

Tramvayın Güneş Enerjisi Destekli Bir Mikro Şebekeye Entegrasyonu

Mine Sertsöz^{1*}, Mehmet Fidan², Murat Başaran³

^{1*} Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma MYO, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1641-9191), msertsoz@eskisehir.edu.tr

² Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma MYO, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2883-9863), mfidan@eskisehir.edu.tr

³ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma MYO, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8756-8883), [muratb@eskisehir.edu.tr](mailto:мурatb@eskisehir.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 16 Ocak 2023 ve Kabul Tarihi 25 Mart 2023)

(DOI: 10.31590/ejosat.1235995)

ATIF/REFERENCE: Sertsöz, M., Fidan, M. & Başaran, M. (2023). Tramvayın Güneş Enerjisi Destekli Bir Mikro Şebekeye Entegrasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 79-84.

Öz

Raylı sistemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, özellikle de güneş enerjisi, son yıllarda üzerinde çok fazla araştırma ve uygulama yapılan konulardan biridir. Bunun yanında mikro şebekeler, ileriki yıllarda çok daha fazla kullanılacak olan akıllı şebekelerin en önemli girdilerinden biridir. Bu çalışmada da tüm bu amaçlara hizmet etmesi için tramvay hattına enerji temin eden, güneş enerjisi kaynaklı bir mikro şebeke tasarlanmıştır.

Tasarlanan bu mikro şebeke -en ekonomik yolla- bir tramvay hattını (ESTRAM) nasıl besleyeceği günün saatlerine, bu saatlerdeki elektrik bedeline ve güneş enerjisinden faydalanma oranına göre geliştirilen bir akış şeması ile modellenmiştir. Bu akış şemasının bir noktasında karar verici olarak bir optimizasyon problem tanımlanarak Doğrusal Programlama ile çözülmüştür. Sonuç olarak da bu mikro şebekenin amortisman süresi de dahil şu anki tramvay işletme maliyetinden daha karlı olacağı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Raylı Sistemler, Enerji Verimliliği, Güneş Enerjisi, Mikro Şebekeler

Integration of the Tram to A Solar Supported Micro Grid

Abstract

The use of renewable energy sources in rail systems, especially solar energy, is one of the subjects on which a lot of studies and applications has been made in recent years. In addition, microgrids are one of the most important inputs of smart grids, which will be used much more in the coming years. In this study, a solar-based micro-grid that supplies energy to the tram line has been designed to serve these purposes.

Designed micro-grid will feed a tram line (ESTRAM) for to obtain the most economical option is modeled with a flow chart developed according to the hours of the day, electricity prices in these hours and solar energy utilization rate. At one point of this flowchart, an optimization problem is defined as a decision maker and solved by Linear Programming. As a result, it has been found that this microgrid will be more profitable than the current tram operating cost, including the amortization period.

Keywords: Rail Systems, Energy Efficiency, Solar Energy, Micro Grids.

* Sorumlu Yazar: msertsoz@eskisehir.edu.tr

1. Giriş

Yeşil ve düşük emisyonlu yolcu ve yük taşımacılığı, sera gazlarının neden olduğu çevresel sorunları azaltmak ve enerji yoksunluğunun önüne geçmek için tüm dünyada ilgi görmektedir. Bu sebeple dünyada mikro şebekelere entegre bir ulaşım sistemi tasarlamak önemli bir amaca dönüşmüştür.

