

PAPER DETAILS

TITLE: Enerji Depolamalı Bir Güneş Enerjisi Sisteminde Tepe Tiraslama ile Yük Profilinin İyileştirilmesi

AUTHORS: İlker Dursun

PAGES: 414-422

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2973816>



Araştırma Makalesi - Research Article

Enerji Depolamalı Bir Güneş Enerjisi Sisteminde Tepe Tıraşlama ile Yük Profiline İyileştirilmesi

Improving the Load Profile by Peak Shaving in a Solar Energy System with Energy Storage

İlker Dursun^{1*}

Geliş / Received: 25/02/2023

Revize / Revised: 03/06/2023

Kabul / Accepted: 03/06/2023

ÖZ

Artan nüfus, gelişen sanayi ve teknoloji, enerjiye olan talebi her geçen artırmaktadır. Bununla beraber, küresel ısınma, iklim değişiklikleri ve sürdürülebilirlik gibi etkenler, ilgiyi yenilenebilir enerjiye kaydırmaktadır. Ancak yenilenebilir enerji sistemlerinin de düzensiz üretim rejimleri nedeniyle, elektrik şebekelerinde istenilen esneklik sağlanamamaktadır. Bu soruna çözüm olarak, yenilenebilir enerji sistemlerinde enerji depolama tesislerinin kurulması fikri ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, bir üniversite yerleşkesinin bir yıllık gerçek elektrik tüketim değerleri incelenmiş, bu yerleşkeye enerji depolamalı bir güneş enerji sisteminin (GES) kurulması durumundaki elektrik üretim ve tüketim değerleri analiz edilmiş, enerji depolama sistemi ile tepe yük tıraşlama yapılarak yük profiline iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Günlük, haftalık, aylık ve yıllık enerji üretim-tüketim değerleri detaylı olarak incelenmiş, yaz ve kış dönemlerinde elektrik üretim ve tüketim profillerindeki değişim, yük tıraşlama ve yenilenebilir enerji üretimi ile elektrik şebekesine olan katkılarla beraber, çevresel ve ekonomik etkiler de ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler- Güneş Enerjisi Sistemleri, Enerji Depolama, Tepe Yük Tıraşlama, Yük Profili İyileştirme

ABSTRACT

Increasing population, developing industry, and technology lead to increase the demand for energy day by day. However, the factors, such as global warming, climate change, and sustainability are shifting attention to renewable energy. But, the desired flexibility for power grids can't be provided because of the irregular production regimes of renewable energy systems. As a solution to this problem, the idea of energy storage facilities has emerged. In this study, real electricity consumption values of a university campus were examined for one-year period, electricity production and consumption values in case of installing a photovoltaic solar energy system (PV) with energy storage on the roof of the university building were analyzed, and the improvements on the load profile were evaluated with the energy storage system by peak shaving. The university's daily, weekly, monthly, and annual energy production-consumption values, the changes in the electricity production and consumption profiles in the winter and summer seasons were studied detailedly. Also, the contribution to the power grid with the peak shaving and renewable energy production were handled with the environment and economic impacts.

Keywords- Solar Energy Systems, Energy Storage, Peak Load Shaving, Improving Load Profile

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ilkerdursun@subu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2550-8666>)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Esentepe Kampüsü, Sakarya, Türkiye

I. GİRİŞ

Küresel ısınma, hava kirliliği, enerji arzındaki sıkıntılar ve yüksek enerji maliyetleri, günümüzün öncelikli gündemini oluşturmaktadır. Kaynakları tükenmekte olan ve çevre için önemli bir sorun teşkil eden fosil yakıtların kullanımı her geçen gün azalmakta, alternatif enerji kaynaklarının kullanımı ise her geçen gün artmaktadır. Güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle, dalga enerjisi vb. kaynaklardan yenilenebilir enerji üretiminde önemli artışlar gözlenmektedir. Ülkemizde özellikle güneş ve rüzgâr enerjisiyle ilgili yatırımlarda son yıllarda büyük bir artış gözlemlenmektedir. Bununla beraber, bu kaynaklar sürekli ve aynı seviyede enerji üretemedikleri için, düzensiz rejimde elektrik üretimi sağlarlar. Aynı şekilde tüketim noktalarında da yük profiline göre farklı tüketim rejimleri oluşmakta, elektrik şebekelerinin bu düzensiz üretim ve tüketim karakteristiklerine göre uyarlanması ve planlanması gerekmektedir.

