ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN KURULUMU VE ETKİNLİĞİNİN ANALİZİ: TEKNİK, EKONOMİK VE ÇEVRESEL PERSPEKTİFLER[1]

Hakan CANPOLAT[1], Ramazan AYAZ[1], Alpaslan DEMİRCİ[1]

[1]Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, İstanbul / Türkiye

Öz: Günümüzde, nüfusun hızla artması ve teknolojinin ilerlemesi, sanayileşme sürecini hızlandırmıştır. Bu durum, enerji kullanımının artmasına ve özellikle elektrik enerjisine olan talebin yükselmesine neden olmuştur. Artan bu talebi karşılamak ve çevreye salınan zararlı gazları en aza indirmek için, kısıtlı rezerve sahip fosil kaynaklar yerine alternatif enerji kaynaklı enerji üretimine yönelme eğilimi artmıştır. Bu bağlamda, güneş enerjisi, sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Özellikle endüstriyel tesislerde güneş enerjisi santrallerinin kurulumu, enerji maliyeti ve sürekliliği aynı zamanda karbon ayak izinin azaltılması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada, bir endüstri tesisinin elektrik enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulması planlanan güneş enerji santralinin optimal planlaması gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelde, endüstri tesisinin mevcut işletme durumu, yük profili ve santral kurulum alan kısıtları dikkate alınarak senaryolar incelenmiştir. Model tasarımlarında güneş paneli yerleşimi ve konumlandırma gibi teknik durumlar için PVsyst kullanılırken, ekonomik ve çevresel performans değerlendirmesi HOMER Pro programında incelenmiştir. Sonuçlar, optimal senaryolarda amortisman süresinin 2,86 yıla kadar düştüğünü, karbondioksit (CO_2) salınımının ise %46'ya kadar azaltılabildiğini göstermiştir. Ayrıca, son yıllarda sıkça gündeme gelen ve yakın zamanda uygulamaya geçirilmesi öngörülen karbon vergisi dikkate alınarak duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu verginin uygulanması durumunda amortisman süresinin 2,81 yıla kadar düştüğü ve tüketicilerin özellikle güneş enerji bazlı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimini hızlandıracağını göstermiştir. Sonuçlar, güneş enerjisi sistemlerinin bir endüstri tesisine teknik, ekonomik ve çevresel açıdan önemli katkılar sağlayacağını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, PVsyst, Ekonomik Analiz, Homer Pro, Karbon Vergisi

[1] Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü birinci yazara ait "Yüksek Lisans Tezi"nden üretilmiştir. ORCID NO: 0000-0001-5586-5560, 0000-0002-6201-1181, 0000-0002-1038-7224

