



Sustainable Smart Lighting System Application: Sivas Cumhuriyet University

Gülhan Şahin Özyalçın^{1,a,*}, Derya Betül Ünsal^{2,b}

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Sivas, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sürdürülebilirlik Ofisi Koordinatörlüğü, Sivas, Türkiye

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 21/06/2024

Accepted: 26/11/2024

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

ABSTRACT

Like the rest of the entire world, Turkey's finite resources cannot keep up with the country's rapid population growth and industrialization-driven energy demand; as a result, the gap between energy production and consumption is widening, and the country's reliance on imported energy is growing. The most effective and efficient use of renewable energy sources is required to meet the rapidly rising demand for energy. The purpose of this study is to lower electricity consumption costs by using electricity produced from renewable sources to power street and road lighting in the Sivas Cumhuriyet University campus region. Data including lighting supply points, total power in lighting regions, and the number and diversity of lighting fixtures were gathered by inventorying the campus lighting electrical design. A model of a solar power plant and a lighting system appropriate for a sustainable smart campus model were developed based on the data collected.

Keywords: Smart campus, Sustainable lighting, Renewable energy.

Sürdürülebilir Akıllı Aydınlatma Sistemi Uygulaması: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Süreç

Geliş: 21/06/2024

Kabul: 26/11/2024

Öz

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de hızla artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji talebindeki artış, ülkemizin kısıtlı kaynakları ile karşılanamamakta, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açık hızla büyümekte ve enerjide dışa bağımlılık oranı artmaktadır. Enerji talebindeki hızlı artışın karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarından en etkin ve verimli biçimde yararlanılması gerekmektedir. Bu çalışmada Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüs alanı içerisinde bulunan cadde ve sokak aydınlatmalarının yenilenebilir enerjiden üretilen elektrik enerjisi ile çalışması ve elektrik tüketim faturalarının düşürülmesi amaçlanmıştır. Kampüs aydınlatma elektrik planının envanteri çıkarılarak, aydınlatma besleme noktaları, aydınlatma mahallerindeki toplam güç, aydınlatma armatür çeşitliliği ve miktarı gibi veriler toplanmış, elde edilen sonuçlara uygun bir güneş enerjisi santrali modeli oluşturularak sürdürülebilir akıllı kampüs modeline uygun bir aydınlatma sistemi tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı kampüs, Sürdürülebilir aydınlatma, Yenilenebilir enerji

^a dbunsal@cumhuriyet.edu.tr

^{id} 0000-0002-7657-7581

^b mail.gulhansahin4@gmail.com

^{id}

How to Cite: Şahin Özyalçın G, Ünsal DB (2024) Sustainable Smart Lighting System Application: Sivas Cumhuriyet University, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 152-165

Giriş

Ülkemizde yenilenebilir enerji alanında 2015 yılından bu yana birçok büyük adımlar atılmış, çeşitli finansmanlar ile üreticinin her kademesinde ve her sektörde yenilenebilir enerjiye geçiş için destekler sağlanmıştır. Türkiye rüzgar ve güneş enerjisi yönünden oldukça verimli olmasına rağmen hala yenilenebilir enerjinin toplam üretilen enerji içindeki yüzdesi istenilen seviyede değildir. Enerji maliyetlerinin düşürülebilmesi ve enerji talebinin yerli kaynaklardan sağlanabilmesi için coğrafi olarak oldukça yüksek bir potansiyele sahip olduğumuz yenilenebilir enerji potansiyelini en verimli ve etkin şekilde kullanmak zorundayız. Bunu yaparken çevreye saygılı, yeşil ekonomi modeline uygun, sürdürülebilir politikalar üretmek hem kamu hem de özel sektörün görevidir.

Yenilenebilir enerjiye geçişin kamu yatırımları ile hız kazanması özel sektöre de öncülük edecektir. Kamu binalarının kendi enerjisini üretmesi konusunda yeni inşa edilecek binaların yeşil bina modeline uygun tasarlanması, iklim özelliklerinden faydalanılması, güneş ve rüzgar enerjisinden faydalanılması, gri su kullanımı çözümlerin binaların mimari planları hazırlanırken düşünülüp tasarlanması binaların ilk yapım maliyetlerini artırsa da kullanım süresi boyunca ekonomik olarak büyük avantajlar sağlayacaktır. Büyük güneş enerjisi santralleri kurmak kadar, üniversitelerin de dahil olduğu kamu binalarının, fabrikaların, sanayi bölgelerinin, aydınlatma, sıcak su, günlük enerji tüketimi gibi ihtiyaçlarının güneş ya da rüzgar enerjisi ile karşılanması da yenilenebilir enerjiye geçişte büyük rol oynayacak ve sürdürülebilirliğe uygun, ekonomik olarak daha verimli çözümler üretilmesine katkı sağlayacaktır. Bu amaçla bu çalışmada ilk olarak Türkiye’de ve diğer ülkelerde üniversite yerleşkeleri özelinde yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Sutopo, W. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada sokak aydınlatmasının güneş enerjisi tabanlı sistemleri ile değiştirilmesi durumunda ekonomik ve teknik olarak verimli olup olmayacağını araştırmış, yaptıkları finansal ve teknik analizler sonucu, güneş enerjisi tabanlı aydınlatma sistemleri ile sokak aydınlatmasının daha iyi performans ve güvenilirlikte çalışacağı sonucuna varmışlardır.[1]

Nugraha A., M. Ve Nugurah Desnanjaya G., M., Kupang Denizcilik ve Balıkçılık Politeknik Okulu kampüs alanı için güneş enerjili sokak aydınlatması sistemi tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Bu tasarımı yapabilmek için bölgenin 1 yıllık meteorolojik verilerini incelemiş, solar radyasyon, sıcaklık, nem, rüzgar gibi parametrelerin tasarıma etkilerini analiz etmişlerdir. Bu meteorolojik verileri referans alarak, tasarlanan güneş enerjili sokak aydınlatması sisteminin üretim değerlerini hesaplamışlardır. Teknik, ekonomik ve sosyal açıdan yaptıkları analiz sonuçlarına göre, kampüs alanı için yapılan güneş enerjili sokak aydınlatmasının performansının %85 olduğu, tasarlanan sistem ile kampüs alanında yılda 15,99 Mwh enerji tasarrufu yapılabileceği sonucuna varmışlardır.[2]

Geyik, N.E. yaptığı çalışmada enerji performansının artırılmasına yönelik binalarda uygulanan pasif bina tasarım sistemlerinin sürdürülebilir mimari ilkeleri ile bütüncül değerlendirilmesi bağlamında, Abu Dhabi’de bulunan Masdar Şehri ve kentin içinde yer alan Masdar

Bilim ve Teknoloji Enstitüsü Kampüsü araştırma alanı olarak incelemiştir. Araştırmada Masdar şehri ve Masdar Bilim ve Teknoloji Kampüsü mimari, ekolojik, atık yönetimi, ısıtma ve soğutma sistemleri, elektrik tüketimi ve yenilenebilir enerji sistemleri, yalıtım sistemi, su sistemleri, taşımacılık ve ulaşım gibi pek çok alanda sürdürülebilirlik bakımından incelenmiş, mimari plana uygun %5 lik açılı ile konumlandırılmış çatı tipi fotovoltaik sistemler ile yenilenebilir elektrik enerjisi kullanımının %95’e çıkarılarak elektrik tüketiminin azaltıldığı görülmüştür. Temiz enerji kullanımı ile yüksek standartlarda bir şehir planlamasının mümkün olduğu ve Masdar şehrinin de buna iyi bir örnek olduğu sonucuna varmıştır. [3]

Prakash, O. ve arkadaşları NIT Jalandhar kentindeki solar sokak aydınlatmalarının enerji tüketimine etkisini araştırmışlardır. NIT Jalandhar güneş panelleri için yapılan analiz, şebekeden bağımsız off-grid tip güneş panellerinin şebekeye bağlanması ve güç sağlanması durumunda, çok büyük miktarda elektrik faturası tasarrufu sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. [4]

Noel, N. ve diğerleri yaptıkları çalışmada Burundi Cumhuriyeti’ndeki Gitega şehrinde sokak aydınlatma sistemleri için güneş enerjisinin kullanılma olasılığını tartışmışlardır. Şehrin hava ve iklim koşullarının analizi yapılmış ve güneş enerjili mini güce dayalı etkili bir sokak aydınlatma sistemi geliştirilmiştir. Işık akısının kademeli değişimine sahip akıllı bir lamba ile çalışan akıllı kontrollü ekonomik bir aydınlatma sistemi tasarlanmıştır. Ekonomik verimlilikler yapılmış ve geliştirilen sistemin çalışma prensibi açıklanmıştır. Kontrol sinyallerini iletme yöntemlerinin ve farklı lamba türlerinin performanslarının karşılaştırılmasının yanı sıra batarya deşarj sürecinin bir değerlendirmesi yapılmıştır. PV paneller ve batarya sistemleri ile beslenen sokak aydınlatmasının Gitega şehri için hem ekonomik hem de enerji verimliliği açısından uygulanabilir olduğu sonucuna varmışlardır.[5]

