 6 , bir yıl boyunca her ay için enerji masraflarını, tüketimi, satışı, talep ücretlerini, en yüksek talep değerlerini ve sabit ücretleri göstermektedir. Ocak ayında enerji masrafları 32.315 \$ ile başlayıp Aralık ayında 61.864 \$a çıkmıştır. Tüketim kWh cinsinden Ocak'ta 95.173 ile başlayıp Aralık'ta 182.945 kWh'a yükselmiştir. Satışlar aydan aya değişiklik göstermiş, en düşük 10 kWh Aralık'ta ve en yüksek 188 kWh Ağustos'ta kaydedilmiştir. Talep ücretleri Ocak'ta 6.942 \$ iken, Aralık'ta 13.382 \$a çıkmıştır. En yüksek talep Ocak'ta 231 kW iken Aralık'ta 446 kW'a yükselmiştir. Sabit ücretler her ay düzenli olarak 60 \$ olarak belirlenmiştir. Aylık toplam masraflar Ocak'ta 39.317 \$ ile başlayıp, yıl sonunda 75.306 \$a yükselmiştir, bu da yıllık toplamın 271.631 \$ olduğunu gösterir. Bu veriler, enerji tüketimi ve maliyetlerinin yıl boyunca nasıl dalgalanabileceğini gösteren önemli bir kaynaktır.

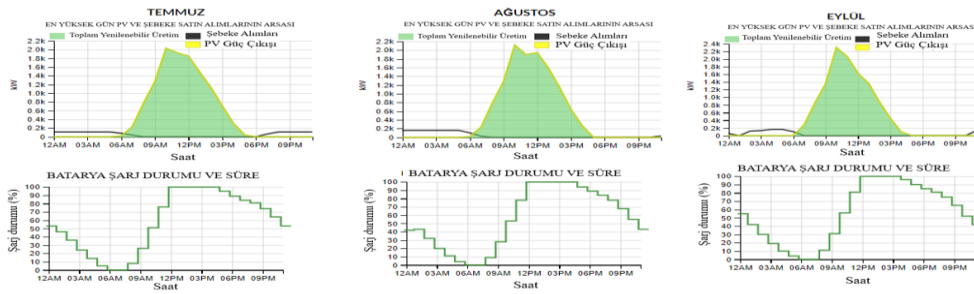


Şekil 7. Kış ayları üretim , tüketim ve batarya şarj durumu

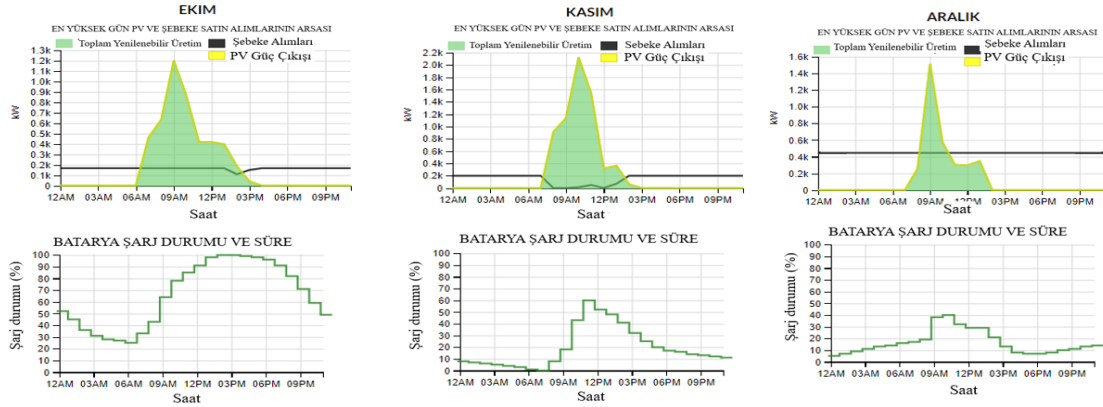
10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES



Şekil 8. İlkbahar ayları üretim , tüketim ve batarya şarj durumu



Şekil 9. Yaz ayları üretim , tüketim ve batarya şarj durumu



Şekil 10. Sonbahar ayları üretim , tüketim ve batarya şarj durumu

Şekil 7, Ocak, Şubat ve Mart aylarındaki güneş enerjisi üretimi ve batarya şarj durumları arasındaki farklılıkları aydınlatmaktadır. Ocak ayı verileri, güneş enerjisinin öğlen saatlerinde üretiminin pik yaptığını gösterirken, bu zirve Şubat ve Mart aylarında bir miktar azalma göstermiştir. Batarya şarj seviyeleri, güneşin varlığında önemli ölçüde artış gösterirken, şebeke enerjisi alımı da buna ters orantılı bir azalış sergilemiştir. Şubat ayında, öğleden sonraki saatlerde batarya şarjının maksimuma ulaştığı ve akabinde azaldığı gözlemlenirken, Mart ayında batarya şarj seviyelerinin daha erken saatlerde doruğa ulaşmış, gün içinde azaldığı belirlenmiştir.