Bu konuyla ilgili PV/rüzgâr/hibrit bir depolamanın yer aldığı Elektrikli demiryolu için yenilikçi bir mikro şebeke tasarlanmıştır. Bu sisteme ayrıca hızlı şarj EV sistemi entegre edilmiştir. Tasarımın uygulanabilirliği MATLAB/Simulink'te şebeke bağlı ve şebekesiz olarak test edilmiştir. Böylelikle ana şebekeden çekilen enerjinin düştüğü bulunmuştur (Ahmadi et al., 2021). Raylı sistemlerdeki güç temininin gizli tehlikelerinden dolayı demiryollarında güneş ve rüzgâr ile bütünleştirilmiş mikro şebekelerin kullanımına ihtiyaç olduğunu ancak bunun yanında mikro şebekelerin harmonikler gibi bazı sorunlardan dolayı kullanımında sıkıntılar olabileceğini savunmuştur (Xie et al., 2020). Bu çalışmada raylı sistem mikro şebekesine ait bir enerji akışı sunularak doğrusal programlama ile optimize edilmeye çalışılmıştır. Bunun için elektrik ücreti, enerji depolama verimlilikleri, trenin güç tüketimleri ve zaman kavramları kullanılmıştır. Bu şekilde işletmenin operasyon maliyetini düşürdüğü bulunmuştur (Ahmadi et al., 2015). Başka bir çalışmada hem DC hem de AC besleme sistemine sahip trenler için yol boyunca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliğini göstermiş böylelikle şebekenin kesinti, arıza, doğal afet gibi durumlarda kesintiye uğraması ile trenlerin enerjisiz kalmasının önüne geçilebileceğini bulmuştur. Bu şekilde oluşturulan mikro şebekenin aynı zamanda gerilim dalgalanmalarının da önüne geçilebileceğini savunmuştur (Cheng et al., 2021). Bunun dışında yenilenebilir enerji kaynakları ile hibrit edilmiş bir tren işletme sisteminin enerji kontrolü de literatürde çokça çalışılan konulardan biridir. Bu çalışmada bu sefer bu tarz sistemler için bir çoklu etmen (multiagent) sistem kullanılarak enerji yönetimi için bir kontrol geliştirilmiştir. Bu kontrol yöntemi ile sistemin sürekliliği ve stabilitesinin arttığı gözlemlenmiştir (Boudoudouh & Maaroufi, 2019).

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma yapılırken üç farklı yöntemden faydalanılmıştır. Bunlardan ilki bir akış şeması oluşturularak sistemin çalışma mantığını daha anlaşılır kılmakken diğer ikisi aşağıda verilmiştir:

2.1. Güneş Enerjisinden Faydalanma Oranı

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilen ortam sıcaklığı değeri ve zamanla değişen küresel güneş radyasyonu değeri aşağıda verilen (1) no'lu denklemlerle yerleştirilerek güneş panellerinden elde edebilecek maksimum güç bulunmuştur:

$$P(t) = \eta AG(t)(1 - 0.005(T(t) - 25)) \quad (1)$$

(Basaran Filik et al., 2018; Tao et al., 2012 and Chen et al., 2012)

η , sistem verimi;

A, toplam panel alanı (m^2); (bu çalışmada $100 m^2$ alınmıştır)

G (t) zamanla değişen küresel güneş radyasyonu değeri (Watt / m^2);

T (t), t zamandaki ortam sıcaklığı değeridir ($^{\circ}C$).

Bu çalışmada kablo verimlilikleri ve batarya verimi %100 kabul edilmiştir. Sıcaklıktan kaynaklı panel verim düşüşü hesaba katılmamıştır. Panel verimi %19'dur (polikristal panel) (www.lanitisenergy.com). İnverter verimi ise %98'dir (www.library.e.abb.com).

2.2. Doğrusal Programlama (DP) ile Optimizasyon

Şu an bildiğimiz Doğrusal Programlama yöntemi ilk olarak 1930 yılında Leontief tarafından geliştirilmiştir. Daha sonrasında ise Hitcock ve Koopsmans gibi bilim adamları DP'yi ulaştırma problemi çözümünde kullanmışlardır. İleriki yıllarda birçok ilerleme kaydetmiş olmakla birlikte DP'nin altında yatan mantık hep aynıdır. Doğrusal olarak artan veya azalan bir parametreyi, belli kısıtlar altındaki karar değişkenlerini en uygun forma getirerek amaç fonksiyonunu minimize veya maksimize etmektir.