Ateş, A. M. ve diğerleri çalışmalarında, Manisa Celal Bayar Üniversitesi bünyesinde hizmet veren Köprübaşı Meslek Yüksekokul binasını inceleyerek enerji tasarruf performansını araştırmışlardır. Yıl boyunca ölçümler yaparak binanın mevcut durumunun davranışını ve enerji kullanım düzeyi belirlenmiştir. Daha sonra önerilen iyileştirmeler sonucunda nasıl bir enerji tasarrufu sağlayacağını belirlemek amacıyla, bilgisayar tabanlı enerji modellemesi yapılmışlardır. Simülasyon sonucunda elde edilen verilerden yola çıkarak, binanın enerji tasarruf potansiyeli ve iyileştirme sonucunda nasıl bir davranış göstereceği hesaplanmıştır. Hem ölçüm verilerinden hem de modellemeden elde edilen veriler doğrultusunda, mevcut bina yıllık bazda, 90,40 kWh/m²yıl enerji tüketirken, önerilen iyileştirmeler sonucunda 55,54 kWh/m²yıl enerji tüketir hale gelmiştir. Yani, yaklaşık %40 oranında enerji tasarrufu sağlama potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Binanın mevcut durumdaki kullanım düzeyine göre sera gazı emisyonu 74,90 kgCO₂/m²yıl değerinde iken, önerilen iyileştirmeler ve bina çatısında hâlihazırda mevcut olan FV-GES’in desteğiyle bu değer 12,61 kgCO₂/m²yıl değerine kadar düşeceği hesaplanmıştır.[6]

Khan, I. ve diğerleri Bangladeş'te üniversite kampüslerinde yenilenebilir enerji kullanımının enerji verimliliğine katkısını inceledikleri araştırmalarında, günlük ortalama güneş radyasyonu 4-6,5 kWh/m² civarında olan Bangladeş'in, solar enerji potansiyelinin oldukça iyi olmasına rağmen, güneş enerjisi uygulamaları sadece geleneksel kullanımlarla sınırlı kaldığını tespit etmişlerdir. Bu araştırma, Bangladeş'teki üniversite kampüsleri için gelecekteki enerji tedarik stratejilerini ortaya koymuştur. Çalışmada, sadece ışık ve klima için elektrik sağlamak üzere 140 batarya (24V, 100 AH) ile birlikte her biri 75 W kapasiteye sahip 142 fotovoltaik modülden oluşan entegre bir güneş enerjisi sistemi önerilmiştir. Yapılan finansal analiz ile, entegre bir yenilenebilir enerji çözümünün Bangladeş'te elektrik enerjisini verimli kullanan üniversite kampüslerine ulaşılmasında önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir. [7]

Oyepo, S. ve diğerleri Covenant Üniversitesi enerji tüketimlerini incelemiş ve üniversite kampüsü içerisinde enerji tüketimlerini azaltmak için öneriler sunmuşlardır. Kampüs içerisinde seçilen binalardaki enerji tüketiminden sorumlu elektrikli aletleri belirlemiş, 18 binada enerji etüdü gerçekleştirmişlerdir. Oluşturulan modeller üzerinde parametrik simülasyonlar çalıştırmak için simülasyon aracı (eQuest) kullanarak binaların her biri için bina enerji modelleri oluşturmuşlardır. Covenant Üniversitesi'nin 5 yıllık (2014-18) elektrik faturaları, enerji tüketiminin mevsimsel değişimi açısından incelenmiştir. Çalışma, üniversitede enerjinin israf edildiği çeşitli yollar olduğunu ortaya koymuştur. Buna ek olarak, tesislerdeki enerji tüketimini azaltmak için olası enerji tasarrufu çözümleri önerilmiştir. Önerilerin odaklandığı alanlar arasında binaların çatılarında fotovoltaik panellerin kullanılması, kampüste enerji bilincini artırmak için Hebron Enerji Kulübü'nün kurulması, verimsiz floresan tüplerin ışık yayan diyot ampullerle değiştirilmesi ve enerji israfını azaltmak için koridor ışıklarında otomatik kontrol sistemlerinin kullanılması yer almaktadır. İki önerinin niteliksel analizi, 6 yıldan daha kısa bir geri ödeme süresiyle yılda 81.000 \$ üzerinde tasarruf sağlanabileceğini göstermiştir. Ayrıca, bu önerilerin uygulanması halinde yılda yaklaşık 500 ton CO₂ emisyonu ortadan kaldırılabilir. [8] Passago, S. ve diğerleri yaptıkları çalışmada sokak aydınlatması için büyük miktarda enerji tüketmeyen yeni bir sistem tasarımı konusunda çalışmışlardır. Bu tasarımda düşük enerji tüketimi ile yüksek ışık yoğunluklu sokak aydınlatması yapmak hedeflenmiştir. Rajabbat Maha Sarakham Üniversitesi kampüs aydınlatması için tasarlanan bu projede öncelikle halojen aydınlatma armatürleri led armatürler ile değiştirilmiş, daha sonra sistem şebekeden ayrılarak PV paneller ile beslenmeye başlanmıştır. 12 V 45 Ah aküler ve 80 Watt'lık güneş pilleri ile tasarladıkları sistemde ortalama parlaklığın 186 - 340 lux olduğu durumda güneş pili enerji depolama miktarlarının enerji tüketiminden daha yüksek olduğunu ve gece boyunca led aydınlatma için için yeterli enerji depolandığı sonucuna varmışlardır. Çalışma sonucunda, sokak aydınlatmalarında karbon emisyonları azaltmak, tüketim maliyetlerini

düşürmek, enerji verimliliği sağlamak için öncelikle yüksek ışık verimine sahip led aydınlatma ürünlerinin kullanılması önerilmiştir. Orta derece güneş radyasyonuna sahip bir bölgede sokak aydınlatmasının PV paneller ve aküler yardımıyla şebekeden ayrılarak tamamen yenilenebilir enerji ile beslenmesinin hem ışık verimliliği hem de ekonomik kazanç anlamında olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. [9]

Oraz, E. ve diğerleri ofisler ve laboratuvarlardan oluşan karmaşık ve yüksek enerji tüketen çok işlevli bir binada olası enerji tasarrufu stratejilerini inceleyerek ve ardından enerji verimliliği stratejilerini araştırmışlardır. Bina yönelimi, bina yalıtımı, cam özellikleri, aydınlatma ekipmanları, HVAC sistemleri ve bina sakinlerinin davranışları gibi çeşitli temel aktif ve pasif iyileştirme stratejilerinin bireysel ve birleşik etkilerini değerlendirmek için kapsamlı bir enerji modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada örnek çalışma alanı olarak İTÜ Fen Edebiyat Fakültesi seçilmiştir. Yerinde güç üretmek için çatı üstü PV panelleri uygulanarak binanın elektrik tüketiminin azaltılması amaçlanmıştır. Çatı katının %70'ini kaplayan %20,4 verimliliğe sahip monokristal tip fotovoltaik paneller simüle edilmiştir. Fotovoltaik panellerin entegrasyonu enerji verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır. Simüle edilen PV panel konfigürasyonu toplam elektrik tüketiminin %26,09'una kadarını karşılayabileceği sonucuna varılmıştır. [10]

Literatür çalışması sonucunda, üniversite kampüsleri içerisinde aydınlatma amaçlı güneş enerjisi sistemi kullanımı ile ilgili yapılan benzer çalışmalarda kampüs enerji besleme hatlarının güneş enerjisi ile desteklenmesine uygun olup olmadığı, besleme hatlarının şebeke bağlantılı (on-grid), şebekeden bağımsız (off-grid) ya da batarya destekli güneş enerjisi sistemlerinden hangisine daha uygun olduğu konusunda detaylı araştırmalar yapılmadığı tespit edilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalarda güneş enerjisi ile besleme yapılırken sadece bir yöntem seçilmiş ve diğer yöntemlerin verimliliği analiz edilmeden seçilen bu yöntem ile tasarım tamamlanmıştır. Bu çalışmada Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü içerisinde bulunan aydınlatma elemanları detaylı şekilde incelenmiş, envanteri çıkarılmış ve toplam güçleri hesaplanarak fizibilite raporu hazırlanmıştır. Aydınlatma besleme hatlarının on-grid, off-grid ve bataryalı güneş enerjisi sistemleri ile beslenmesi halinde alınacak sonuçlar ayrı ayrı incelenerek simülasyon ve hesaplama sonuçları ile kıyaslanmıştır. Alınan sonuçlar ile en verimli güneş enerjisi temelli sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımı yapılmış ve performans sonuçları elde edilerek bu alanda yapılacak çalışmalara bir rehber niteliğine olması hedeflenmiştir. Sistemin sürdürülebilir ve akıllı kampüs hedeflerine yaptığı katkılar sonuç bölümünde ayrıntılı olarak izah edilmiştir.