Elektrik tüketim gruplarına bakıldığında, bunların mesken, ticarethane, sanayi, tarımsal sulama ve aydınlatma olmak üzere 5 ana başlıktan oluştuğu görülmektedir. Bu tüketim gruplarının hepsinin kendine özgü yük karakteristikleri mevcuttur. Aydınlatma grubu yalnızca akşamları devreye girerken, tarımsal sulama grubu genellikle yaz döneminde faal olmaktadır. Ticarethaneler ve sanayi tüketicileri ise mesai saatlerine göre tüketim gerçekleştirmektedirler. Meskenlerdeki yük profili ise hane halkının yaşam şekline göre değişkenlik göstermektedir. Elektrik tüketimindeki bu değişken yük profilleri, gündüz, gece, yaz, kış gibi farklı zaman dilimlerinde farklı karakteristikler göstermektedir. Düzensiz rejimdeki bu yük profillerinin ihtiyacını karşılamak üzere, üretim santralleri ile elektrik iletim ve dağıtım şebekeleri gerekli planlamaları ve yatırımları yapmak durumundadır.

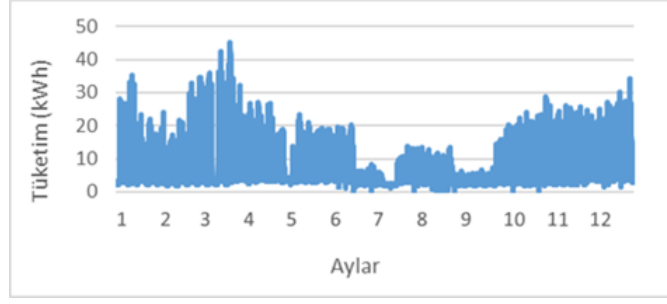
Düzensiz rejimdeki elektrik tüketim talepleri, üretim santralleri ve elektrik şebekelerindeki maliyetleri arttırmaktadır. Aynı şekilde dağıtım sistemine bağlanan ve düzensiz rejimde elektrik üreten güneş ve rüzgâr santralleri de dağıtım sistem operatörlerinin yönetmesi gereken başka bir zorluktur. Bu probleme karşın, talep tarafı yönetimi ve enerji depolama sistemlerinin ön plana çıktığı görülmektedir [1]. Bu sistemlerde, enerji fiyatları ve elektrik üretim miktarına göre talep yükünü yönetimi optimize edilmeye çalışılmaktadır. Son 10 yıldır, batarya enerji depolama sistemleri ve bunların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyonunda önemli gelişmeler yaşanmaktadır [2]. Uzun dönemli enerji depolama sistemlerinde farklı çözümler mevcuttur. Bunlardan en popüler ve yaygın olarak kullanılanı lityum-iyon bataryalardır [3]. Bu bataryalar, büyük şebeke ölçeğinde yük dengelemek ve yenilenebilir enerji kapasitelerinin arttırmak amacıyla kullanılabilirliği gibi, aynı zamanda elektrikli araçlar için de büyük bir öneme sahiptir [4]. Bataryaların optimum kullanımı için en önemli araç batarya yönetim sistemidir (BMS). Yenilenebilir enerji kaynaklarının belirsiz üretim rejimleri ve aynı şekilde yük tarafındaki talebin de değişken oluşu, bu problemin çözümünde bataryaları ön plana çıkarmaktadır [5]. Bu amaçla çoklu değişken kriterler içerisinde bulanık mantık teknikleri kullanılarak karar destek sistemleri geliştirilmektedir [6]. Bataryaların daha uzun ömürlü olabilmeleri için, batarya hücrelerinde ve dizilerinde de şarj durumlarına bakılarak optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır [7]. Şebekede yenilenebilir enerji ve enerji depolama sistemlerinin farklı uygulamaları olmakla beraber, bunların teknik ve ekonomik analizlerinin de yapılması, yatırım maliyetleri ile elde edilecek faydanın ortaya konulması önemlidir [8].

Bu çalışma kapsamında, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksekokulu Binası'nın 2022 yılına ait gerçek elektrik tüketimleri kullanılarak, binaya 150 kWp kapasitesinde güneş enerjisi sistemi ile 100 kWh'lık bir enerji depolama sistemi kurulması durumunda, elektrik üretim, tüketim profillerinin incelenmesi ve depolama sistemi ile tepe tıraşlama senaryoları oluşturularak yük profilinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, üniversitenin normal eğitim dönemi ve yaz dönemindeki elektrik tüketim değerlerine göre enerji depolama sisteminin farklı kullanım senaryoları ve elde edilen iyileştirmeler vurgulanmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

A. Elektrik Tüketim Verileri ve Yük Profilleri

Bu çalışmada, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nin (SUBÜ) bir yerleşkesinin 1 Ocak 2022 ile 31 Aralık 2022 dönemine ait saatlik periyotta 1 yıllık elektrik tüketim verisi kullanılmıştır. Veriler, yerleşkede mevcut bulunan uzaktan otomatik sayaç okuma sistemi (OSOS) üzerinden çekilmiştir. Elektrik tüketiminin aylara göre dağılımı Şekil 1'de görülmektedir.