Bu çalışmada amaç fonksiyonu şu şekildedir:

$$E = \sum_{b=6}^{24} P_b \Delta T e_b \quad (2)$$

Yukarıda verilen amaç fonksiyonunda;

6'dan başlayıp 24'e kadar giden b parametresi tramvayın işletmede olduğu zamanları;

E, toplam enerji maliyetini (TL);

P_b , b zamanında trenin ihtiyaç duyduğu elektrik gücünü (kW);

e_b , b zamanındaki elektrik tarifesi (kWh/TL); İfade etmektedir.

Kısıtlar ise:

$$E_b = E_b^S + E_b^G \quad (3)$$

$$E_b^s = E_p + E_n + E_g \quad (4)$$

Puant ve gündüz aynı anda kullanılmamakla birlikte 4.denkleme hangi tarifieden kullanıldığını anlamak için ihtiyaç vardır.

$$6193 \text{ kWh} \geq E_b^s \geq 0 \quad (5)$$

6193 kWh: Tramvayın Bir Günde Harcadığı En Fazla Enerji Miktarı

$$8425 \text{ kWh} \geq E_b^g \geq 0 \quad (6)$$

8425 kWh: En Güneşli Günde Güneşten Temin Edilebilecek Bir Günlük Enerji Miktarı

$$E_p \geq 0 \quad (7)$$

$$E_n \geq 0 \quad (8)$$

$$E_g \geq 0 \quad (9)$$

Kısıtlarda belirtilen:

E_b^s , b zamanında şebekeden çekilen elektrik enerjisini (kWh);

E_b^g , b zamanında güneşten elde edilen elektrik enerjisini (kWh);

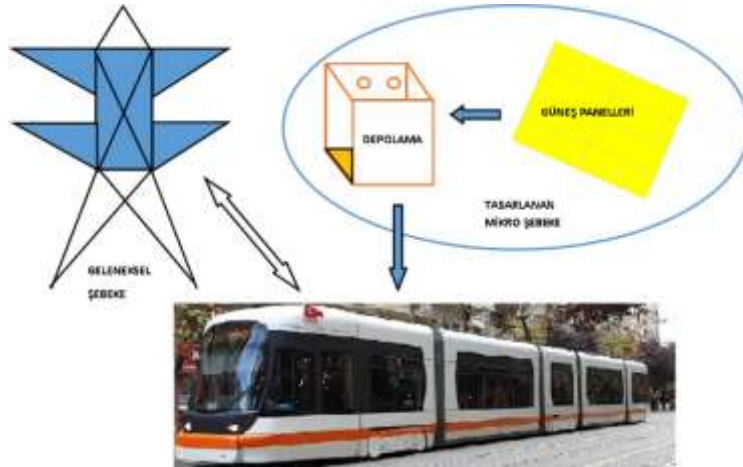
E_p , puant saatte şebekeden çekilen elektrik enerjisini (kWh);

E_g , gece saatinde şebekeden çekilen elektrik enerjisini (kWh);

E_n , normal saatte şebekeden çekilen elektrik enerjisini (kWh); ifade etmektedir

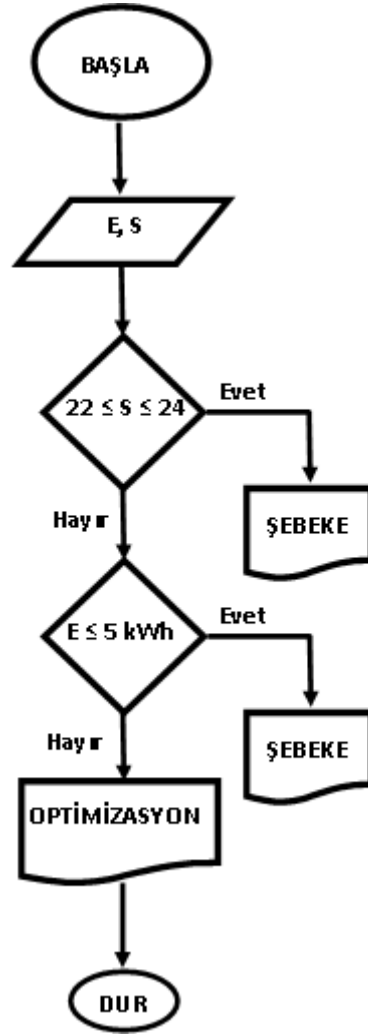
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Aşağıda Şekil 1'de bu çalışma tasarlanırken kullanılan geleneksel şebeke ile bu çalışmada tasarlanan bir mikro şebeke şeması verilmiştir. İki şebekenin de amacı tramvayın elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmektir.