Sivas İli Coğrafi ve İklim Özellikleri

Sivas ili, geniş ve açık bir arazi yapısına sahip olması, marjinal tarım sahası sayısının çokluğu, orman ve mera vasfı taşıyan arazilerin nispeten az oluşu sebebiyle güneş

ve rüzgar enerjisi santralleri kurmak oldukça uygun coğrafi koşullara sahiptir. 2023 yılı itibariye Sivas'ta 100 MW üzeri kurulu güçte GES tesisi bulunmaktadır. Ancak bu güç Sivas güneş enerjisi potansiyelinin küçük bir kısmıdır. 2020 yılı itibariyle Sivas'ta kamu yatırımları ile faaliyete geçirilen güneş enerjisi santralleri sayısı hızla artmış ve yeni yatırımlar da devam etmektedir. İç Anadolu Bölgesinde yer almakta olup şiddetli karasal iklim etkisi altında olan ilde yeryüzü şekillerini ağırlıklı olarak ağırlıklı olarak platolar oluşturmaktadır. Coğrafi dağılımın % 47,6'sı platolar, % 46,2'si dağlar, %6,2'si ise ovalar oluşturur. Sivas'ın en büyük platosu Uzunyayla'dır. Türkiye güneş potansiyeli atlasına bakıldığında Sivas ilinin çoğunlukla 1600-1650KWh/m²-gün güneş radyasyonu değerine sahip olduğu, böylece güneş enerjisi santrali kurmak için uygun bir coğrafi kuşakta bulunduğu söylenebilir.[11]

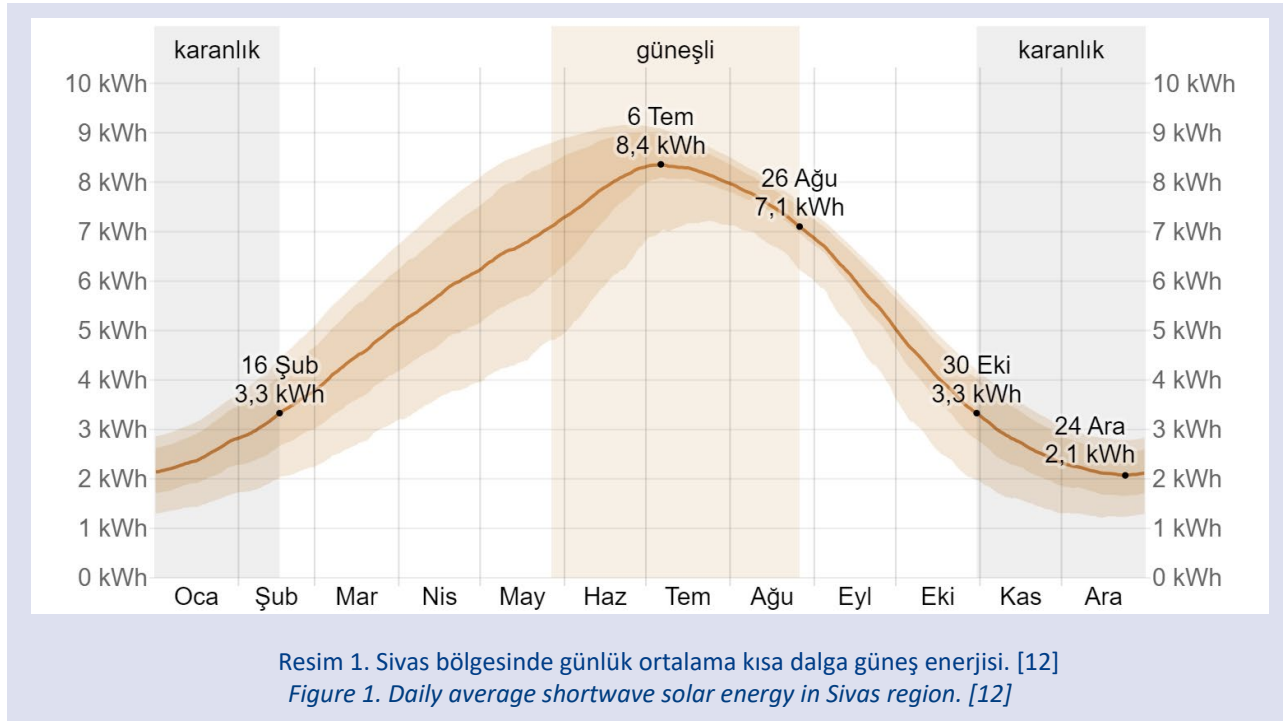
Sivas bölgesi coğrafi koordinatları 39,748° enlem, 37,016° boylam ve yüksekliği 1.287 metredir. Sivas bölgesinin 3 kilometre çapındaki topoğrafyada maksimum 137 metrelik yükseklik farkları bulunur. Deniz seviyesinden ortalama yüksekliği ise 1296 metredir. 16 kilometre çapında yükseklikteki değişimler 530 metreye kadar çıkabilmektedir. 80 kilometre çapında ise yükseklik değişimleri oldukça büyük varyasyonlar göstererek 2450 metrelere çıkabilmektedir.[12]

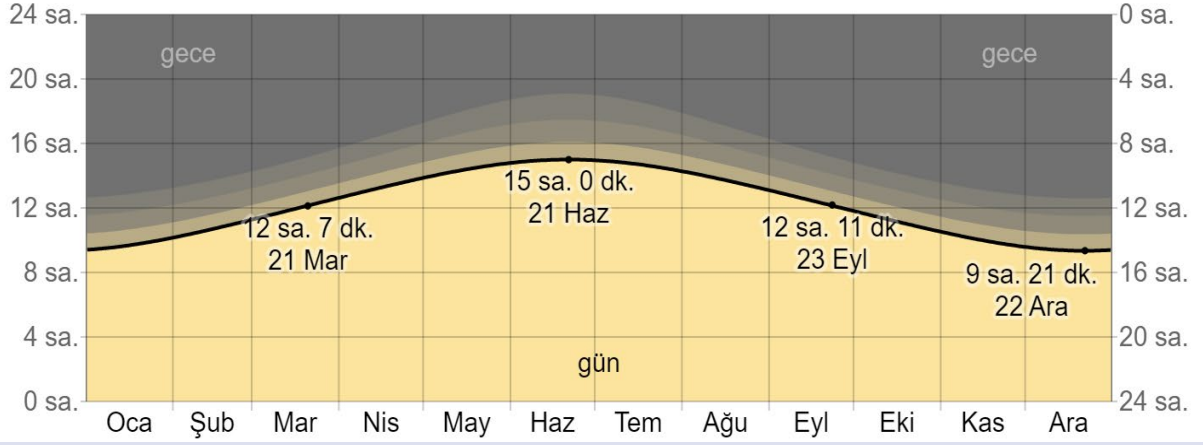
Sivas ilinin 3 kilometre çapı yakınındaki alanların %62'si yapay yüzeyler ve %35'i ekili arazi ile kaplıken, 16 kilometre çapı yakınındaki alanda ekili arazi %48

ve çayır arazisi %21 oranındadır. 80 kilometre çapı yakınındaki alanların ise %38'i ekili arazi ve %24'ü ağaçlar ile kaplıdır [12]. Sivas ili günlük kısa dalga güneş enerjisi yıl boyu farklılık gösterir. Geniş bir alan üzerinde yüzeye ulaşan toplam günlük kısa dalga güneş enerjisini ele alacak olursak ve günün uzunluğu, Güneşin ufuk çizgisi üstündeki yüksekliği, bulut ve diğer atmosferik bileşenler tarafından emilim üzerinde mevsimsel etkileri gibi faktörleri göz önünde bulunduramaz gerekecektir. Kısa dalga radyasyonu görünür ışın ve ultraviyole radyasyon içerir. Ortalama günlük kısa dalga güneş enerjisi yıl boyunca aşırı mevsimsel değişiklikler gösterir.[12]

Yılın daha güneşli dönemi olan 27 Mayıs - 26 Ağustos tarihleri arasındaki 3 aylık süreçte metrekaşe başına 7,1 kWh düzeyinin üstünde günlük ortalama kısa dalga enerjisi ulaşır. Temmuz ayında ise ve bu değer ortalama 8,2 kWh olmaktadır. Yılın daha karanlık olan dönemi 30 Ekim – 16 Şubat tarihleri arasında metrekaşe başına 3,3 kWh düzeyinin altında günlük ortalama kısa dalga enerjisi oluşur ve bu süreç 3,6 ay sürer. Sivas ilinde en karanlık ay Aralık ayıdır ve bu dönemde günlük ortalama kısa dalga enerjisi ortalama 2,1 kWh olmaktadır.[12]

Sivas gün uzunluğu yıl boyunca önemli ölçüde değişiklik gösterir. Yılın en kısa günü 22 Aralık tarihinde 9 saat 21 dakika gün ışığıyla gerçekleşirken en uzun günü ise 21 Haziran tarihinde 14 saat 59 dakika gün ışığıyla gerçekleşir.





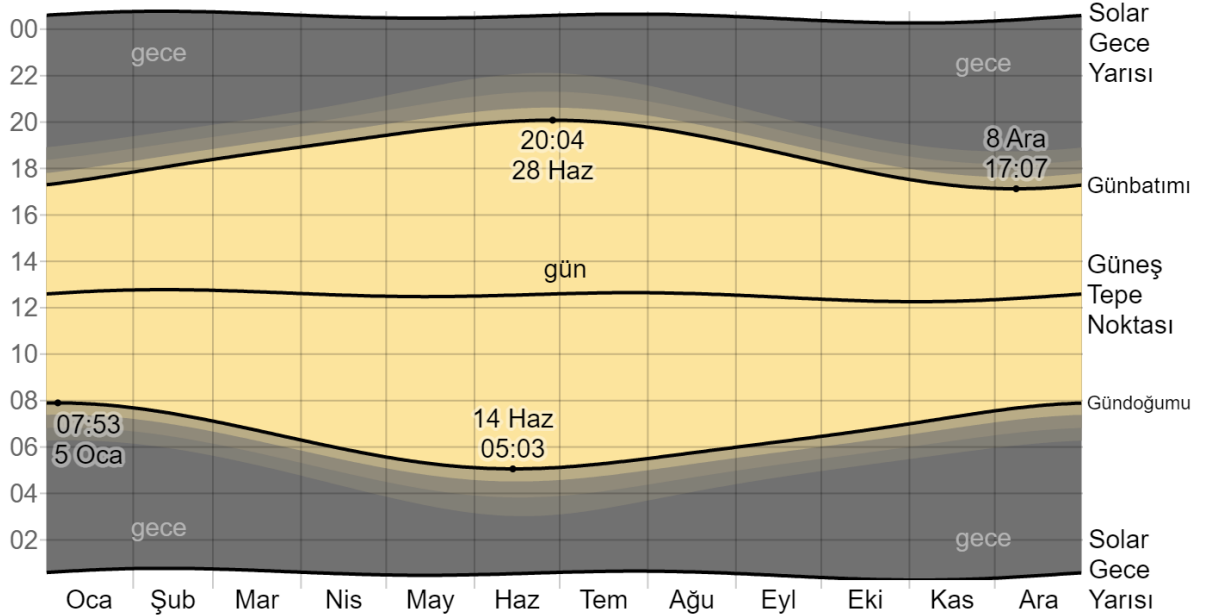
Resim 2. Sivas bölgesi seher ve tan saatleri. [12] (WeatherSpark.com, 2023) (Güneşin görünür olduğu saatlerin sayısı (siyah çizgi). En aşağıdan (en sarı) en yukarı kadar (en gri) renk bantları şunları ifade etmektedir: tam gün ışığı, tan (sivil, denizci ve astronomik) ve tam gece.