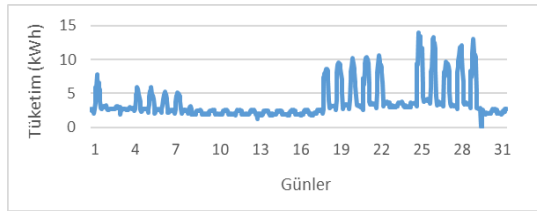
Şekil 1. 2022 yılı elektrik tüketimi

Yük profilleri, tüketici türüne ve kullanım alışkanlıklarına göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin bir ticarethane veya sanayi tipi tüketicide, akşam saatleri ve hafta sonları genellikle elektrik tüketimi gözlenmezken, meskenlerde ise bunun tam tersi durum gerçekleşmekte ve hane halkının evde olduğu zamanlar tüketimler artmaktadır. Bu durum eğitim kurumlarında da farklılık göstermektedir. Çalışmada ele alınan üniversite yerleşkesinde, eğitimin devam ettiği kış ve bahar aylarında yüksek, yaz aylarında ise daha düşük seyreden elektrik tüketimleri Tablo 1’de açıkça görülmektedir.

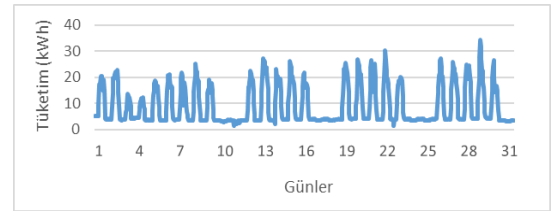
Tablo 1. Aylık Elektrik Tüketim Tablosu

Aylar	Elektrik Tüketimi (kWh)
Ocak	5.367
Şubat	4.675
Mart	7.781
Nisan	5.981
Mayıs	4.844
Haziran	3.845
Temmuz	2.735
Ağustos	3.319
Eylül	2.679
Ekim	5.125
Kasım	5.839
Aralık	6.693
Toplam	58.883

Yük profillerindeki değişimleri daha detaylı kavrayabilmek için, aşağıdaki şekillerde Temmuz ve Aralık aylarına ait aylık, haftalık, günlük ve saatlik elektrik tüketimleri oluşturulmuştur.



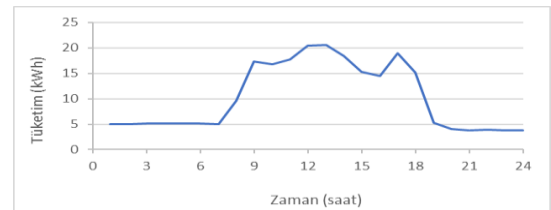
Şekil 2. Temmuz ayı elektrik tüketimi



Şekil 3. Aralık ayı elektrik tüketimi



Şekil 4. Haftalık elektrik tüketimi

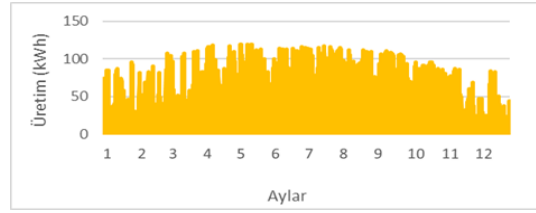


Şekil 5. Günlük elektrik tüketimi

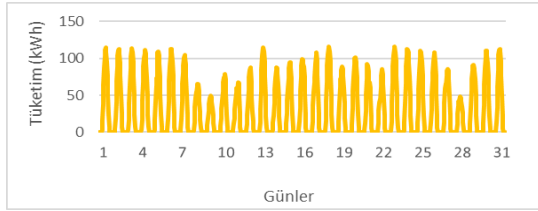
B. Güneş Enerjisi Sistemi (GES) ile Elektrik Üretim Analizleri

Fotovoltaik güneş enerji sistemleri (PV), dünyada en çok büyüyen endüstrilerden biridir. Artan talebi karşılamak ve PV panellerdeki verimi arttırmak için yoğun çalışmalar yapılmaktadır [9]. Yapılan Ar-Ge çalışmaları neticesinde birim alanda üretilen elektrik miktarı artarken, birim elektrik üretimi başına düşen yatırım maliyetleri düşmektedir. Bununla beraber, enerji maliyetlerindeki yükseliş, güneş enerjisi sistemlerine olan talebi artırmaktadır. Diğer taraftan, enerji arzındaki darboğaz, çevresel kaygılar, fosil kaynaklarının tükenmesi gibi etkenler, ülkelerin yenilebilir enerji konusundaki politikalarını ve yol haritalarını belirlemektedir [10].

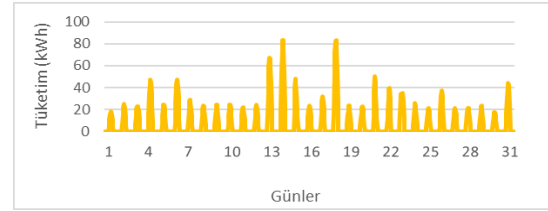
Bu bölümde, SUBÜ yerleşkesinin çatı alanına 150 kWp kapasitede bir GES kurulması durumunda üretililecek elektrik enerjisi miktarı hesaplanmış ve farklı zaman aralıkları için elde edilen üretim miktarları analiz edilmiştir. Üretim değerleri, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Enerji Departmanı Yenilebilir Enerji Laboratuvarı'nın PVWatts isimli uygulaması kullanılarak elde edilmiştir [11]. Elde edilen sonuçlara göre, yıllık toplam elektrik üretimi Şekil 6'da, Temmuz ayı elektrik üretimi Şekil 7'de, Aralık ayı elektrik üretimi ise Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 6. Yıllık elektrik üretimi



Şekil 7. Temmuz ayı elektrik üretimi



Şekil 8. Aralık ayı elektrik üretimi

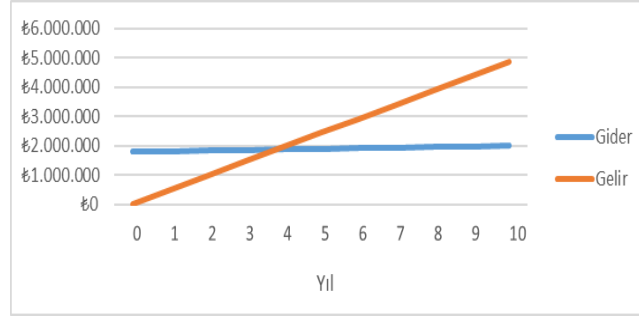
Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, yıllık toplam 178.000 kWh'lik elektrik üretililebileceği, en yüksek üretimin 23.728 kWh ile Temmuz ayında, en düşük üretimin 5.588 kWh ile Aralık ayında meydana geldiği görülmektedir. Tablo 2'de ise, SUBÜ'nün Sakarya ili Serdivan İlçesi'ndeki bir yerleşkesine kurulacak 150 kWp bir GES tesisinin aylık ve yıllık bazda toplam elektrik üretim potansiyeli görülmektedir.

Tablo 2. GES Aylık Elektrik Üretim Tablosu

Aylar	Elektrik Üretimi (kWh)
Ocak	7.494
Şubat	8.263
Mart	12.516
Nisan	16.728
Mayıs	20.716
Haziran	22.571
Temmuz	23.728
Ağustos	21.626
Eylül	18.110
Ekim	12.604
Kasım	8.039
Aralık	5.588
Toplam	177.983

Üniversite yerleşkesine kurulacak GES tesisi için 600 USD/kWp birim fiyat baz alınmıştır. Buna göre kurulması planlanan 150 kWp'lik GES'in maliyeti 90.000 USD etmektedir. Dolar kuru takriben 20 TL alınarak, GES tesis bedeli 1.800.000 TL olarak hesaplanmıştır. 100 kWh'lik lityum-iyon batarya tesisinin yaklaşık maliyeti

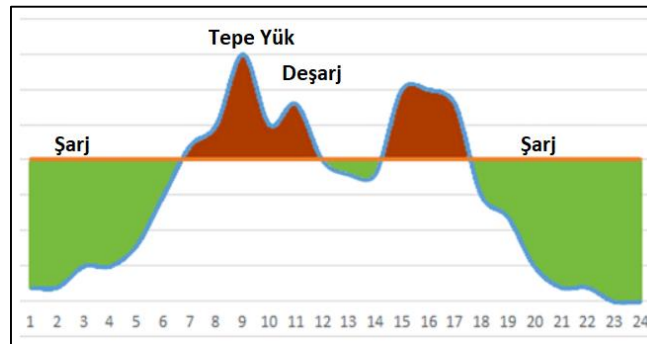
de 200.000 TL olarak alınmıştır. Buna göre GES ve depolama tesisinin toplam maliyeti yaklaşık 2 milyon TL olarak hesaplanmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2'ye bakıldığında aylık ve yıllık elektrik üretim-tüketim değerleri görülmektedir. Buna göre yerleşkede 2022 yılında toplam 58.883 kWh elektrik tüketimi gerçekleşirken, mevcut çatı alanına kurulabilecek 150 kWp kurulu güçteki bir GES tesisi ile yıllık 177.983 kWh elektrik üretim potansiyeli olduğu görülmektedir. Bu da 87,5 ton CO₂ salınımının önlenmesine ya da 213 yeni ağaç dikimine karşılık gelmektedir [13]. Söz konusu GES tesisi için yapılacak yatırımın, 4 yıla yakın bir süre içerisinde kendisini amorti edebileceği Şekil 9'da gösterilmektedir. Bu analizde, yatırım miktarı 1.800.000 TL, yıllık bakım maliyeti 20.000 TL, yıllık kazanç ise 488.177 TL olarak alınmış, 10 yıllık bir süreçte gider ve gelir rakamları gösterilmiştir. Elektrik alış ve satış fiyatları, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun ilgili dağıtım tarifesi tablosundan alınmıştır [14].



Şekil 9. Yatırım amortisman süresi

C. Enerji Depolama Sistemleri ile Tepe Yük Tıraşlama

Düzensiz rejimdeki yük talepleri, elektrik üretim, iletim ve dağıtım işletmecileri açısından zorluklar, ilave yatırımlar ve yüksek maliyetler meydana getirmektedir. Bu sebeple talep tarafı yönetimi, tepe yük tıraşlama gibi yöntemler ile tepe yükün azaltılması, daha dengeli ve iyileştirilmiş yük profillerinin oluşturulması hedeflenmektedir [12]. Tüketicilerin esnek ve yönetilebilir yüklerinin belirlenip, bu yüklerin şebekeden maksimum elektrik talebinin olduğu saatlerden, daha düşük talep olan saatlere kaydırılması, talep tarafı yönetimi olarak tanımlanmaktadır. Tepe yük tıraşlama ise, elektrik talebinin en yüksek olduğu zaman dilimlerinde, belirli bir değerin üzerindeki tepe yükün enerji depolama sistemi üzerinden karşılanması suretiyle yük profilin daha kararlı ve düzgün bir rejime kavuşturulmasıdır. Bu işlem sonucunda enerjisi tükenen (deşarj olan) enerji depolama sistemleri, genellikle elektrik talebinin ve enerji maliyetlerinin düşük olduğu zaman diliminde tekrar şarj edilmektedir. Şekil 10'da tepe yük tıraşlama ile şarj-deşarj süreci görsel olarak daha açık bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 10. Tepe Yük Tıraşlama Örneği

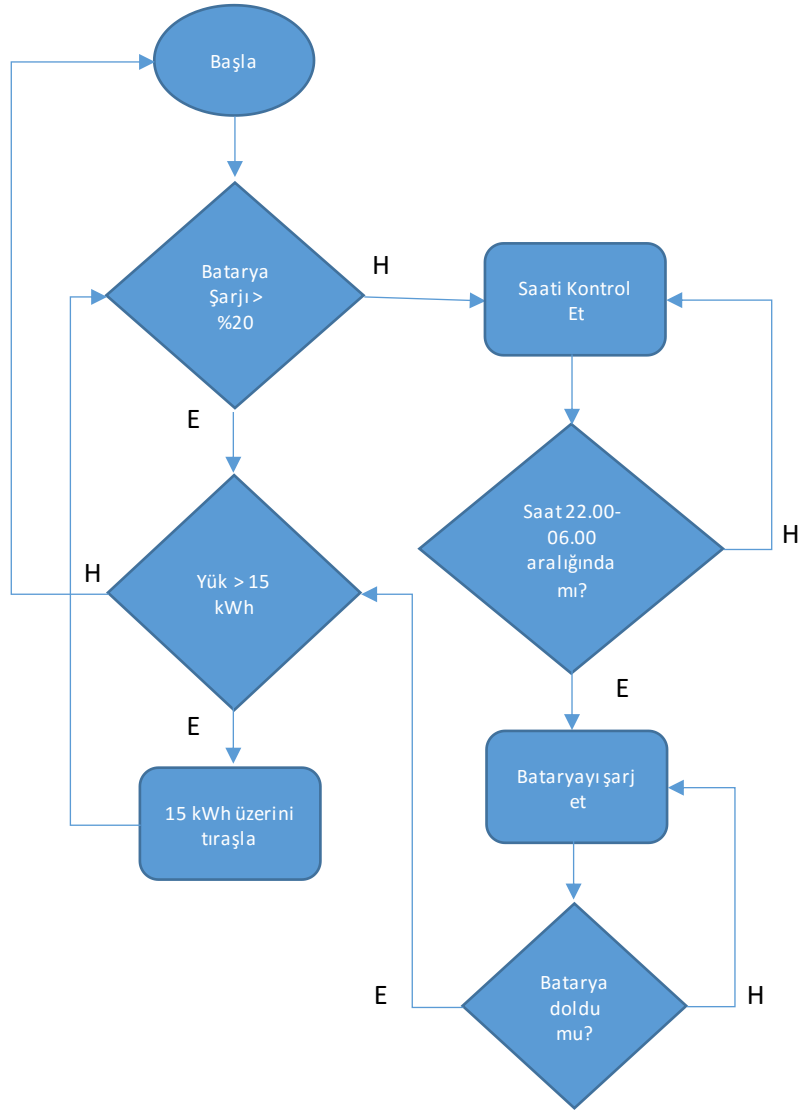
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde, daha önce belirtilen yerleşkeye 100 kWh'lik bir enerji depolama sistemi kurulması durumunda, tepe tıraşlama yöntemi ile yük profilinde yapılabilecek iyileştirmeler analiz edilmiş ve ortaya konulmuştur. Kullanılması öngörülen enerji depolama sisteminin parametreleri Tablo 3'te paylaşılmıştır.

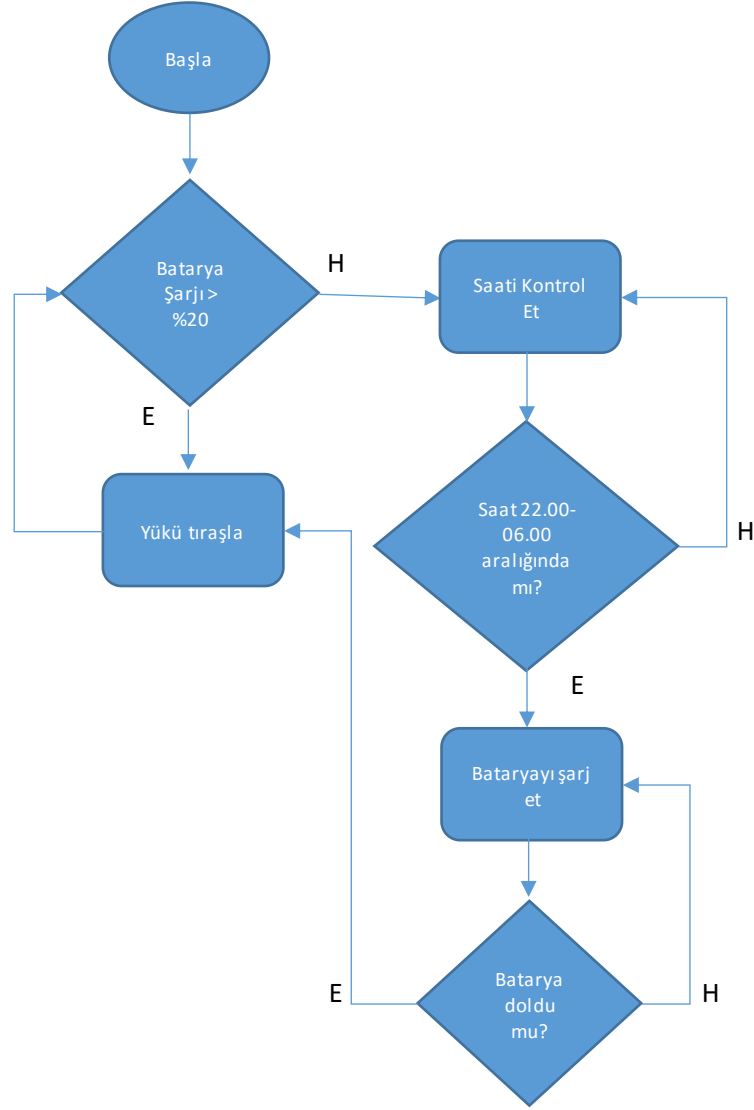
Tablo 3. Enerji Depolama Sistemi Parametreleri

Parametreler	Değerler
Batarya Kapasitesi	100 kWh
Batarya Şarj Etme Gücü	10 kW/h
Şarj Etme Zaman Aralığı	22.00-06.00

Çalışmada iki farklı kurguya göre algoritmalar oluşturulmuştur. Normal eğitim döneminde yükün 15 kWh'tan fazla olan kısmının tıraşlanması, boşalan depolama sisteminin ise 22.00-06.00 zaman aralığında tekrar şarj olmasına göre tasarlanan birinci senaryo algoritması, Şekil 11'de verilmiştir. Yaz dönemi için tasarlanan ve Şekil 12'de paylaşılan ikinci algoritmada ise, elektrik tüketimleri normal eğitim dönemine göre daha düşük olduğu için, yükün tamamının tıraşlanması gerçekleştirilmiştir.