GİRİŞ VE KURAMSAL ÇERÇEVE

Dünya'da artan nüfus, gelişen teknoloji ile birlikte sanayileşme süreci de hızlanmıştır. Bu değişimler beraberin enerji tüketiminde artışı da beraberinde getirmiştir. Artan bu enerji talebini karşılamak için enerji kaynaklarına olan ihtiyaç da artmıştır. Fakat bu ihtiyaç karşılanırken farklı enerji kaynakları kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Bu kaynakların kullanım tercihinde maliyet, tükenme tehditi ve doğaya saldıkları CO2 miktarları gibi durumlar göz önünde bulundurulmuştur (Bana, 2017:1299-1310). Ayrıca son yıllarda sık sık gündeme gelen yakın zamanda da uygulamaya geçirileceği düşünülen karbon vergisinden dolayı yenilebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi ihtiyacı artmıştır (Çevik, 2018:129). Güneş enerjisinin(fotovoltaik) boyutlandırılması, kurulum ve işletmesi daha pratik olduğundan özellikle bu kaynağa yönelim daha fazla olmuştur. Bundan dolayı güneş enerjisi enerji üretim sistemlerinin şebekeyi güçlendirmek kullanımı artmış, dinamik analiz ve elektrik şebekesi çalışmaları için uygun ve analizsel bir model ile birlikte doğru simülasyon çalışmaları yapmayı gerektirmiştir (Arabshahi, 2020:158). Özellikle enerji tüketiminin en fazla olduğu alan olan endüstride enerji konusu daha çok önem arz etmektedir. Bu bağlamda sanayide son dönemde eko-verimlilik, çevre dostu teknolojiler ve endüstriyel ekoloji gibi yeni kavramlar ortaya çıkmış ve mevcut potansiyelin en iyi şekilde kullanılması gerekliliği hem çevre kalitesi hem de ekonomik açısından zorunlu hale gelmiştir (Davarcıoğlu, 2018:94-105). Fabrikalarda işletme maliyetlerin en büyük giderlerinden olan enerjinin maliyeti yüksek değerlerde olması, işletme sahiplerini enerji maliyetlerini azaltmak amacıyla tesislerinde kendi enerjisini üretebilecek enerji kaynaklarına yönelmek zorunluluğunda kalmıştır (Baş, 2017:72-78). Literatür taraması yapıldığında yenilebilir enerji kaynakları ile kurulan hibrit sistem uygulaması ile ilgili çalışmaların bir kısmında HOMER programı kullanılarak tekno-ekonomik ve çevresel analizleri yapılmıştır. Farklı güneş radyasyon verilerine sahip olan Türkiye'nin iki farklı bölgesinde bulunan tesisler sahip çatı tipi güneş enerji santrali modellemesi HOMER programından yapılmıştır (Akkaya ve Oy, 2021:759-753). Yapılan bir diğer çalışmada farklı kapasitelerde hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız santraller modellenip tekno-ekonomik analizleri yapılmıştır (Seloğlu Genç, 2019). Endüstri tesisleri özelinde yapılan hibrit sistemlere değerlendirildiğinde Konya ilindeki fabrikanın elektrik ihtiyacını karşılamak için on-grid hibrit sistem kurmuştur. Bu sistemi HOMER programı üzerinde kurarak güneş enerji santrali, akü ve dizel jeneratörden yararlanmıştır (Tabak, 2021:220-230). Bursa'nın Gemlik ilçesinin elektrik yük ihtiyacını karşılayacak hibrit yenilebilir enerji sistemi tasarımı HOMER yazılımı kullanılarak yapılmıştır (Yılmaz, 2023). Bir gıda fabrikasının enerji tüketim ve CO2 salınım değerlerinin analizlerini yapmıştır. Enerjiyi verimli kullanılarak enerji maliyeti ve doğaya salınan CO2 salınımı azaltması ile ilgili çalışma yapılmıştır. (Ruşen, 2019:1478-1488)

AMAÇ

Bu çalışmada Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan ve şebekeye bağlı bir fabrikanın elektrik ihtiyacını karşılayabilmek için hibrit güç sistemi optimal planlaması yapılmıştır. Önerilen modelde, endüstri tesisinin mevcut işletme durumu, yük profili ve santral kurulum alan kısıtları dikkate alınarak farklı senaryolar altında yatırım karlılığı teknik, ekonomik ve çevresel açıdan ortaya çıkarılmak hedeflenmiştir. Bu çalışma, teknik, ekonomik ve çevresel kriterler altında farklı senaryoların etkilerini belirlemeyi amaçlamaktadır; bunun için toplam net bugünkü maliyet, amortisman süresi, öz tüketim oranları, kendi kendine yeterlilik oranları ve CO_2 salınımı değişimleri incelenmiştir.

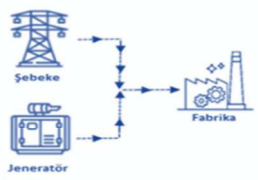
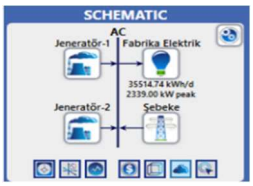
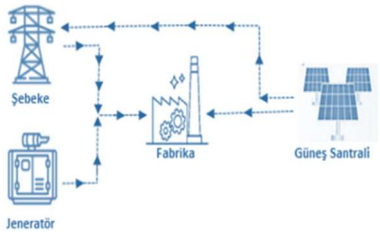
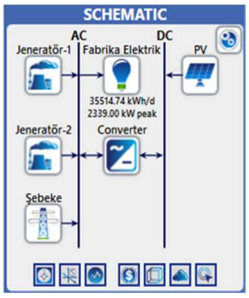
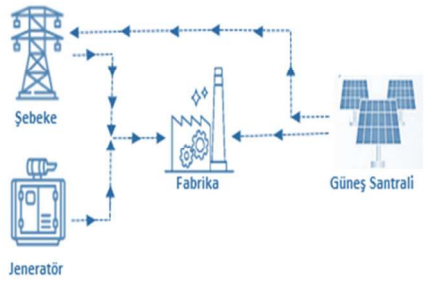
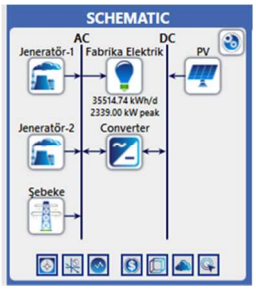
KAPSAM