Figure 2. Sunrise and sunset times in Sivas region. [12] (WeatherSpark.com, 2023) (Number of hours when the sun is visible (black line). The colour bands from the lowest (yellowest) to the highest (greyest) indicate full daylight, full tan (civil, nautical and astronomical) and full night.

Çizelge 1. Sivas ili aylara göre gün ışığı süreleri.[12]

Table 1. Daylight hours according to months in Sivas province.[12]

Saatleri	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
Gün Işığı	9,7s	10,7s	12,0s	13,3s	14,4s	14,9s	14,7s	13,7s	12,4s	11,1s	10,0s	9,4s



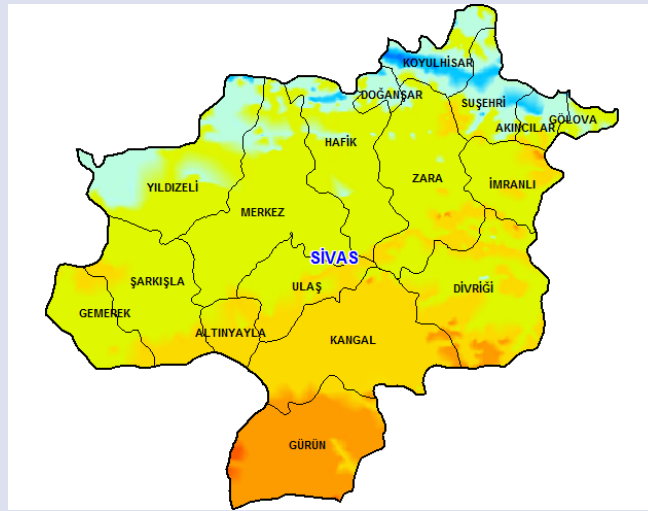
Resim 3. Sivas İli Tan, Gün Doğumu ve Gün Batımı (2023 yılı boyunca güneş günü. Yukarıdan aşağıya siyah izgiler önceki solar gece yarısını, gün doğumunu, güneş tepe noktasını, gün batımını ve bir sonraki solar gece yarısını göstermektedir. Gün, tan (sivil, denizci ve astronomik) ve gece sarıdan griye renk bantlarıyla gösterilmektedir).[12]

Figure 3. Sivas Province Tan, Sunrise and Sunset (Solar day during the year 2023. From top to bottom, black lines indicate the previous solar midnight, sunrise, solar zenith, sunset, and the next solar midnight. Day, tan (civil, nautical and astronomical) and night are shown with yellow to grey colour bands).[12]

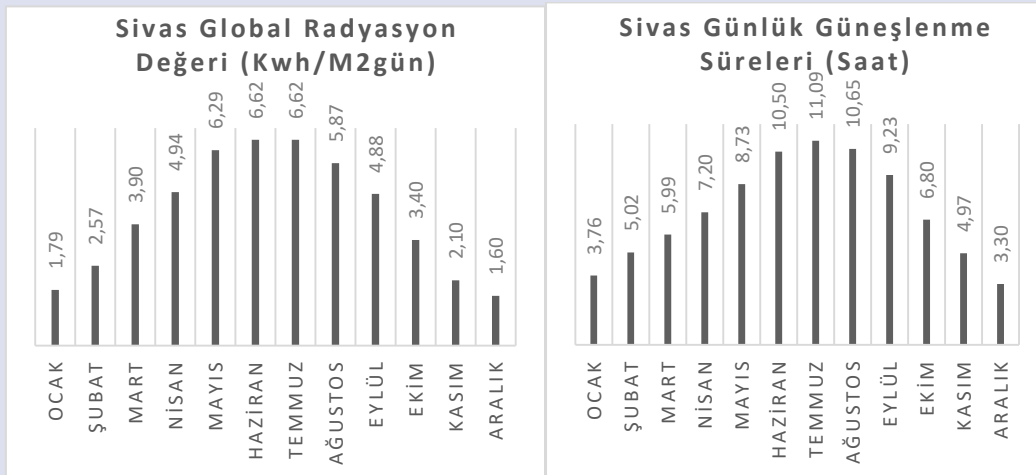
Çizelge.2 Sivas ili iklim verileri. [13]

Table 2. Sivas province climate data. [13]

SIVAS (1930- 2022)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)
Ocak	-3.4	0.9	-7.3	2.5	13.01	43.4
Şubat	-2.1	2.6	-6.2	3.5	12.16	39.3
Mart	2.6	8	-2.1	4.8	13.3	45.4
Nisan	9	15.3	3.1	6.3	13.29	56.1
Mayıs	13.5	20.1	6.9	8.1	13.86	60.4
Haziran	17	24.1	9.6	10.5	8.71	35
Temmuz	20	27.8	11.7	11.9	2.4	9.3
Ağustos	20.2	28.6	11.7	11.4	2.05	6.8
Eylül	16.2	24.6	8.1	9.4	4.24	17.8
Ekim	10.9	18.6	4.2	6.5	7.72	33
Kasım	4.7	10.8	-0.3	4.2	9.3	40.2
Aralık	-0.7	3.7	-4.3	2.5	12.2	44.2
Yıllık	9	15.4	2.9	6.8	112.2	430



Resim 4. Sivas ili güneş enerjisi potansiyeli atlası
Figure 4. Sivas province solar energy potential atlas



Resim 5. Sivas ili global radyasyon değeri ve günlük güneşlenme süreleri
Figure 5. Global radiation value and daily sunshine hours in Sivas province

En erken gün doğumu 14 Haziran tarihinde 05:03 saatindedir ve en geç gün doğumu ise 5 Ocak tarihinde 2 saat 50 dakika sonra 07:53 saatindedir. En erken gün batımı 8 Aralık tarihinde 17:07 saatinde ve en geç gün batımı 28 Haziran tarihinde 2 saat 57 dakika sonra 20:04 saatindedir.

Sivas güneş enerjisi potansiyeli atlasına bakıldığında ilin kuzeyinden güneye doğru inildikçe radyasyon değerinin arttığı ve güney bölgelerde daha verimli güneş enerjisi santrallerinin kurulmasının mümkün olduğu görülmektedir. Yaz aylarında 10 saatin üzerinde güneşlenme süresine sahip olan ilde açık gün sayısı da oldukça fazladır.

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü Güneş Enerjisi Temelli Aydınlatma Sistemi Tasarımı ve Uygulaması

Kampüs alanı içerisinde bulunan mevcut cadde ve sokak aydınlatmalarının güneş panellerinden elde edilecek elektrik enerjisi ile çalıştırılabilmesi için üç farklı

yöntem araştırılacaktır. Bunlardan birincisi her bir aydınlatma direği üzerine yeterli güçte PV panel konularak, her bir aydınlatma direği için uygun güçte jel batarya ile enerjisinin kesintisiz olarak elde edilmesi sağlanacaktır. Bu yöntem ile kampüs aydınlatma direklerini besleyen enerji hattı iptal edilmiş olacaktır.

İkinci yöntemde, aydınlatma direklerini besleyen enerji hattı korunarak, bu hattın besleme çıkışları, tek bir merkezde toplanan off-grid bir mini güneş enerjisi santralinden beslenecek, böylece her bir aydınlatma direği için panel, şarj regülatörü ve batarya montajı yapmaktansa tüm sistem tek merkezde toplanacaktır.

Üçüncü yöntem ise, on-grid mini bir güneş enerjisi santrali kurarak sistemden aküleri çıkarmak, sistemi şebekeye bağlayarak çift yönlü sayaç ile ilgili elektrik dağıtım şirketi ile mahsuplaşma yoluna gitmektir.

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü içerisinde bulunan aydınlatma direkleri envanteri Çizelge 3' de verildiği gibidir.

Çizelge 3. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü içerisinde bulunan tek konsollu aydınlatma direkleri envanteri.
Table 3. Inventory of single console lighting poles in Sivas Cumhuriyet University Campus.