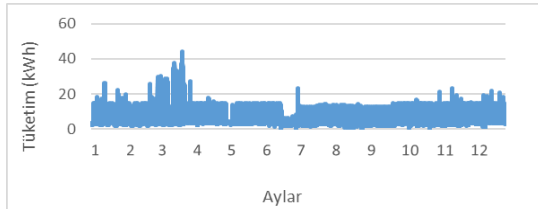


Şekil 11. Senaryo 1 – Normal Eğitim Dönemi Tepe Tıraşlama Algoritması

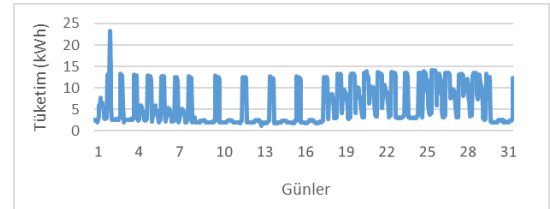


Şekil 12. Senaryo 2 – Yaz Eğitim Dönemi Tepe Tıraşlama Algoritması

Bu senaryolara göre, enerji depolama sistemi tarafından yapılan tepe yük tıraşlama sonrası elde edilen yıllık, aylık, haftalık ve günlük iyileştirilmiş yük profilleri Şekil 13-17’de verilmiştir.

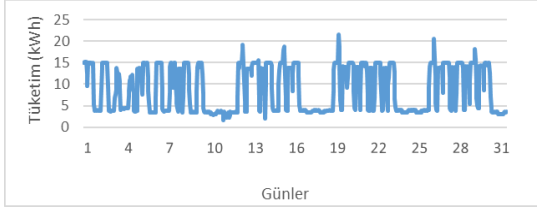


Şekil 13. 2022 yılı tıraşlı elektrik tüketimi

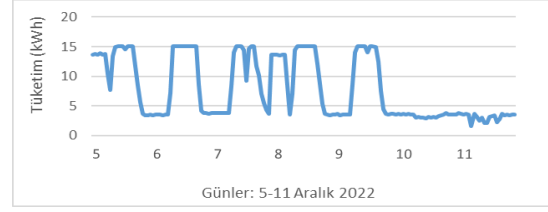


Şekil 14. Temmuz ayı tıraşlı elektrik tüketimi

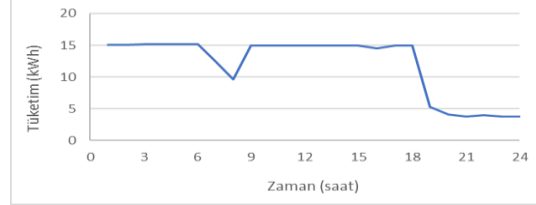
Şekil 13’te, 1 yıllık süre boyunca, iki farklı algoritmaya göre gerçekleştirilen tepe tıraşlama sonrası yük profilindeki iyileşme net olarak görülmektedir. Şekil 14 ve 15’te Temmuz ve Aralık aylarındaki tıraşlama, Şekil 16’da 1 haftalık, Şekil 17’de ise 1 günlük tıraşlama sonrası iyileştirilmiş yük profilleri paylaşılmıştır.



Şekil 15. Aralık ayı tıraşlı elektrik tüketimi



Şekil 16. Aralık ayı tıraşlı 1 haftalık elektrik tüketimi



Şekil 17. Aralık ayı tıraşlı 1 günlük elektrik tüketimi

Gündüz yükün fazla ve enerji maliyetlerinin yüksek olduğu saatlerde, depolama sisteminin kapasitesine göre, belirli bir limitin üzerindeki yükün tıraşlanması, aynı şekilde gece yükün az ve enerji maliyetlerinin düşük olduğu saatlerde de bataryaların şarj edilmesi suretiyle, yük profillerinde yapılabilecek iyileştirme çok net olarak görülmektedir. Yük profillerindeki bu iyileşme, elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerine önemli bir katkı sağlarken, diğer taraftan da enerji verimliliği ve elektrik maliyetleri bakımından önemli bir fayda ortaya koymaktadır. Yük profilinin karakteristiğine ve enerji depolama sisteminin kapasitesine göre, farklı senaryolar belirlenerek, farklı yük profili iyileştirmeleri yapılabilmesi mümkündür.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, OSOS altyapısı kullanılarak bir üniversite yerleşkesinin bir yıllık elektrik tüketim verisi temin edilmiş, saatlik, günlük, haftalık, aylık ve yıllık yük profilleri detaylı olarak analiz edilmiştir. Yaz ve kış dönemleri, hafta içi, hafta sonu, eğitimin açık ve kapalı olduğu farklı zaman periyotlarında yük profillerindeki değişimler incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, bu yerleşkeye 150 kWp'lik çatı tipi bir GES tesisi ve tepe yük tıraşlama için 100 kWh'lik bir enerji depolama sistemi kurulması durumuna göre senaryoları oluşturulmuş, bu senaryolara göre elde edilecek faydalar, çevreye ve elektrik şebekelerine sağlanacak katkılar değerlendirilmiştir. Oluşturulan yük profillerine bakıldığında, yerleşkenin 1 yıllık toplam elektrik tüketiminin 58.883 kWh olduğu görülmektedir. Buna karşın, yerleşkeye kurulacak 150 kWp'lik GES tesisinin yıllık 178.000 kWh elektrik üreteceği, ortaya çıkan 119.117 kWh'lik ihtiyaç fazlası elektrik üretimi üniversiteye ilave bir gelir sağlarken, şebekeye de önemli bir katkı sunacaktır. Diğer yandan, yerleşkenin 0 ila 60 kWh aralığında, saatlik, günlük, aylık ve mevsimlik olarak oldukça düzensiz rejimde seyreden yük profillerinin, yerleşkeye enerji depolama sisteminin dahil edilmesi ve puant yük tıraşlama yöntemi uygulanarak büyük bir oranda iyileşme sağlandığı görülmüştür. Tüketimin çok yüksek olduğu Mart ve Nisan ayları dışında, puant elektrik tüketiminin 15 kWh değerinde sınırlandırılabilirdiği tespit edilmiştir. Yüksek tüketimin gerçekleştiği aylarda da, tüketimi belirli bir değerde sınırlamak ve düz bir yük profili elde etmek mümkündür, ancak bu, çok daha yüksek kapasitede bir enerji depolama sistemini, aynı zamanda daha yüksek yatırım maliyetini gerektirmektedir. Bu nedenle, sistem tasarımı yapılırken, sistemin ekonomik kısıtları mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmanın, ileride mesken, ticarethane ve sanayi gibi farklı tipte tüketim grupları için, değişken üretim kapasitesi, yatırım maliyeti ve enerji depolama sistemi senaryolarına göre, yenilebilir enerji kullanımı, enerji verimliliği ve enerji maliyetlerinin iyileştirilmesi çalışmalarına önemli katkılar sağlanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Wang, C., Zhang, Z., Abedinia, O., & Farkoush, S.G. (2021). Modeling and analysis of a microgrid considering the uncertainty in renewable energy resources, energy storage systems and demand management in electrical retail market. *Journal of Energy Storage*, 33, 1-13.
- [2] Wali, S.B., Hannan, M.A., Reza, M.S., Ker, P.J., Begum, R.A., Abd Rahman, M.S., & Mansor, M. (2021). Battery storage systems integrated renewable energy sources: A bibliometric analysis towards future directions. *Journal of Energy Storage*, 35, 1-17.
- [3] Hasan, M.K., Mahmud, M., Ahasan Habib, A.K.M., & Motakabber, S.M.A. (2021). Review of electric vehicle energy storage and management system: Standards, issues and challenges. *Journal of Energy Storage*, 41, 1-10.

-
- [4] Erdiñ, O., Taşcıkaraoğlu, A., Paterakis, N.G., Dursun, İ., Sinim, & M., Catalao, J.P.S. (2018). Comprehensive Optimization Model for Sizing and Siting of DG Units, EV Charging Stations, and Energy Storage Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(4), 3871-3882.
- [5] Wu, Y., Zhang, T., Gao, R., & Wu, C. (2021). Portfolio planning of renewable energy with energy storage Technologies for different applications from electricity grid. *Applied Energy*, 287, 1-16.
- [6] Amrouche, S.O., Rekioua, D., Rekioua, & T., Bacha, S. (2016). Overview of energy storage in renewable energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 20914-20927.
- [7] Kaiser, R. (2007). Optimized battery-management system to improve lifetime in renewable energy systems. *Journal of Power Sources*, 168, 58-65.
- [8] Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B.V., Pican, & E., Leahy, M. (2012). The technical and economic implications of integrating fluctuating renewable energy using energy storage. *Renewable Energy*, 43, 47-60.
- [9] Lucas, J.N.V., Frances, G.E., & Gonzalez, E.S.M. (2016). Energy security and renewable energy deployment in the EU: Liaisons Dangereuses or Virtuous Circle?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1032-1046.
- [10] Sampaio, P.G.V., & Gonzalez, M.O.A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590-601.
- [11] Amerikan Ulusal Yenilebilir Enerji Laboratuvarı Uygulaması, PVWattsCalculator. (15.01.2023). <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>
- [12] Kalkhambkar, V., RAjesh, K., & Bhakar, R. (2016). Energy loss minimization through peak shaving using energy storage. *Perspectives in Science*, 8, 162-165.
- [13] Avrupa Birliği destekli Karbon Ayak İzi Hesaplama Aracı. (15.01.2023). <https://www.egeorman.org.tr/hesaplayicilar/karbon-ayakizi/>
- [14] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Ulusal Elektrik Birim Fiyat Tarifeleri Tablosu. (15.01.2023). <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>