Şekil 1. Tramvayın Enerji Temin Yolları (Figure 1. Energy Supply Options of the Tram)

Bu çalışma öncelikle bir akış şeması ile modellenmiştir. Şekil 2'de gösterilen akış şemasında öncelikle E ve S değişkenleri kullanıcıdan alınır. E, tramvayın kullandığı enerjiyi simgelerken S de saat bilgisidir. Saat bilgisi girilirken 24 saatlik (6, 7, 8,.....23, 24, 1) şekilde girilmektedir. Sonrasında saat bilgisinin 22 ile 24 arasında olup olmadığına karar verilmektedir. Cevap "Evet" ise enerji şebekeden temin edilmektedir. Çünkü bu saatler üç zamanlı tarife göre en ucuz saatlerdir. Cevap "Hayır" ise kullanılan enerjinin 5 kWh'den küçük eşit olup olmadığına bakılır. 5 kWh olmasının sebebi trenin çok küçük olan ihtiyaçlarında direk şebekeden enerjiyi temin etmesidir. Cevap "Evet" ise enerji şebekeden temin edilmektedir. Cevap "Hayır" ise güneş enerjisi mi şebeke mi kullanılacağına optimizasyon ile karar verilir. Optimizasyon yöntemi ile ilgili ayrıntılı açıklama yukarıda verilmiştir. Böylelikle pik noktalarında şebekeye fazla yüklenmemek adına güneş enerjisinin desteği sağlanmış olacaktır. Sonrasında da akış şeması durdurulur.



Şekil 2. Akış Şeması (Figure 2. Flowchart)

Şekil 2’de verilen akış şemasında gösterilen "Optimizasyon Gerekli" sekmesindeki optimizasyon problem çözmek için yöntem olarak daha önce literatürde de kullanılan Doğrusal Programlama [3] kullanılarak şebeke mi (ve hangi tarife?) güneş enerjisi mi karar verilmiştir. Fakat literatürden farklı olarak bu hesaplamada üç zamanlı elektrik tarifesi kullanılmıştır. İki farklı tarihe ait maliyeti minimize etmeye yönelik amaç fonksiyonu ve kaynakların kısıtları kullanılarak ulaşılan optimizasyon sonucu aşağıda Tablo 1’de paylaşılmıştır:

Tablo 1. Enerji Temin Dağılımları (Table 1. Distributions of Energy Supply)

Enerji Temini	Güneş (kWh)	Şebeke (Normal) (kWh)	Şebeke (Puant) (kWh)	Şebeke (Gece) (kWh)	Maliyet (TL)
Tarih: 09.09.21	5206	802	0	185	14804
Tarih: 09.01.21	1461	3000	1547	185	14478,5

Tablo 1’e bakıldığında ısımanın fazla olduğu günlerde güneş enerjisi teminin puant saatte şebekeden elektrik enerjisine hiç ihtiyaç duymadığı; bunun yanında ısımanın az olduğu tarihte mecburen puant saatte de kullanıma ihtiyaç duyduğu görülmektedir.



Şekil 3. Enerji Temin Dağılımları Grafiği (Figure 3. Graph of Energy Supply Distributions)

Şekil 3'te Tablo 1'de verilen ifadeler grafiksel olarak ifade edilmiştir. Bu iki tarihin tek ortak yanı gece saatlerinde enerji teminini şebekeden yapmaları olmuştur. Yapılan optimizasyon sonucunda ağustos ayındaki toplam tramvayın günlük işletme maliyeti 14804 TL, ocak ayında ise 14478,5 TL olarak bulunmuştur. Bu maliyetlerin içinde güneş enerjisi kurulum maliyeti (paneller, inverter ve depolama) da mevcuttur.