Mahal Adı	70 W 6 Mt. Tek Konsol	60 W 4 Mt. Tek Konsol	60 W 4 Mt. Dairesel Led	80 W Tek Konsol Led	100 W 5 Mt. Led Dairesel	70/70 W 6 Mt. Çift Konsol	100 W Tek Konsol	125 W Led Tek Konsol
Lojmanlar-Nizamiye Ana Kavşak	24	20				1		23
Mihmandar Otel Yolu								5
Gençlik Merkezi			15		40		18	
Tıp Fak. İktisat Fak.- Mühendislik Dek.							7	
Rektörlük Çevre Aydınlatma			16	34				
Yüzme Havuzu Spor Sahası								27
Ana Yol		69		13			13	10
Eczacılık Fak.				10			26	
Hasbahçe				16			82	
Toplam Aydınlatma Elemanı Sayısı	24	89	31	73	40	1	146	65
Güçler Toplamı (Watt)	1.680,0 0	5.340,0 0	1.860,0 0	5.840,0 0	4.000,0 0	140	14.600, 00	8.125 ,00

Çizelge 4. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü içerisinde bulunan çift konsollu aydınlatma direkleri envanteri.
Table 4. Inventory of double console lighting poles in Sivas Cumhuriyet University Campus.

Mahal Adı	100/50 W 6mt. Çift Konsol	100/100 W Çift Konsol	80/80 W Çift Konsollu Led	125/125 W Led Çift Konsol	70/70 W 6 Mt. Çift Konsol
Lojmanlar-Nizamiye Ana Kavşak	132				1
Mihmandar Otel Yolu	20				
Tıp Fak. İktisat Fak.- Mühendislik Dek.	13	11			
Rektörlük Çevre Aydınlatma			5		
Yüzme Havuzu Spor Sahası				15	
Ana Yol	185	7			
Eczacılık Fak.		7			
Toplam Aydınlatma Elemanı Sayısı	350	25	5	15	1

Güçler Toplamı (Watt)	52.500,00	5.000,00	800,00	3.750,00	140,00
-----------------------	-----------	----------	--------	----------	--------

Çizelge 5. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsü içerisinde bulunan projektör aydınlatma direkleri envanteri.
Table 5. Inventory of projector lighting poles in Sivas Cumhuriyet University Campus.

Mahal Adı	100 W Led Projektör	150 W Led Projektör	250 W Led Projektör	200 W Led Projektör
Lojmanlar-Nizamiye Ana Kavşak			52	18
Mihmandar Otel Yolu				4
Sağlık Hizmetleri Otopark				6
Tıp Fak. İktisat Fak.- Mühendislik Dek.				10
İktisat Önü-Cüsem Arkası				12
Güzel Sanatlar Fak.				6
Cumhuriyet Parkı				6
Mühendislik Fak. Önü				6
Marangoz Atölyesi				6
Amfi Arkası				6
Yüzme Havuzu Spor Sahası				
Ana Yol		6		24
Eczacılık Fak.	6			
Hasbahçe				4
Toplam Aydınlatma Elemanı Sayısı	6	6	52	108
Güçler Toplamı (Watt)	600,00	900,00	13.000,00	21.600,00

Çizelge 6. Solar Led Armatür maliyetleri
Table 6. Solar Led Luminaire costs

ARMATÜR WATT DEĞERİ	ARMATÜR ADETİ	BİRİM FİYATI (TL)	TUTARI (TL)
100 W SOLAR LED	546	562.00	306,852.00
80 W SOLAR LED	83	941.00	78,103.00
125 W SOLAR LED	95	826.00	78,470.00
70 W SOLAR LED	26	941.00	24,466.00
40 W SOLAR LED	116	666.40	77,302.40
60 W SOLAR LED	120	850.00	102,000.00
100 W SOLAR LED PROJEKTÖR	6	1,535.33	9,211.98
150 W SOLAR LED PROJEKTÖR	6	1,209.50	7,257.00
250 W SOLAR LED PROJEKTÖR	52	1,499.00	77,948.00
200 W SOLAR LED PROJEKTÖR	108	1,209.50	130,626.00

Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5'teki aydınlatma güçleri toplamı 144.38 kWh'tir. Burada aydınlatma armatürlerinin çalışma süresi 12 saat alınmıştır. Bu durumda harcanan toplam enerji;

Güç x günlük çalışma saati

$$144,38 \text{ kWh} \times 12 \text{ h} = 1732,56 \text{ kWh}$$

Günlük 1732,56 kWh olacaktır. Sivas ili günlük güneşlenme süresi yaklaşık 7 saat alınarak hesaplanan günlük güneş enerjisi ihtiyacı ise;

Güç x günlük çalışma süresi / günlük güneşlenme süresi

$$144,38 \text{ kWh} \times 12 \text{ h} / 7 \text{ h} = 247,50 \text{ Kwp}$$

olarak hesaplanmıştır. Bu değer güneş panellerinin standart sıcaklık ve gün ışığında optimal koşullarda üretebildiği maximum güçtür.

Gerçek koşullarda optimum şartlara ulaşmak mümkün değildir. Panel kirliliği, olumsuz hava koşulları, modül sıcaklığı, invertör ve kablolamadan doğan enerji kayıpları gibi birçok faktör göz önüne alınarak güneş enerjisi sistemi tasarımı yapılmalıdır. PVsyst programı ile yapılan bir

simülasyon çalışmasında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüs aydınlatması için gerekli olan yıllık 632.384,4 kWh enerji üretimine 380 kWp güçte bir güneş enerjisi santrali kurularak ulaşmanın mümkün olduğu görülmüştür. Kayıplar ideal kabul edilmiştir.

Yöntem 1. Solar Led Aydınlatma Uygulaması

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüs alanı içinde bulunan led aydınlatma direklerinin enerji ihtiyacının solar paneller ile karşılanabilmesi için düşünülen ilk yöntem her bir konsol üzerine yeterli güçte bir solar panel ve batarya şarj regülatörü yerleştirmektir. Kampüs aydınlatma sistemi mevcut konsollar üzerine solar led aydınlatma montajı yapılarak revize edilmesi olarak açıklanabilecek bu yöntemde aydınlatma direklerini besleyen kuvvet hattını işlevsiz hale gelecektir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı maliyetinin yüksek olmasıdır. Çizelge 4'de görüldüğü üzere kampüs alanı içinde 1065 adet aydınlatma elemanı bulunmaktadır. Her birinin demontajı yapıp yerine solar

panel ve batarya sistemi montajı yapılması oldukça maliyetli bir yöntemdir. Ayrıca bu yöntemin ömrü on-grid bir GES sistemi kadar uzun olmadığından fayda-maliyet açısından uygun olmayacaktır.

Çizelge 6'ya göre toplam aydınlatma elemanı malzeme tutarı 2023 yılı fiyatları ile 892.296,38 TL'dir. 300.000,00 TL işçilik giderleri olarak hesaplandığında toplam değişim maliyeti 1.192.236,38 TL'dir. Kullanılan solar armatürün 45r kalitesine göre sistemin en az 5-8 yılda bir değişmesi gerekebilir. Yaz ve kış aylarında güneşlenme miktarı ve süresine göre aydınlatma verimi değişkenlik gösterir. Dahili batarya tam dolmadığı sürece gece aydınlatma kesintisiz sağlanamaz. Bu durumda armatürlerin tamamının solar led aydınlatma armatürleri ile değişmesi uygun bir yöntem olmayacaktır.

Yöntem 2. Off- Grid Mini GES Uygulaması

Şebeken bağımsız (off grid) solar sistemler; ada tipi çalışan bağımsız sistemlerdir. Tüketilen elektrik sadece güneş panelleri tarafından üretilir. Kampüs aydınlatma sisteminin off-grid (şebekeden bağımsız) bir güneş enerji santrali ile sağlanması için tüketim fazlası bataryalar tarafından depolanır. Bu tür güneş / solar sistemler şebekeden uzak kullanımlar için daha uygundur. Güneş panelleri tarafından üretilen DC elektrik doğrudan kullanılır ve kullanım fazlası bataryalar aracılığıyla depolanır. Bir off-grid sistemi oluşturan temel bileşenler sırasıyla; güneş paneli, batarya, şarj regülatörü, invertörlerdir.

Güneş paneli (PV): Fotovoltaik modüller, güneş pillerinin paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler. İki güneş pili paralel bağlandığında, voltaj sabit kalırken akım iki katına çıkar, seri bağlandığında ise, akım sabit kalırken, voltaj iki katına çıkar. Bu şekilde, gerilimi 14-16 volta çıkarmak mümkündür. Fotovoltaik modüller, sert dış ortam şartları için tasarlanmaktadır. Güneş pillerinin ve elektriksel bağlantıların dış ortamdaki korunması için modüller kapsüllenirler. Fotovoltaik paneller, fotovoltaik modüllerin, paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler. Bu şekilde 12-600 V arasında gerilim elde etmek mümkün olabilmektedir.