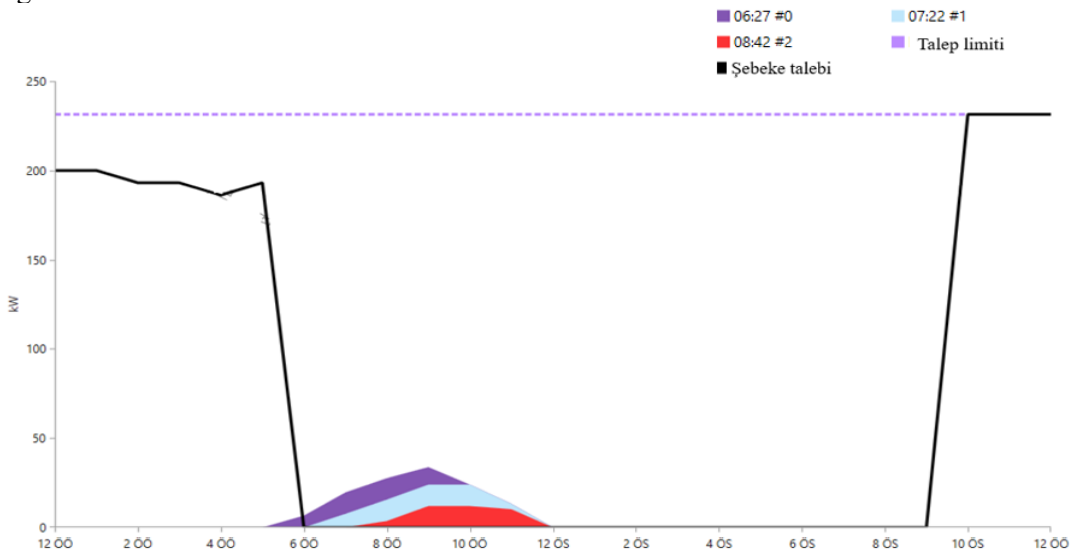
Şekil 8, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarını kapsayan ilkbahar dönemine ait güneş enerjisi üretimi, şebeke alım-satımı ve batarya şarj durumunu saatlik verilerle karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Nisan ayında, güneş enerjisi üretimi öğlen saatlerinde 1.3 kW'a kadar yükselmiş ve bu üretimin batarya şarj düzeylerine pozitif bir etkisi olmuştur. Şebeke alım miktarları da, güneş enerjisi üretiminin düşük olduğu sabah ve akşam saatlerinde artış göstermiştir. Mayıs ayına gelindiğinde, güneş enerjisi üretiminin pik

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

değerleri Nisan ayına göre bir artış göstererek yaklaşık 160 kW'a ulaşmıştır. Bu artışla birlikte batarya şarj düzeylerinin de daha yüksek olduğu ve öğlen saatlerinde %90'ın üzerine çıktığı gözlemlenmektedir. Bu, Mayıs ayında güneş ışığının artan süresi ve yoğunluğunun doğrudan etkisi olarak yorumlanabilir. Haziran ayında ise, güneş enerjisi üretimi daha da artarak öğlen saatlerinde yaklaşık 1.8 kW'a kadar yükselmiştir, bu durum batarya şarj seviyelerinin neredeyse tam kapasitede olduğunu gösterir. Bu, ilkbahar ayları boyunca artan güneş ışığının ve daha uzun gün ışığı saatlerinin etkilerini yansıtmaktadır. Batarya şarj durumunun gün içerisindeki yüksek oranları, enerjinin etkin bir şekilde depolandığını ve şebeke ihtiyacının azaldığını işaret etmektedir. Genel olarak, Şekil 8'in sağladığı veriler, ilkbahar ayları boyunca güneş enerjisi üretimindeki mevsimsel artışın, batarya depolama kapasitesi ve şebeke alım-satım stratejileri üzerindeki etkilerini gözler önüne sermektedir. Enerji üretimindeki bu mevsimsel artışlar, yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımı ve yönetimi için önemli çıkarımlar sunar ve daha uzun gün ışığı saatlerinin avantajlarından maksimum derecede yararlanılmasını sağlar.

Şekil 9'da Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için güneş enerjisi üretimi, tüketim ve batarya şarj durumları grafiklerle sunulmaktadır. Temmuz ayında, özellikle öğlen saatlerinde güneş enerjisi üretiminin doruğa ulaştığı ve bu üretimin batarya şarj seviyelerini yükselttiği gözlemlenmektedir. Ağustos ayında güneş enerjisi üretiminin daha da arttığı ve şebeke alımlarının azaldığı; Eylül ayında ise güneş enerjisi üretiminin azalmaya başladığı, fakat hala yüksek şarj seviyeleri sağladığı görülmektedir. Yaz aylarında güneşin pozisyonunun enerji üretimi üzerindeki etkisi net bir şekilde belirginleşirken, batarya şarj durumlarının gün boyu yüksek seviyelerde kaldığı ve şebeke ihtiyacının minimuma indiği dikkat çekiyor. Bu durum, enerji depolama sistemlerinin ve fotovoltaik panellerin yüksek verimliliğinin bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Eylül ayına gelindiğinde ise güneş ışığının azalmasına rağmen, batarya şarj durumunun güçlü bir performans sergilediği gözlenmiştir. Bu üç ay arasında, güneş enerjisi üretiminin en yüksek seviyeye Ağustos ayında ulaştığı ve bu ayın aynı zamanda en düşük şebeke enerjisi tüketimine sahip olduğu anlaşılmakta. Temmuz ve Eylül aylarında da benzer bir eğilim olmakla birlikte, Eylül ayında üretimin azalmasına rağmen batarya şarjının yüksek kapasitede kalması enerji depolamanın önemini vurgulamaktadır.

Şekil 10, Ekim, Kasım ve Aralık aylarına ait güneş enerjisi üretimi, şebeke alım-satımı ve batarya şarj durumlarını saatlik bazda sergilemektedir. Ekim ayında, öğlen saatlerinde güneş enerjisi üretimi yaklaşık 1.3 kW'a ulaşarak zirve yaparken, Kasım ayında bu üretim yaklaşık 2.0 kW'a yükselmiştir. Aralık ayı itibarıyla, üretim 1.6 kW seviyelerine düşüş göstermiştir. Güneşin varlığında batarya şarj durumlarının Ekim ayında %80'lere kadar yükseldiği gözlemlenirken, Kasım ayında bu oran %90'a ulaşmış, Aralık ayında ise azalan gün ışığına rağmen %60'ın üzerinde kalmayı sürdürmüştür. Şebeke alımlarının günün erken ve geç saatlerinde arttığı göz önünde bulundurulduğunda, enerji depolama sistemlerinin gün içinde güneş enerjisinin yetersiz olduğu zamanlarda şebeke yükünü dengelemekdeki rolü vurgulanmaktadır.

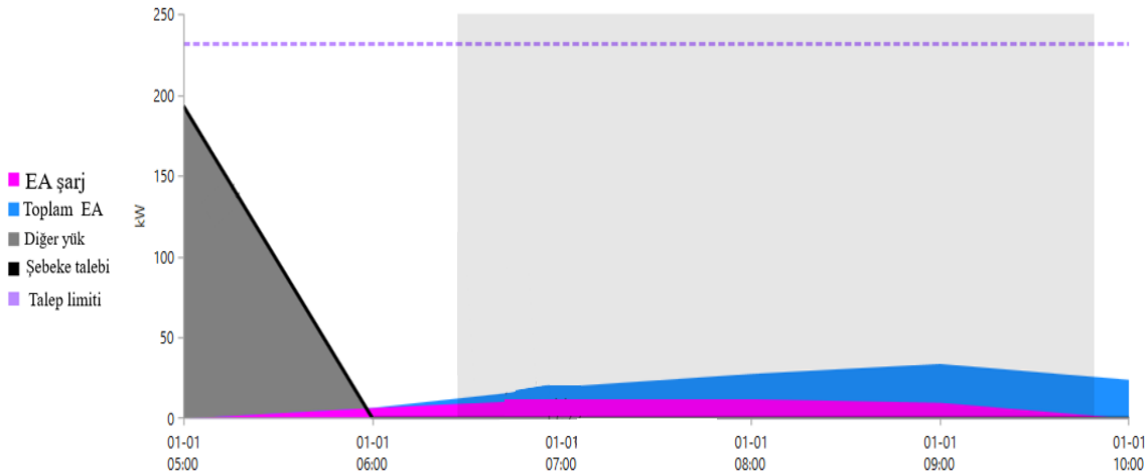


Şekil 11. 1 Ocak 2022 de şarj istasyonu günlük yük profili

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

Şekil 11, 1 Ocak 2022 tarihine ait bir şarj istasyonunun günlük yük profilini göstermektedir. Grafikte saat dilimleri boyunca şarj edilen araç sayısını ve enerji kullanımını görebiliyoruz. Sabah 5:20'de başlayan şarj hizmeti, öğlen 11:45'e kadar devam etmiş ve sonrasında herhangi bir şarj aktivitesi kaydedilmemiştir. Enerji servisi, bu süre zarfında 125 kWh olarak ölçülmüş, bu da ortalama olarak her bir aracın yaklaşık 41.6 kWh enerji tükettiğini gösteriyor. Bu veri, şarj istasyonunun kapasitesi ve kullanım zamanlarının yanı sıra, elektrikli araç kullanıcılarının şarj alışkanlıkları hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Şarj istasyonunun talep limitinin sabit bir şekilde 250 kW olarak ayarlandığı ve bu süre zarfında talebin asla bu limiti aşmadığı görülüyor. Ayrıca, renkli alanlar şarj edilen araçların enerji kullanım profilini, özellikle de en yoğun şarjın sabah erken saatlerde gerçekleştiğini vurgulamaktadır. Bu, genellikle araç sahiplerinin günlük işlerine başlamadan önce araçlarını şarj etmeyi tercih ettikleri anlamına gelebilir. Böyle bir grafik, bir şarj istasyonunun kapasitesinin ve hizmet saatlerinin ne şekilde planlanması gerektiği, zirve saatlerdeki talebin nasıl karşılanacağı ve olası gelecekteki genişletme ihtiyaçlarının öngörülmesi açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

Şekil 12, 1 Ocak 2022 tarihinde şarj edilen küçük araçların şarj profili verilerini sunmaktadır. Sabah 5'te başlayan şarj işlemi, saat 6'ya kadar şebekeden sağlanan enerji ile gerçekleşmiştir, bu durum grafiğin koyu renkli alanıyla gösterilmiştir. Saat 6'dan itibaren ise enerji talebi, batarya depolama ve fotovoltaik panellerden gelen enerji ile karşılanmaya başlanmıştır, bu da grafiğin mor ve mavi renkli bölümleriyle temsil edilmiştir. Grafiğin genelinde, talep limitinin 240 kWh olarak belirlendiği ve bu limitin aşılmadığı görülüyor. Bu veriler, söz konusu tarihte küçük araçlar için tasarlanmış şarj istasyonunun enerji kullanım desenlerini ve şarj altyapısının saatlik dinamiklerini gösterir. Enerji kaynaklarının zaman içindeki kullanım dağılımı, şarj istasyonu operasyonlarının ve enerji yönetim stratejilerinin planlanması için önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu bilgiler, enerji talebinin ve tedarik yöntemlerinin optimize edilmesine yardımcı olabilir ve özellikle enerji yoğun saatlerde şebeke yükünü hafifletmek için alternatif enerji kaynaklarının etkin kullanımını teşvik eder.

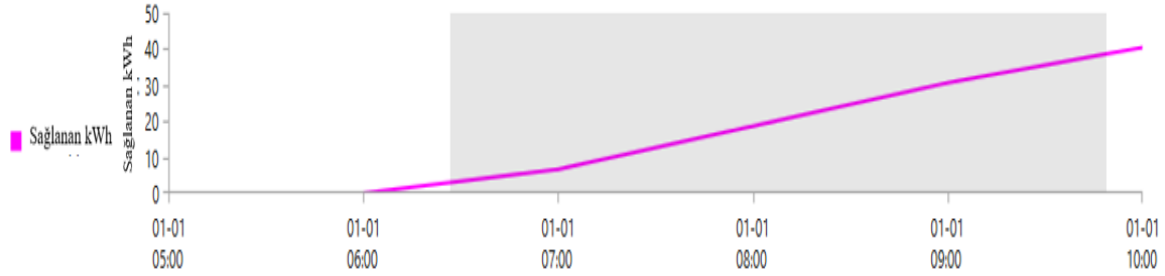


Şekil 12. 1 Ocak 2022'de şarj edilen küçük araç şarj profili

Şekil 13, 1 Ocak 2022 tarihinde küçük bir aracın şarj edilmesi sırasında sağlanan güç profilini lineer bir eğilim ile göstermektedir. Sabah 5'te sıfır kWh'tan başlayarak, saat 10'a kadar sürekli ve düzgün bir şekilde artan bir enerji sağlanışını gözlemlenmiştir. Saatlik enerji sağlanış miktarı, bu süreç boyunca lineer olarak artarak yaklaşık 50 kWh'e ulaşmaktadır. Bu grafik, şarj istasyonunun enerji sağlama kapasitesinin sabahın erken saatlerinden itibaren istikrarlı bir şekilde arttığını gösterir. Bu, potansiyel olarak aracın şarj durumunun düşük olduğu bir başlangıç noktasından, sabah saatlerinde artan bir şarj ihtiyacına cevap verme kapasitesini yansıtmaktadır. Grafikteki lineer artış, şarj altyapısının sabit bir enerji tedariki sağlama yeteneğini ve şarj süresince enerji çıkışının tutarlılığını belirtir. Bu tip bir grafik, şarj altyapılarının planlanması ve enerji tedarik stratejileri için önemlidir. Özellikle, elektrikli araç kullanıcılarının şarj alışkanlıklarını ve şarj talebinin gün içinde nasıl değiştiğini anlamak adına değerli

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

bilgiler sunar. Ayrıca, şarj hizmetlerinin etkinliği ve güvenilirliği hakkında da içgörüler sağlar. Bu veriler, şarj istasyonları için enerji yönetimi ve talep tahminlerinde kullanılabilir ve daha geniş enerji ağının parçası olarak şarj altyapısının nasıl entegre edileceğine dair planlamalar yapılmasına yardımcı olur.



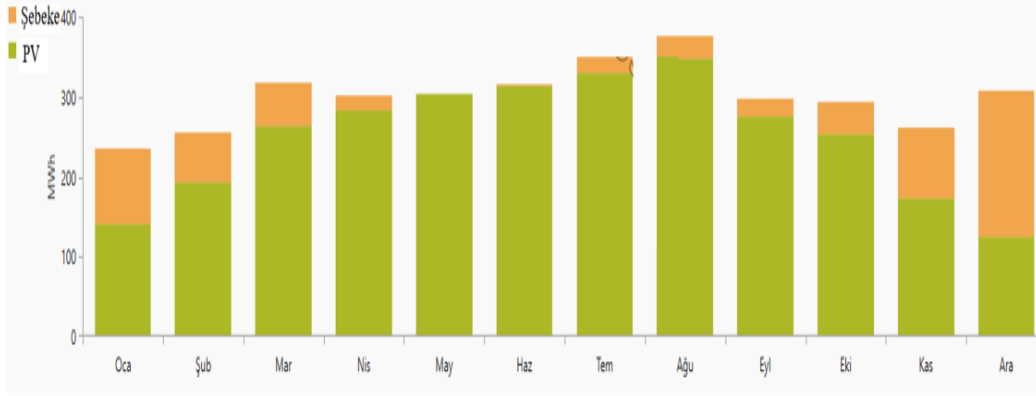
Şekil 13. 1 Ocak 2022'de küçük araç şarj için sağlanan güç profili

Tablo 7, elektrikli araç şarj istasyonu sistemine ait maliyet bileşenlerini detaylı bir şekilde sunmaktadır. Güneş panelleri (PV) için yapılan ilk yatırım 1.415.914,64 \$ olup, ömür boyu süresince herhangi bir değiştirme maliyeti öngörülmemiş, bakım için ise toplam 334.894,07 \$ harcanmıştır. Vanadyum batarya sistemi, 2.535.900,00 \$'lık bir yatırım maliyeti ile bu tabloda en yüksek başlangıç yatırımına sahiptir ve yine herhangi bir değiştirme veya bakım maliyeti bulunmamaktadır. Konvertör bileşeni için 182.364,95 \$ yatırım yapılmış, 67.620,61 \$'lık bir değiştirme maliyeti ve -11.633,66 \$'lık bir hurda değeri hesaplanmıştır. Şebeke maliyetleri ise, sadece bakım kalemi altında toplam 3.212.322,59 \$ olarak rapor edilmiştir. Bütün bu maliyetler göz önünde bulundurulduğunda, sistem için toplamda 7.737.383,21 \$'lık bir yatırım yapıldığı görülmektedir. Bu maliyetlerin toplamı, sistem bileşenlerinin uzun vadeli finansal planlaması için önemli bir göstergedir ve enerji altyapısının kurulumu ve sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu veriler, sistem bileşenlerinin başlangıç yatırımlarının yanı sıra, ömür boyu maliyetlerini ve potansiyel getirilerini de hesaba katarak, elektrikli araç şarj istasyonlarına yapılan yatırımların ekonomik analizinde kullanılabilir. Özellikle şebeke ile ilişkili yüksek bakım maliyetleri, enerji altyapı planlamasında stratejik kararlar alırken dikkatlice değerlendirilmesi gereken bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 7. Elektrikli araç şarj istasyonu

Komponentler	Yatırım maliyeti (\$)	Değiştirme (\$)	Bakım (\$)	Yakıt (\$)	Hurda (\$)	Toplam (\$)
PV	1.415.914,64	0,00	334.894,07	0,00	0,00	1.750.808,71
Vanadyum Batarya	2.535.900,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.535.900,00
Konvertör	182.364,95	67.620,61	0,00	0,00	-11.633,66	238.351,90
Şebeke	0,00	0,00	3.212.322,59	0,00	\$0,00	3.212.322,59
Sistem	4.134.179,59	67.620,61	3.547.216,66	0,00	-11.633,66	7.737.383,21

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES



Şekil 14. Senaryo-1 aylara göre elektrik üretimi

Şekil 14, aylık enerji üretimini şebeke ve fotovoltaik paneller üzerinden sergileyerek, bu iki kaynağın zaman içerisindeki üretim profillerini açıkça ortaya koymaktadır. Şebeke kaynaklı elektrik tedariki, yılın tüm aylarında oldukça sabit bir seyir izlerken, PV panellerinden sağlanan enerji üretimi yaz aylarında belirgin bir artış göstermiştir. Bu durum, artan güneş ışığı süresinin ve yoğunluğunun fotovoltaik üretim kapasitesine etkisini yansıtır. Buna karşın, kış mevsimi yaklaştıkça PV panel verimliliğinin azaldığı, dolayısıyla şebeke elektriğine olan bağımlılığın arttığı gözlenir. Bu veriler, enerji üretim sistemlerinin planlanması ve ölçeklendirilmesi sırasında güneşin mevsimsel varyasyonlarının dikkate alınmasını zorunlu kılar. PV panellerden elde edilen enerjinin yılın farklı zamanlarında nasıl değişkenlik gösterdiğini anlamak, güneş ışığına bağlı enerji sistemlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi için hayati önem taşır. Şebeke ve PV panelleri arasındaki enerji paylaşımı, sürdürülebilir ve dengeli bir enerji ağı oluşturulmasında stratejik bir rol oynar. Bu bilgiler, altyapı yatırımlarının planlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyon stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılabilir.

Tablo 8. Elektrikli araç şarj istasyonu

Üretim	kWh/yıl	%
PV	3.000.846	83,0
Şebeke Alımları	613.376	17,0
Toplam	3.614.222	100
Tüketim	kWh/yıl	%
AA Birincil Yük	2.173.866	95,8
Şebeke Satışı	1.325	0,0584
Elektrikli Araç Şarj Cihazı	94.128	4,15
Total	2.269.319	100
Nicelik	kWh/yıl	%
Fazla Elektrik	882.842	24,4
Yenilenebilir Fraksiyon	73,0	%

Tablo 8, bir elektrikli araç şarj istasyonunun yıllık enerji üretim ve tüketimini, üretim kaynaklarına ve tüketim noktalarına göre ayrıntılı bir şekilde sunmaktadır. Üretilen toplam enerjinin %83'ü fotovoltaik panellerden gelirken, geri kalan %17'lik kısmı şebeke alımları ile karşılanmıştır. Üretilen toplam enerji miktarı 3.614.222 kWh olarak kaydedilmiştir. Tüketim tarafında, toplam enerji kullanımının büyük bir kısmı (%95,8) AA birincil yüke, yani şarj istasyonu dışındaki temel enerji tüketimine ayrılmıştır. Şebeke satışları, toplam tüketimin sadece %0,0584'ünü oluşturmuş ve elektrikli araç şarj cihazlarının kullanımı %4,15 ile tüketimin küçük bir bölümünü temsil etmiştir. Toplam tüketim 2.269.319 kWh olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, toplam üretilen elektriğin 882.842 kWh'lik bir kısmı fazla elektrik olarak belirlenmiştir. Bu miktar, yıllık toplam üretimin %24,4'ünü oluşturmakta ve enerji yönetimi açısından önemli bir fazlalığı işaret etmektedir. Yenilenebilir fraksiyon yani enerji üretiminin

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

yenilenebilir kaynaklardan sağlanan kısmı %73 olarak ifade edilmiş, bu da şarj istasyonunun enerji ihtiyacının büyük bir kısmının sürdürülebilir kaynaklardan karşılandığını göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışma, HOMER Grid yazılımı kullanarak, Yalova Üniversitesi Merkez Kampüsü'ndeki binaların enerji ihtiyaçlarını karşılamak üzere bir hibrit enerji sistemi tasarlamış ve bu sistemin ürettiği enerji fazlalığının elektrikli araç şarj istasyonlarında kullanımını da içerecek şekilde geniş bir uygulama alanına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Analiz, Yalova'nın iklim özelliklerine ve 2022 yılı saatlik yük verilerine dayanarak yapılmıştır. İki temel unsur; enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların etkin kullanımı ve enerji depolama çözümleri üzerine odaklanılmıştır.

Simüle edilen dört farklı senaryo arasından, teknik ve ekonomik veriler ışığında Senaryo-1 en optimum sonuçları sunmuştur. Bu senaryonun net bugünkü maliyeti 7,74 milyon \$, seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise kilovat saat başına 0,288 \$ olarak hesaplanmıştır. İşletme ve bakım maliyetleri yıllık 304.683 \$ olup, yenilenebilir enerji fraksiyonu %73 seviyesinde tespit edilmiştir. Sistem, 5,7 yıl içinde amorti edilebilecek bir yapıya sahiptir. Hibrit sistem, şebekeye bağlı olmasına rağmen yüksek oranda yenilenebilir enerji kullanımıyla öne çıkmaktadır. Emisyon değerleri açısından da sistemin çevresel sürdürülebilirliği dikkate değerdir; yıllık karbon dioksit emisyonu 387.653 kilogram, kükürt dioksit emisyonu 1.681 kilogram ve azot oksit emisyonu 822 kilogram olarak ölçülmüştür.

Hibrit sistemlerin tasarım ve entegrasyon süreçlerinde, bölgenin iklim şartları ve beklenen yük talebi gibi faktörlerin dikkatlice analiz edilmesi gerekmektedir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme entegrasyonu sırasında, hedeflenen araç popülasyonunun doğru bir şekilde hesaplanması kritik önem taşımaktadır, çünkü araçların türüne bağlı olarak gereken şarj kapasitesinde değişkenlik gözlemlenebilir. Ayrıca, enerji fazlalığının depolanmasına olan ihtiyaç, hibrit sistemlerde önemli bir konudur ve sistem tasarımının bir başka kilit noktasını oluşturur. Teknik ve maliyet analizlerinin ardından hangi depolama teknolojisinin kullanılacağına dair stratejik kararlar alınmalıdır. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektrikli araç şarj altyapısının entegrasyonu açısından stratejik planlama ve politika geliştirme konusunda kapsamlı bir rehber sunmaktadır.

REFERANSLAR

- Allouhi, A., & Rehman, S. (2023). Grid-connected hybrid renewable energy systems for supermarkets with electric vehicle charging platforms: Optimization and sensitivity analyses. *Energy Reports*, 9, 3305–3318. doi: 10.1016/j.egyr.2023.02.005.
- Güven, A. F. (2017). Bahçelievler Belediye Başkanlık Binasının Enerji İhtiyacının Güneş ve Rüzgar Sistemi ile Karşılanması, Optimizasyonu ve Maliyet Analizi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 24–36. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/sinopfbd/issue/28364/255023>.
- Güven, A. F., & Mahmoud Samy, M. (2022). Performance analysis of autonomous green energy system based on multi and hybrid metaheuristic optimization approaches. *Energy Conversion and Management*, 269(April), 116058. doi: 10.1016/j.enconman.2022.116058.
- Güven, A. F., & Poyraz, E. (2021). Feasibility Study and Techno-Economic Analysis of Stand-Alone Hybrid Energy System for Muğla Province Köyceğiz. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1), 70–85. doi: 10.31466/kfbd.880437.
- Güven, A. F., & Yörükeren, N. (2022). Bir Hibrit Enerji Sisteminin Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması- Genetik Algoritma ve Gri Kurt Optimizasyon Algoritma Tekniği ile Enerji Yönetimi ve Optimizasyonu: Yalova Üniversitesi için bir vaka çalışması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 853–879. doi: 10.31466/kfbd.1169643
- Güven, A. F., & Yücel, E. (2023). Application of HOMER in assessing and controlling renewable energy-based hybrid EV charging stations across major Turkish cities. *International Journal of Energy Studies*, 8(4), 747–780. doi: 10.58559/ijes.1324236.
- Güven, A. F., Türkmen, Ş., Aşıklı, E., & Örnek, G. (2023). Investigating the Effects of Different Types of Battery Impacts in Energy Storage Systems on Standalone Hybrid Renewable Energy Systems. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3), 943–964. doi: 10.31466/kfbd.1275823.
- Hung, N. B., & Lim, O. (2020). A review of history, development, design and research of electric bicycles. *Applied Energy*, 260(August 2019), 114323. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114323.

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

- Ion, C., & Marinescu, C. (2019). Optimal charging scheduling of electrical vehicles in a residential microgrid based on RES. 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2019, 397–400. doi: 10.1109/ICRERA47325.2019.8996966.
- Kumar, M., Panda, K. P., Naayagi, R. T., Thakur, R., & Panda, G. (2023). Comprehensive Review of Electric Vehicle Technology and Its Impacts: Detailed Investigation of Charging Infrastructure, Power Management, and Control Techniques. *Applied Sciences* (Switzerland), 13(15). doi: 10.3390/app13158919.
- Leach, F., Kalghatgi, G., Stone, R., & Miles, P. (2020). The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering*, 1(April). doi: 10.1016/j.treng.2020.100005.
- Li, C., Shan, Y., Zhang, L., Zhang, L., & Fu, R. (2022). Techno-economic evaluation of electric vehicle charging stations based on hybrid renewable energy in China. *Energy Strategy Reviews*, 41(April), 100850. doi: 10.1016/j.esr.2022.100850.
- Mussard, M., Riise, H. N., Wiig, M. S., Ronneberg, S., & Foss, S. E. (2023). Influence of Temperature Coefficient and Sensor Choice on PV System Performance. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 13(6), 920–928. doi: 10.1109/JPHOTOV.2023.3311896.
- Nasser, M., & Hassan, H. (2024). Egyptian green hydrogen Atlas based on available wind/solar energies: Power, hydrogen production, cost, and CO2 mitigation maps. *International Journal of Hydrogen Energy*, 50, 487–501. doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.09.127.
- Oladigbolu, J. O., Mujeeb, A., Al-Turki, Y. A., & Rushdi, A. M. (2023). A Novel Doubly-Green Stand-Alone Electric Vehicle Charging Station in Saudi Arabia: An Overview and a Comprehensive Feasibility Study. *IEEE Access*, 11(April), 37283–37312. doi: 10.1109/ACCESS.2023.3266436.
- Rawa, M., Abusorrah, A., Al-Turki, Y., Sindi, H., Bassi, H., & Mostafa, M. H. (2024). Efficient energy management framework for enhancing the techno-economic-environmental performance of grid-connected microgrids under uncertain conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(1), 102336. doi: 10.1016/j.asej.2023.102336.
- Seyed Alavi, S. M., Maleki, A., Noroozian, A., & Khaleghi, A. (2024). Simultaneous optimal site selection and sizing of a grid-independent hybrid wind/hydrogen system using a hybrid optimization method based on ELECTRE: A case study in Iran. *International Journal of Hydrogen Energy*, 55(November 2023), 970–983. doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.11.110
- Shafiq, A., Iqbal, S., Rehman, A. U., Elbarbary, Z. M. S., Kotb, H., Selim, A., & Kamel, S. (2023). Integration of solar based charging station in power distribution network and charging scheduling of EVs. *Frontiers in Energy Research*, 11(January), 1–15. doi: 10.3389/fenrg.2023.1086793.
- Singh, B., & Kumar, A. (2023). Optimal energy management and feasibility analysis of hybrid renewable energy sources with BESS and impact of electric vehicle load with demand response program. *Energy*, 278(PA), 127867. doi: 10.1016/j.energy.2023.127867.
- Singh, B., & Sharma, A. K. (2022). Benefit maximization and optimal scheduling of renewable energy sources integrated system considering the impact of energy storage device and Plug-in Electric vehicle load demand. *Journal of Energy Storage*, 54(April), 105245. doi: 10.1016/j.est.2022.105245.
- Solanki, L., Vadhera, S., & Sandhu, K. S. (2023). 10.3-kW Solar PV Grid-Tied Charging of Li-Ion Batteries in Battery Swapping Stations for EVs Using HOMER Pro. *Renewable Resources and Energy Management*, 1- 8. doi:10.1201/9781003361312.
- Sood, S., Kumar, R., & Tiwari, N. K. (2022). Enviro-Economic Assessment of Energy Sources Used for Electric Vehicle Charging. 2022 1st International Conference on Sustainable Technology for Power and Energy Systems, STPES 2022, 1–5. doi: 10.1109/STPES54845.2022.10006604.
- Towaju, O. A., & Ishola, F. A. (2020). A case for the internal combustion engine powered vehicle. *Energy Reports*, 6, 315–321. doi: 10.1016/j.egyr.2019.11.082.
- Williams, I. D., & Blyth, M. (2023). Autogeddon or autoheaven: Environmental and social effects of the automotive industry from launch to present. *Science of the Total Environment*, 858(July 2022), 159987. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159987.

10. INTERNATIONAL EUROPEAN CONGRESS ON ADVANCED STUDIES IN BASIC SCIENCES

Yan, C., Zou, Y., Wu, Z., & Maleki, A. (2024). Effect of various design configurations and operating conditions for optimization of a wind/solar/hydrogen/fuel cell hybrid microgrid system by a bio-inspired algorithm. *International Journal of Hydrogen Energy*, 60(November 2023), 378–391. doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.02.004.