4. Sonuç

Bu çalışma; Eskişehir ilinde 100 m² güneş panelleri ile kurulacak olan bir mikro şebekenin, bir tramvaya (ESTRAM) enerji temin yöntemleri üzerine tasarlanmıştır. Tramvay sadece mikro şebekeden değil yer yer geleneksel şebekeden de beslenmektedir. Tramvayın enerji teminini nereden sağlayacağı kararı da önce bir akış şeması ardından da optimizasyonun gerekli olduğu noktada doğrusal programlama kullanılarak verilmiştir.

Maliyet açısından doğrusal programlama ile çözümlenen optimizasyon problemi yorumlandığında, yaklaşık üç sene sonunda tramvayın işletme maliyetlerinin ağustos ayı için 9598 TL; ocak ayı için 13017,5 TL lira olacağı bulunmuştur. Her iki tarihte şu an için 16 bin TL olarak hesaplanan bir mikro şebekesiz sistemden –amortisman süresi de dahil- kârlı olacaktır. Bu da bu şekilde bir yatırım kararı almanın mantıklı olduğunun göstergesidir.

Bu çalışmada tek bir ekonomik bir amaç fonksiyonu, belirtilen kısıtlar altında optimize edilmiştir. Fakat ele alınan problem gelecek çalışmalarda çevresel etkilerin de göz önünde bulundurulduğu çok amaçlı bir optimizasyon problemine evrilmeye müsaittir.

5. Teşekkür

Vermiş olduğu teknik bilgilerden dolayı ESTRAM'a, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Bu çalışma 102 BAP 22ADP134 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynakça

- Ahmadi, M., Kaleybar, H. Brenna, J. M., Castelli-Dezza F. and Carmeli, M. S. (2021). DC Railway Micro Grid Adopting Renewable Energy and EV Fast Charging Station. *2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, pp. 1-6, doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope51590.2021.9584729.
- Basaran Filik, Ü., Filik, T., Gerek, Ö.N. (2018). A Hysteresis Model for Fixed and Sun Tracking Solar PV Power Generation Systems, *Energies*, doi:10.3390/en11030603., 11(3): 603 (2018).
- Boudoudouh, S. and Maaroufi, M., (2019). Renewable Energy Sources Integration and Control in Railway Microgrid. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 2, pp. 2045-2052, doi: 10.1109/TIA.2018.2878143.
- Chen, S.X., Gooi, H.B., Wang, M. (2012). Sizing of energy storage for microgrids. *IEEE Trans. Smart Grid*, 3: 142–151.
- Cheng, P., Kong, H., Ma, J. and Jia, L. (2020). Overview of resilient traction power supply systems in railways with interconnected microgrid. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 7, no. 5, pp. 1122-1132, doi: 10.17775/CSEEJPES.2020.02110.
- Novak, H., Vařak, M., Gulin, M., & Leřić, V. (2015). Railway transport system energy flow optimization with integrated microgrid. *In Proceedings of the 12th International Conference on Modern Electrified Transport, MET*, vol. 2015, pp. 88-94.
- Tao, C., Shanxu, D., Changsong, C. (2010). Forecasting Power Output for Grid-Connected Photovoltaic Power System without using Solar Radiation Measurement. *Proceedings of the 2010 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, 16(18): 773–777, Hefei, China, (2010).

Xie, S., Gao, Y., Tian M. and Jia, Z. (2020). A novel power supply method for railway stations in Western China based on microgrid. 2020 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), 2020, pp. 1085-1089, doi: 10.1109/ACPEE48638.2020.9136476.

<http://www.lanitisenergy.com/en/subsidiariesconercon-energy-solutions/photovoltaic-systems> 5 ocak 2022 tarihinde ulaşıldı.

<https://www.seiso.net/Content/img/Product/Catalog/9b88-06.%20ABB%2030%20kW.pdf> 22 şubat 2023 tarihinde ulaşıldı.