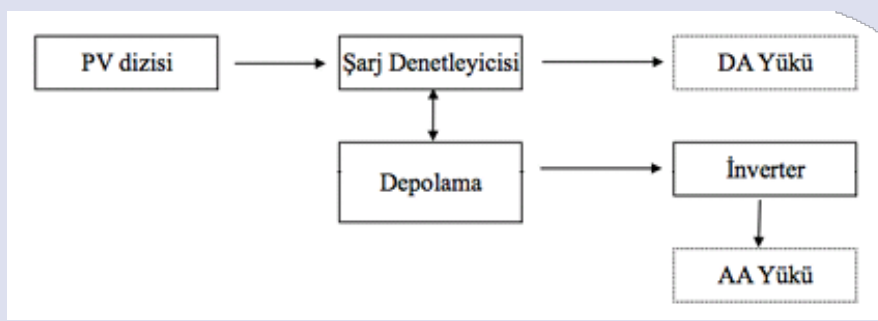
Batarya: Güneş panelinin ürettiği kullanım fazlası DC elektriği kimyasal enerji olarak depolayan elektro kimyasal bir ekipmandır. Şebekeden bağımsız (Off Grid) sistemlerde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta güneş enerjisi sistem tasarımı ve ihtiyaca göre belirlenecek olan depolamadır. Off-grid sistemlerde enerji depolamak için solar jel veya lityum bataryalar kullanılır. Solar jel ile lityum bataryalar arasındaki temel fark, lityum bataryaların solar jel bataryalara kıyasla daha uzun ömürlü oluşudur. Solar jel bataryalar doldur-boşalt döngü sayısında belirli bir ömre sahiptir. Bu kullanıma bağlı olarak yaklaşık 5-6 yıl civarındadır. Bu süre sonrasında batarya ömrü ve verimlerinde azalma olacağı için bataryaların sistem içerisinde yenilenmesi gerekir. Solar jel bataryalar lityum bataryalara göre daha düşük kapasiteye sahip olabilmektedir. Lityum bataryalar ise solar jel bataryalara kıyasla çok daha uzun ömürlüdür.

Şarj regülatörü: Solar panellerinden gelen akımı ve gerilimi (voltajı) "regüle" ederek (dengeleyerek) bataryaların aşırı derecede şarj edilmesini engelleyen cihazdır.

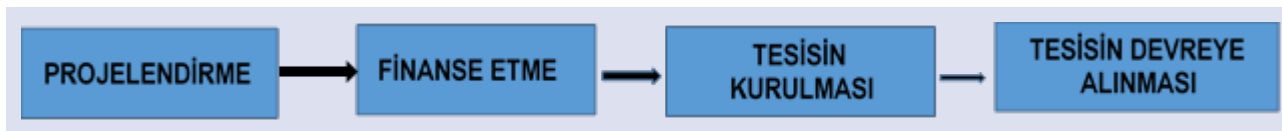
Invertör: Invertörler, doğru akımı alternatif akıma çeviren elektronik cihazlardır. Kapasitelerine göre belirli DC voltaj aralıklarına göre çalışmaktadırlar. Bu voltaj değerlerine göre de batarya bağlantısı ve bu bataryaları şarj etmek için de panel kablo bağlantıları ayarlanır. Off-grid solar invertörler 1000VA-5000VA arasında olabilmektedir. Invertörler ayrıca birbirleriyle paralellenerek güçleri arttırılabilir.

Aşağıda bir off-grid solar sistemin basit bir şeması verilmiştir. Solar panellerden elde edilen DC güç şarj kontrol ünitesi vasıtasıyla bataryalarda depolanır, enerjiye ihtiyaç duyulan durumlarda akülerden DC güç çıkışı alınır, AC güç için ise invertörler vasıtasıyla güç çıkışı verilir.

Off-grid bir solar sistem kurmak için herhangi bir elektrik iletim dağıtım kurumuna başvuru yapılması, proje onayı alınması ya da kurulumu yapılan tesisin kabul işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmez. Yeterli finansman ve sistemi kurmak için proje mevcut ise kurulumu hızlı bir şekilde gerçekleştirerek sistem devreye alınabilir. Off-grid bir sistemin iş akış şeması aşağıdaki görülmektedir.



Resim 6. Bağımsız PV Sistemlerinin Şematik Çizimi
Figure 6. Schematic Drawing of Standalone PV Systems



Resim 7. Off-Grid Sistem Blok Diyagramı
Figure 7. Off-Grid System Block Diagram

Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Solar Sistemlerin Avantajları, Dezavantajları ve Kullanım Yerleri:

- Elektrik iletim hattından uzak veya olmadığı durumlarda iletim hattına bağlanmaya kıyasla daha ekonomik bir uygulamadır.
- Elektrik hattının bulunduğu alanlarda akülü bir sistem kurulması ekonomik değildir. Bu nedenle off grid sistemlerin kurulduğu yerler elektrik hattın uzak yerlerdir.
- Yakıt veya iletim/dağıtım maliyeti yoktur.
- Enerjinin DC olarak taşınması esnasında, mesafe arttıkça kaybedilen enerji miktarı oldukça önemli miktarlara ulaşabilmektedir. Bu nedenle kullanılacak cihazların (güneş paneli-batarya-inverter) aralarındaki mesafe minimum olmalıdır. Buna ek olarak uygun kesitte kablo kullanılmalıdır.
- Kurulum için ilgili kurumlara başvuru, bağlantı görüşü, proje onayı, tesis kabul işlemi gibi süreçlere ihtiyaç duymaz, sistem kullanıcı tarafından projelendirilip tesis kurularak kullanıma alınabilir.
- Üretilen fazla enerji bataryalarda depolanır, panellerden daha az enerji üretilmesi durumunda bataryada depolanan enerji kullanılır.
- Kampüs aydınlatma sistemi özelinde;
- Her bir aydınlatma konsolu üzerinde tek tek çalışmaktansa, sistem tek merkezde toplanarak daha az işçilikle tesis kurulabilir.
- Daha büyük güçte daha az sayıda batarya kullanılarak sistem bileşen sayısı azaltılmış olur. Böylece daha az karmaşık bir sistem şeması oluşturulur.

- Sistemde arıza olması durumunda daha çok alan etkilenir.

Off-Grid sistemi çok fazla bakım gerektirmez. Enerji üretiminin sağlıklı sürdürülebilmesi adına kışın kar güneş panellerinden mümkün olduğunca uzak tutulmalıdır. Bataryalar ayda bir kontrol edilmelidir (en sık bozulan tip olan normal derin döngülü sulu kurşun asitli aküler için). Bataryaların kontrol edilmesi, gerekirse sıvı seviyesinin damıtılmış suyla doldurulması, güneş paneli dışındaki cihazların mümkün olduğunca kapalı ve havalandırılabilen ortamlarda muhafazalı olarak bulundurulması ve temizliklerine dikkat edilmesi ve en önemlisi kullandığınız cihazların uzun ömürlü olabilmesi için kullanma kılavuzlarının dikkatlice okunarak belirtilen kurallara uyulması önemlidir.

Cumhuriyet üniversitesi kampüsü aydınlatma kuvvet planı incelendiğinde, aydınlatma armatürlerinin 42 ayrı noktadan beslendiği görülmektedir.

Off-grid GES tasarımı yapabilmek için kuvvet planında revize yapılması, birçok mahallin birleştirilerek tek bir besleme hattına bağlanması ya da ana besleme hattı sayısının minimize edilmesi gerekmektedir. Söz konusu bu imalatlar zaman, maliyet ve işçilik açısından uygun olmayacağından Sivas Cumhuriyet Üniversitesi kampüs aydınlatması off-grid GES tasarımı fizibilite analizine göre uygun değildir sonucuna varılmıştır.

Çizelge 7: Cumhuriyet Üniversitesi kampüs aydınlatma planı besleme noktaları
Table 7. Cumhuriyet University campus lighting plan supply points

MAHAL ADI	BESLEME HATTI SAYISI (Pano Besleme Noktası)
Gençlik Merkezi Çevresi	2
Lojmanlar-Nizamiye	7
Bankalar- Müh. Fakültesi Yolu	9
Mihmandar Otel Yolu	1
Anayol Aydınlatma	12
Eczacılık Fak.-Sağlık Bil. Fak.	2
Hasbahçe	2
Yüzme Havuzu-İletişim Fak.	2
Rektörlük	1
Amfi Arkası	1
Güzel Sanatlar Fak.	1
Cüsem	1
Sağlık Hizmetleri Otopark	1

Yöntem 3. On-Grid Sistem:

Şebekeyle bağlantılı (on grid) solar sistemler; solar paneller tarafından tutulan elektriği depolamadan üretildiği yerde satılması veya tüketilmesi prensibine dayalı olarak çalışmaktadır. Bu tür solar sistemler evsel kullanım veya yüksek güçte santral sistemlerinde kullanılır.

Güneş panelleri tarafından üretilen DC elektrik, merkezi şehir sistemine bağlı yüksek çevrim gücü olan invertörler ile doğrudan şebekeye iletilir. Bir On-grid GES sisteminin bileşenleri şu şekildedir:

Güneş Paneli

On grid Solar sistemlerde güneş panelleri elektriği ürettiği ve şebekeye ilettiği için panellerin voltaj değerleri önemlidir. İnverterlerin çalışabileceği voltaj bandına göre paneller bağlanmalıdır. Panellerin güç değerine göre voltaj ve akımın değiştiği unutulmamalıdır.

İnverter

İnverter, şebekeye bağlı sistemlerin ana parçasıdır. Güneş panellerinden alınan DC elektriği AC elektrik enerjisine dönüştürür. İnverterlere data logger bağlanarak ürettiği elektrik gücünü cep telefonundan takip edebilmektedir.