Bu çalışma Elâzığ ilinde bulunan bir gıda fabrikası verileri dikkate alınarak optimal hibrit güç sistem modeli performansı incelenmiştir. Gıda fabrikası yaklaşık 800'e yakın çalışanı olan ve vardiya sisteminin uygulandığı faaliyet alanı beyaz et olan bir işletmedir. Fabrika entegre bir tesis gibi çalışmaktadır. Fabrikada, Arıtma Tesisi, Soğuk Hava Tesisi, Kazan Dairesi ve İşletme Tesisi olmak üzere 4 farklı tesis bulunmaktadır. Her tesis fabrikanın üretim devamlılığı için farklı görevler doğrultusunda çalışmaktadır. Fabrika faaliyet gösterdiği sektörden dolayı enerji sürekliliği önem arz ekmektedir. İşletme cumartesi ve resmî tatil günleri çalışmayıp bu tarihlerde periyodik bakımlar yapılmakta olup, bunun dışında yıl boyu devamlı çalışmaktadır. Belirtilen işletme zorunlukları kapsamı göz önünde bulundurularak çalışma bu doğrultuda yapılmıştır.

YÖNTEM

Çalışmada analizler dünyada yaygın olarak kullanılan hibrit enerji simülasyon programı olan HOMER Pro kullanarak yapılmıştır. HOMER Pro programı, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız hibrit güç sistemlerinin değerlendirilmesi ve optimizasyonu için tasarlanmıştır (Ener Ruşen ve Koç, 2022). Simülasyon sonuçları teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilerek yatırım için optimum hibrit güç sistem modeline karar verilmektedir. Analizlerde saatlik gerçek elektrik yük profili kullanılmıştır. Ayrıca, güneş ışınım ve sıcaklık verileri "NASA Surface Meteorology and Solar Energy" veri tabanından temin edilmektedir. Her bir senaryo için modeller Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Senaryo Modelleri

Senaryolar	Model	Homer Pro Gösterimi	Model Açıklaması
Senaryo 1			Fabrikanın işletme durumu modellenmiştir. Enerji ihtiyacı şebeke ve jeneratörlerden sağlanmaktadır.
Senaryo 2			Fabrikanın çatı alanı sığabilecek kadar büyüklükte bir güneş enerji santrali tasarımı yapılarak sisteme entegre edilmiştir. (706 kWp)
Senaryo 3			Fabrikanın yıllık toplam elektrik tüketiminin tamamını karşılayabilecek büyüklükte bir güneş enerji santrali modellenmiştir.

BULGULAR

Her bir senaryo için HOMER Pro programında yapılan optimizasyon analizleri, teknik, ekonomik ve çevresel performans çıktıları dikkate alarak değerlendirilmiştir.

Teknik Bulgular

Her bir senaryo için elde edilen teknik analiz sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir. Sadece çatı alanlarının dikkate alındığı Senaryo 2 de toplam enerji talebinin %9.21'i güneş santrallerinden karşılanmıştır. Bu senaryoda üretilen enerjinin tamamına yakını yüke aktarılabilmiş olup öz tüketim oranı %99 olarak gerçekleşmiştir. Senaryo 3 elektrik enerji talebini karşılama oranı en yüksektir fakat bu senaryonun gerçekleşmesi teknik anlamda bazı kısıtları (lisans durumu, sözleşme gücü, elektriksel alt yapı) bulunmaktadır. Bu senaryoda, toplam yıllık enerji talebinin %99.6'si güneş enerji santralinden karşılanmıştır. Üretilen enerjinin tamamına yakını yüke aktarılmış olup sadece %1'lik PV üretimi yıllık talep fazlasından dolayı şebekeye satılmıştır. Ayrıca, elektrik kesintisi

yaşanan süreçte, tesisin enerji talebini sağlayan jeneratörlerin ürettiği enerji %22 oranında azalmıştır.

Tablo 2. Senaryolara Ait Teknik Analizler

Teknik Özellikler	**Senaryo 1**	**Senaryo 2**	**Senaryo 3**
Talep Miktarı(kW)	12.962.882	**12.962.882**	12.962.882
PV Kurulu Gücü (kWp)	-	**706**	7.630
PV Üretim Miktarı (kWh/yıl)	-	**1.194.763**	12.912.241
Şebekeden Enerji Alımı (kWh/yıl)	12.876.900	**11.766.398**	7.613.592
Şebekeye Enerji Satımı (kWh/yıl)	-	**12.958**	6.770.735
Jeneratörlerde Üretilen (kWh/yıl)	85.982	**80.379**	66.658
Talebin Karşılanma Oranı Yıllık (%)	-	**9,21**	99,6

Ekonomik Bulgular

Ekonomik hesaplamalar yapılırken kullanılan piyasada en sık kullanılan PV ve konvertör maliyetleri baz alınmıştır. Faiz ve enflasyon verileri ise Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankasından alınan veriler kullanılmıştır (TCMB, 2024). Alınan veriler HOMER Pro programına girdiler yapılarak ekonomik hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen ekonomik sonuçla Tablo 3' te gösterilmiştir. Yatırım maliyeti en düşük ve iç getiri oranı en yüksek orana sahip olan durum Senaryo 2 olduğu görülmüştür. Bu duruma ve ülkemizdeki faiz enflasyon durumu göz önünde bakıp değerlendirme yapıldığında amortisman süresinin en kısa olan durumunda Senaryo 2 olduğu görülmüştür. Senaryo 3'ün ekonomik açıdan Senaryo 2'nin gerisinde kalma sebebi üretilen enerjinin %52'sini şebekeye sattığından dolayı optimum durumundan uzaklaşmasıdır.

Tablo 3. Senaryolara Ait Ekonomik Analizler

Ekonomik Özellikler	**Senaryo 1**	**Senaryo 2**	**Senaryo 3**
Yatırım Maliyeti ($)	-	**431.113**	5.540.000
Basit Geri Ödeme Süresi (yıl)	-	**3.46**	3.62
Birleşik Geri Ödeme Süresi (yıl)	-	**2.86**	2.98

Ekonomik Bulgular 2 (Karbon Vergisi Dahil Edilmiş)

Bu bölümde ayrıca sıfır karbon emisyonu hedefleri doğrultusunda sık sık gündeme gelen ve bazı ülkeler tarafından uygulamaya geçirilmesi planlanan karbon vergisin uygulamasının önerilen hibrit güç sistemi modeline etkileri ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Doğaya salınan karbon ton başına vergiler baz alınarak programa girdiler yapılmıştır (Çiçek ve Çiçek, 2012). Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Tablo 4'te görülmektedir. Bu verginin uygulanması durumunda yatırım amortisman sürelerinin kısaldığı iç getiri oranın artığı görülmüştür.

Tablo 4. Senaryolara Ait Ekonomik Analizler 2

Ekonomik Özellikler	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Yatırım Maliyeti ($)	-	**431.113**	5.540.000
Basit Geri Ödeme Süresi (yıl)	-	**3.38**	3.42
Birleşik Geri Ödeme Süresi (yıl)	-	**2.81**	2.83

Çevresel Bulgular

Çevresel analiz sonuçları Tablo 5'te görülmektedir. Mevcut işletme durumuna göre değerlendirmede Senaryo 2'de önerilen hibrit güç sisteminin uygulanması durumunda %16, Senaryo 3'te önerilen modelin uygulanması durumunda ise %46 oranında karbon salınımının azaltılabildiği görülmüştür. Diğer taraftan, doğaya salınan karbondioksit (CO_2) miktarını sıfır emisyona düşürmenin çok zor olduğu özelikle yenilenebilir enerji oranının %100'e doğru yükselmesi için kurulması gereken güneş enerji santral boyutunun üstel olarak artırılması gerektiği belirlenmiştir.

Tablo 5. Senaryolara Ait Çevresel Analizler

Çevresel Özellikler	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Karbondioksit (CO2) (kg/yıl)	6.298.444	**5.234.814**	3.399.171

SONUÇ

Bu çalışmada, bir endüstri tesisinin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere planlanan güneş enerjisi santralinin optimal düzenlemesi incelemiştir. Önerilen modelde, endüstri tesisinin faaliyet durumu, yük profili ve santral kurulum alanı sınırları göz önünde bulundurularak çeşitli senaryolar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Sonuçlar, ilgili tesisin çatı tipi güneş enerji santralli bir hibrit güç sistemi uygulanması durumunda toplam enerji talebinin sadece %9.21'inin güneş santrallerinden karşılanabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte bu senaryoda üretilen enerjinin tamamına yakını yüke aktarılabilmiş olup öz tüketim oranı maksimize edilebilmiştir. Diğer taraftan, elektrik kesintisi yaşanan süreçte, tesisin enerji talebini sağlayan jeneratörlerin ürettiği enerji %22 oranında azaltılabilmiş ve daha çevreci bir enerji yönetimi sağlanabilmiştir. Ayrıca, karbon vergisi dikkate alınarak duyarlılık analizleri proje amortisman sürelerinin 2,81 yıla kadar düşebildiğini ve tüketicilerin özellikle güneş enerji bazlı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimini hızlandıracağını göstermiştir. Sonuçlar, güneş enerjisi sistemlerinin bir endüstri tesisine teknik, ekonomik ve çevresel açıdan önemli katkılar sağlayacağını göstermiştir.

KAYNAKÇA

Akkaya, S., & Oy, S. A. (2021). Samsun, Bayburt ve Mersin İllerine Kurulabilecek Güneş Enerjisi Santrallerinin Modellenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(2), 759-773.

Arabshahi, M. R., Torkaman, H., & Keyhani, A. (2020). A method for hybrid extraction of single-diode model parameters of photovoltaics. Renewable Energy, 158, 236-252.

Bana, S., & Saini, R. P. (2017). Identification of unknown parameters of a single diode photovoltaic model using particle swarm optimization with binary constraints. Renewable Energy, 101, 1299-1310.

Baş, Z., Zıba, S., & Yılmaz, A. S. (2017). Fotovoltaik üretim sistemlerinin şebekeye ve maliyetlere etkisinin incelenmesi. KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(3), 72-78.

Çevik, M. S. (2018). Bir Gıda Fabrikasında Enerji Verimliliği Performans Değerlendirmesi (Yüksek Lisans Tezi). Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karaman.

Çiçek, H., & Çiçek S. (2012). İ.Ü Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 47, 95-119.

Davarcıoğlu, B., & Lelik, A. (2017). Sanayide iklim değişikliğine uyum ve eko-verimlilik (temiz üretim) programi: Örnek uygulamalar. Mesleki Bilimler Dergisi (MBD), 6(2), 94-105.

Ener Ruşen, S. ve Koç, M. (2022) Elektrik İhtiyacının Sağlanmasında Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistem Tasarımı: Bursa Tekstil Fabrikası Örneği. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 27(3).

Ener Ruşen, S., & Koç, M. (2019) Enerji tüketim ve CO2 salınım değerlerinin analizi; bir gıda fabrikası örneği, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 8(4), 1478-1488.

Seloğlu Genç, H. (2019). Yenilenebilir enerjili hibrit enerji santrallerinin modellenmesi ve analizi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.

Tabak, A. (2021). Analysis and Design of a Hybrid Energy Production System to Meet the Energy Demand of a Plant in Konya. International Journal of Engineering Research and Development, 13(1), 220-230.

TCMB, (2024). Faiz oranlarına ilişkin basın duyurusu, Sayı: 2024-22, Erişim Adresi: https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Duyurular/Bas in/2022/DUY2024-22, (E. T. 12.04.2024)

Yılmaz, G., Şahin, M., Akyazı, Ö., & Öztürk, B. (2023). Şebeke Bağlantılı Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin Homer ile Ekonomik ve Çevresel Analizi: İzmir Endüstriyel Bölgesi Örneği. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 13(3), 1090-1106.