Çift Yönlü Elektrik Sayacı

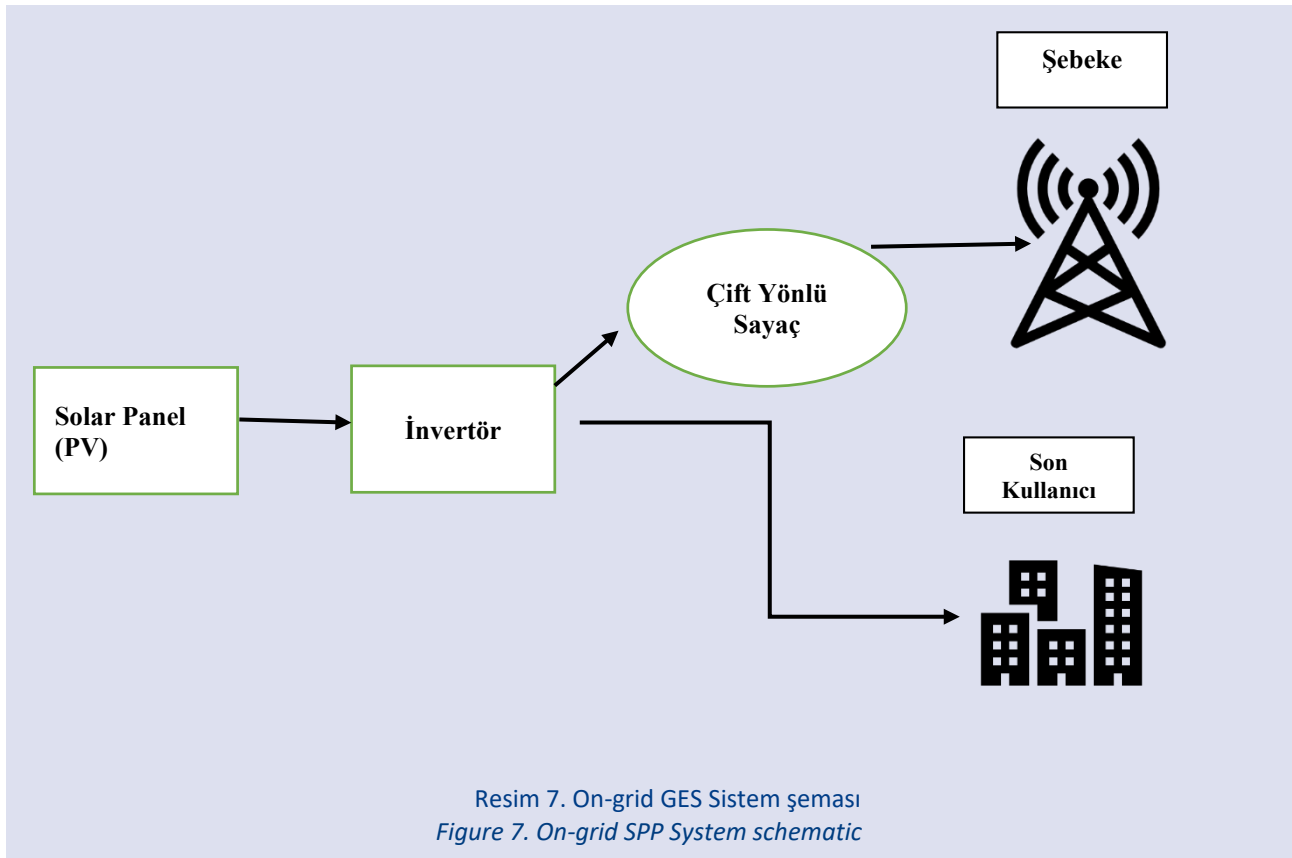
Çift yönlü elektrik sayaçları, tek yönlü elektrik sayaçları gibi şebekeden gelen elektriği konuta iletir. Tek yönlü sayaçtan farkı ise harici bir yerden üretilen elektriği de elektrik şebekesine iletmesidir.

Şebekeye Bağlı (On Grid) Sistemlerin Avantajları ve Kullanım Yerleri

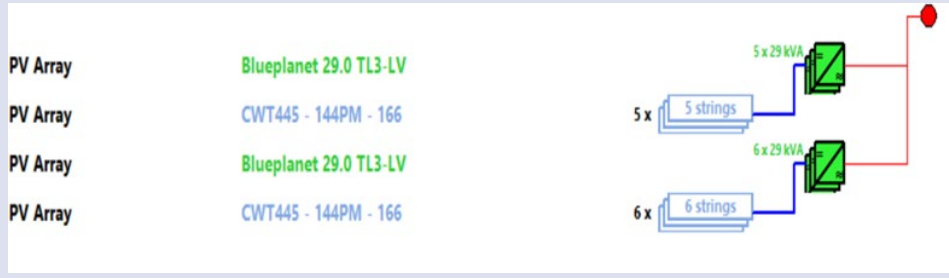
Sistemde depolama birimleri kullanılmayacağı için depolama için ayrıca ek bir maliyet olmaz. Üretilen enerji şebekeye bağlı olduğu için aynı zamanda üretilen enerji yetmediğinde şebeke devreye girecek ve enerji eksiksiz olarak yükü besleyecektir. Sistem tasarımı yapılırken, yükün tamamını karşılanması gibi bir zorunluluk olmadığı için esnek kurulum maliyetine ve tasarımla sahiptir. Elektrik faturasını düşürmek, ek gelir elde etmek isteyen şehir hatlarına yakın evsel kullanıcılar için tavsiye edilir.

Kampüs Aydınlatması On-Grid GES Uygulaması

Hesaplama sonuçlarına göre, 1859 m² modül olanı olan 380 kWp gücünde bir güneş enerjisi santrali için kampüs sınırları içinde birisi 9626,27 m², diğeri 11.275,74 m² büyüklükte iki alan seçilmiştir. Sistem her iki alana da gölgeleme olmaksızın kurulabilir.



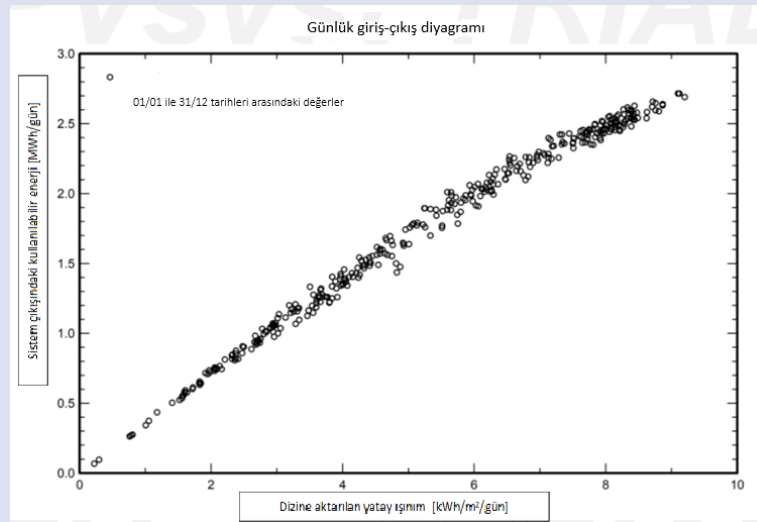
Resim 7. On-grid GES Sistem şeması
Figure 7. On-grid SPP System schematic



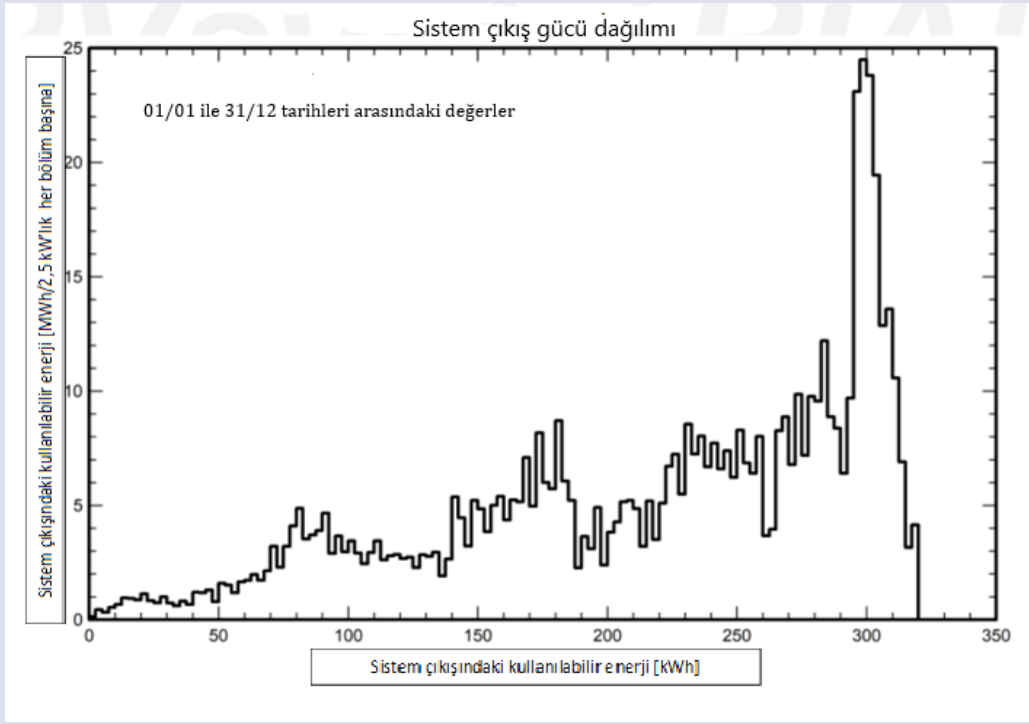
Resim 8. Simülasyon ile oluşturulmuş sistem diyagramı
Figure 8. System diagram generated by simulation

Çizelge 8. PVsyst Simülasyon sonuçları
Table 8. PVsyst Simulation results

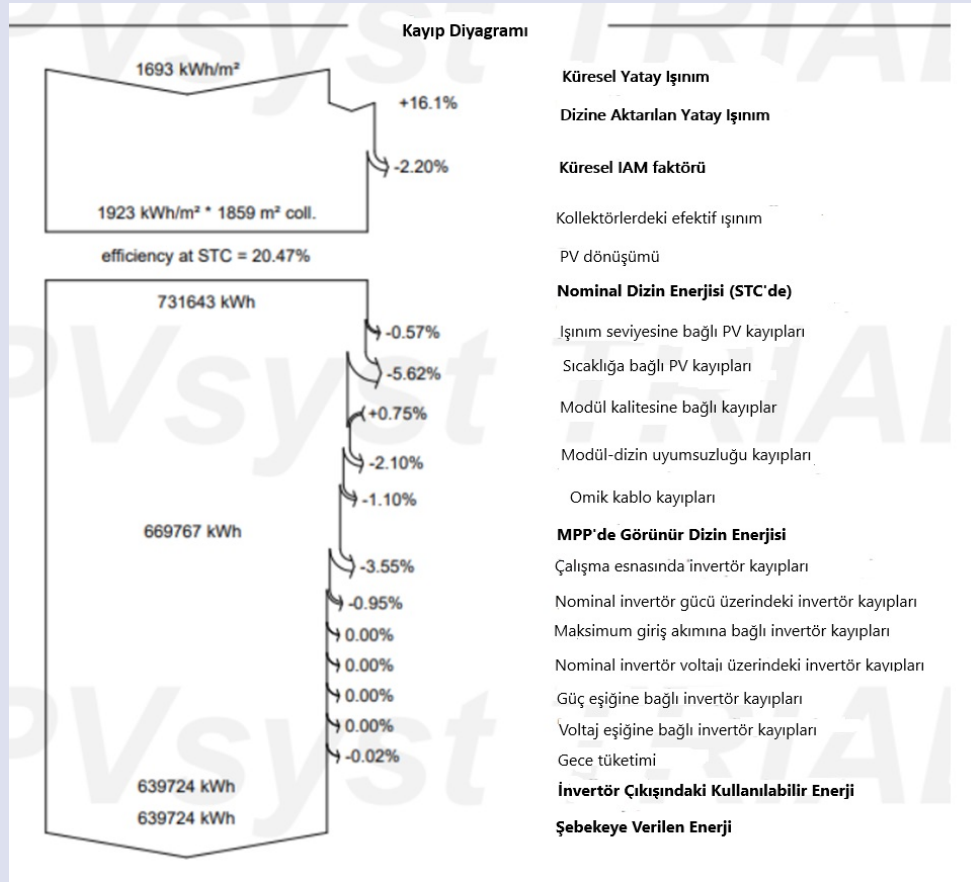
Temel Sonuçlar								
	Yatay Küresel Işınım kWh/m2	Yatay Difüz Işınım kWh/m2	Ortam Isısı °C	Dizine İsalet Eden Işınım kWh/m2	Kolektör Üzerindeki Küresel Işınım kWh/m2	Dizi Çıkışında Efektif Enerji kWh	Şebekeye Aktarılan Enerji kWh	Performans Oranı
Ocak	62,70	29,78	- 3,81	99,60	97,70	36.866,00	35.526,00	0,94
Şubat	85,30	34,80	- 2,13	122,00	119,90	44.075,00	42.462,00	0,92
Mart	124,80	49,64	3,42	156,30	153,20	54.365,00	52.377,00	0,88
Nisan	159,80	61,45	8,42	173,30	169,40	58.515,00	56.381,00	0,86
Mayıs	196,20	71,65	13,04	193,60	188,50	64.323,00	62.015,00	0,84
Haziran	219,30	65,31	16,77	206,50	200,90	67.361,00	64.919,00	0,83
Temmuz	219,90	61,55	20,52	210,80	205,20	67.431,00	65.002,00	0,81
Ağustos	207,90	56,69	21,10	219,30	214,30	70.337,00	67.830,00	0,81
Eylül	165,50	43,23	16,34	198,90	195,00	64.346,00	62.035,00	0,82
Ekim	115,20	42,57	10,84	158,60	155,70	54.043,00	52.117,00	0,86
Kasım	75,50	29,02	4,40	120,90	118,90	42.964,00	41.426,00	0,90
Aralık	60,80	25,80	- 1,30	106,20	104,10	39.037,00	37.635,00	0,93
Yıllık	1.693,00	571,50	9,03	1.965,90	1.922,60	663.663,00	639.724,00	0,86



Resim 9. Simülasyon sonucu günlük enerji giriş/çıkış diyagramı
Figure 9. Daily energy input/output diagram as a result of simulation



Resim 10. Simülasyon sonucu sistem çıkışı güç dağılımı
Figure 10. System output power distribution as a result of simulation



Resim 11. Simülasyon sonucu sistem kayıp diyagramı
Figure 11. System loss diagram as a result of simulation

Sonuç:

Bu çalışmada, üç farklı yöntemin kıyaslaması ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi sürdürülebilir kampüs aydınlatmasının güneş enerjisi temelli bir sistem ile beslenmesinin en verimli sonucunun, kampüs besleme noktalarına yakın bir lokasyona 380 kWp gücünde şebeke bağlantılı (on-grid) bir güneş enerjisi santrali kurulması olduğu görülmüştür. Aydınlatma elemanlarına herhangi bir fatura bedeli ödenmemesini sağlayacak olan bu sistem sayesinde kampüsün sürdürülebilirliğine katkıda bulunmuş olacaktır. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilirlik amaçlarından Erişilebilir ve Temiz Enerji, Sürdürülebilir şehirler ve Topluluklar, Sorumlu Üretim ve Tüketim başlıklarında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'ne katkı sağlayacak olan bu yapı sayesinde karbon emisyonu da azaltılmış olacaktır. Depolama sistemleri bulunan diğer yöntemler şebekeden bağımsız çalıştığı için sistem güvenilirliğini ve sürekliliğini sağlama konusunda on-grid bir sistem kadar iyi olmayacaktır. Kampüs alanı 24 saat boyunca kesintisiz olarak aydınlatılması gereken bir mahal olduğundan sistemin kesintisiz ve güvenilir olarak sürdürülebilmesi önemlidir.

Kampüs alanı içinde gölgeleme olmaksızın yeterli büyüklükte bir tesisin kurulabileceği alanlar mevcuttur. PVsyst simülasyonu sonuçlarında da görüleceği gibi uygulanacak güneş enerjisi santralinin performans değerleri oldukça yüksek olup, uygulanabilir sonuçlar elde edilmiştir.

Kaynakça:

- [1] W. Sutopo, I. S. Mardikaningsih, R. Zakaria, and A. Ali, "A model to improve the implementation standards of street lighting based on solar energy: A case study," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 3, 2020, doi: 10.3390/en13030630.
- [2] I. M. A. Nugraha and I. G. M. N. Desnanjaya, "Technical, economic and social feasibility of using solar street lighting on campus," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, vol. 14, no. 3, pp. 1731–1738, Sep. 2023, doi: 10.11591/ijpeds.v14.i3.pp1731-1738.
- [3] N. E. Geyik, "Tamamen Yenilenebilir İlk Güneş Enerjili Yapı Örnekleri: Masdar Şehri ve Masdar Bilim ve Teknoloji Enstitüsü Kampüsü First Completely Renewable Solar Energy Building Examples: Masdar City and Masdar Science and Technology Institute Campus."
- [4] O. Prakash, S. Kumar, and P. Kumar, "Applications of solar Photovoltaic's to power stand-alone area and street lighting," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1104, no. 1, p. 012030, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1104/1/012030.
- [5] N. Noel, N. Leonidas, and B. M. Petrovich, "Improved design and recommendations for street lighting in Gitega city," *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, vol. 5, no. 6. ASTES Publishers, pp. 1356–1365, 2020. doi: 10.25046/aj0506163.
- [6] A. M. ATEŞ, Ö. KESTANE, and K. ULGEN, "Üniversite Binalarının Enerji Performans Değerlendirmesi: MCBÜ Köprübaşı Meslek Yüksekokulu Örneği," *Mühendis ve Makina*, vol. 62, no. 704, pp. 534–555, Sep. 2021, doi: 10.46399/muhendismakina.912893.
- [7] Khan Imran, Halder Pobitra, Moznuzzaman Md., and Sarker Eity, "Renewable Energy Applications in the University Campuses: A Case Study in Bangladesh," *2021 5th International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)*, pp. 1–6, 2021.
- [8] S. O. Oyedepo, E. G. Anifowose, E. O. Obembe, and S. Khanmohamadi, "Energy-saving strategies on university campus buildings: Covenant University as case study," *Energy Services Fundamentals and Financing*, pp. 131–154, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-820592-1.00006-3.
- [9] S. Passago, C. Yodying, W. Monatrakul, and T. T. Santiboon, "Research and development of renewable energy: Prototype of LED street lighting from solar energy," 2020.
- [10] E. Oraz, P. Candidate, and H. Sözer, "Critical Saving Exposed by Investigating Energy Efficiency Performance and Retrofitting Measures in University Campus Buildings A Comprehensive Case Study." [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=4580492>
- [11] "Wikipedia," Wikimedia Foundation, Inc.
- [12] "WeatherSpark.com."
- [13] "Meteoroloji Genel Müdürlüğü," Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü.