




Araştırma Makalesi/Research Article

GSM baz istasyonunun güç ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik sistem tasarımı

Sevim Aslanbaş¹, Arzu Şencan Şahin², Ali Kemal Yakut^{*3}

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Baz istasyonları
Güneş enerjisi
Yenilenebilir enerji
PV

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 17.06.2019
Kabul Tarihi: 05.06.2020

Özet: Yenilenebilir enerji kaynakları açısından ülkemiz birçok gelişmiş ülkeyle karşılaştırıldığında çok daha büyük enerji potansiyeline sahiptir. Özellikle güneş enerjisi yönünden ülkemiz diğer ülkeler arasında en büyük solar enerji potansiyeli barındıran ülkeler arasında yer almaktadır. GSM operatörlerine ait baz istasyonları daha çok kırsal ve dağlık kesimde enerji taşıma hattı çekilmesi ve enerji tüketimi açısından ülkemize ciddi bir maliyet getirmektedir. Bu sebeple özellikle merkezden uzak kırsal alanlardaki GSM baz istasyonlarına enerji ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanmasıyla oldukça büyük ekonomik kazançlar sağlanabilir. Bu çalışmada Isparta ili sınırlarında güneş enerjisi ile beslenen örnek bir baz istasyonu sistemi tasarımı yapılmıştır. Sistemin akü kapasitesi ve panel sayısı belirlenerek maliyet analizi yapılmıştır. Baz istasyonlarında güneş enerjisi ile PV kullanımı halinde sistem maliyeti yüksek olmaktadır. Ancak güneşlenmenin yoğun olduğu yaz aylarında PV kullanımıyla baz istasyonunun enerji maliyetinde yaklaşık %41 oranında bir tasarruf sağlandığı görülmüştür.

Atıf için/To Cite:

Aslanbaş S. Şahin AŞ. Yakut AK. GSM baz istasyonunun güç ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik sistem tasarımı. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(1), 20-26, 2020.

Photovoltaic system design for GSM base station power supply

Keywords

Base stations
Solar energy
Renewable energy
PV

Article history:

Received: 17.06.2019
Accepted: 05.06.2020

Abstract: In terms of renewable energy sources, our country has a much bigger energy potential compared to many developed countries. Especially in terms of solar energy, our country is among the countries with the greatest solar energy potential among other countries. The base stations of GSM operators bring a significant cost to our country in terms of energy transport line and energy consumption in rural and mountainous areas. For this reason, especially in rural areas away from the center, GSM base stations can be supplied with solar energy to meet their economic needs. In this study, a sample base station system which is fed with solar energy in Isparta province is designed. Battery capacity and number of panels were determined and cost analysis was performed. In case of using PV with solar energy in base stations, system cost is high. However, it was observed that the use of PV saved 41% of the energy costs of the base station during the sun-drenched summer months.

1. Giriş

Dünyada olduğu gibi Türkiye’imizde de enerjinin önemli bir yeri vardır. Artan nüfus, sanayileşme ve gelişen teknoloji ile birlikte enerjiye olan ihtiyacımız günbegün artmaktadır. Gerek fosil yakıtların (kömür, esmer kömür, doğal gaz, benzin gibi) rezervlerinin azalması, oluşumu içinde yıllara ihtiyaç olması gerekse çevreye,

doğaya verdiği zararlar nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına yönelme hız kazanmış, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çözüm aranmaya başlanmıştır. Saydığımız etkenler yüzünden yenilenebilir enerjiye yönelmek her bakımdan önemli olacaktır. Ülkemiz açısından yenilenebilir enerji potansiyellerinin değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir [1]. Yenilenebilir enerji, ülkelerin dışa bağımlı kalmaksızın

* İlgili yazar/Corresponding author: kemalyakut@isparta.edu.tr

enerji ihtiyaçlarını karşılaması, sürdürülebilir enerji kullanımının sağlanması, enerji kullanımı neticesinde çevreye verilen zararların en aza indirilmesi açısından önemli bir yere sahiptir [2].

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte iletişim araçlarının gelişmesinde de büyük ilerleme kaydedilmiştir. İletişimi her yerden yapabilmek, bilgiye kolay ve hızlı ulaşmak önemli bir hal almıştır. Hal böyle olunca; iletişimi her yerden sağlayabilmek için telekomünikasyon iletişim araçlarında da gelişmeler olmuş mobil iletişim hayatımıza girmiştir. Bilindiği üzere mobil iletişim, kurulan baz istasyonları sayesinde sağlanmaktadır. Bilgiye ulaşmak ve iletişimi sağlamanın yanı sıra, seyir halindeyken iletişimin kesintisiz, sürekli sağlanması önemlidir. Baz istasyonları yeri belirlenirken bu hususa dikkat edilmeli, iletişim devamlılığı ve etkinliği sağlanmalıdır. Mobil iletişimde süreklilik çok önemlidir. Kesintiye mahal vermeden baz istasyonları sayısı yeterli düzeyde olmalıdır [3]. Artan mobil müşteri sayısına hizmet sunabilmek ve ilerleyen mobil teknolojisini karşılayabilmek için mobil baz istasyonlarının kapasite ve gücünün artırılması gereklidir.

Mobil iletişim kablosuz cihazlarla kurulabilen iletişim türüdür. Mobil haberleşme; cep telefonlarıyla kurulan iletişimdir. Bunun için gerekli alt yapı, yeterli sayıda baz istasyonunun oluşturduğu telsiz ağıdır. Bu istasyonlar alıcı ve verici görevi üstlenirler. Gelen konuşmaları mobil telefona gönderir; oradan geri gönderilen cevapları ise telsiz ağına geri gönderirler. Mobil telefonların kapsama alanı birkaç kilometre ile sınırlı olduğundan alanı genişletebilmek için pek çok baz istasyonuna ihtiyaç vardır.

Enerjinin belli bir merkezde üretilmesi ve bu enerjinin kullanıma dağıtılması da ciddi bir ekonomik yükür. Bu sebeple kullanım yerinde üretilen enerjinin ekonomik açıdan daha avantajlı olduğu aşikârdır. Farklı bölgelerde, kırsal alan ve yüksek tepelerde kurulacak düşük güç ihtiyacı olan GSM baz istasyonlarına enerji iletimi de ayrıca ciddi bir maliyet getirecektir. Bu sebeple özellikle merkezden uzak kırsal alanlardaki GSM baz istasyonlarına enerji ihtiyacının yapılacak yenilenebilir enerji ile karşılanması üretiminde ciddi ekonomik kazançlar sağlanabilir. Bu konuyla ilgili literatürde bazı çalışmalar yapılmıştır. İsaoglu (2014), çalışmada dünyada ve ülkemizde elektronik ve haberleşme alanında meydana gelen teknolojik ilerlemelerle beraber bilgi, iletişim teknolojilerinin çevresel sorunları gidermedeki etkisini ortaya koymuş, yeşil bilişim konusunda yapılan uygulamaları değerlendirmiştir [2]. Gürses, (2012), çalışmada GSM baz istasyonlarında amaçlanan enerji verimliliğini yükseltmek için merkezin termik modellemesinin yapılması, önerilen modelin deneysel olarak

doğrulanması ayrıca deneysel olarak kanıtlanmış model yardımıyla yeşil enerji verimliliğinde farklı alternatif çözüm önerilerinin test edilmesini sağlamıştır [4]. Issaadi, v.d., (2016), çalışmalarında bir fotovoltaiik sistem kullanarak bir mobil ağı baz istasyonunun yönetimini incelemişlerdir [5]. Arslan, (2015) güneş enerjisi potansiyelinin bölgesel analizi ve enerji üretim sistemlerine uyarlanması konusunda çalışmıştır [6]. Biroğul, (2008), GSM şebekelerinde frekans planlamasının veri füzyonu ile gerçekleştirilmesi konusunda çalışmıştır [7]. Bozkurt, (2008) çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji verimliliği açısından değerlendirilmesini yapmıştır [8]. Alkan v.d., (2014) çalışmada bir elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak fotovoltaiik sistemin kurulumunu yapmıştır [9]. Chamola vd. (2017) çalışmada şebekeden bağımsız güneş enerjisiyle çalışan baz istasyonlarını ele almış ve bunların çalıştırırken zorlukları ve çözüm yöntemlerini incelemişlerdir [10]. Ahmed vd. (2016) yenilenebilir enerji kaynaklarıyla mini-akıllı bir şebekede birbirine bağlanabilen hücre baz istasyonları için çalışma yapmışlardır [11]. Kusakana ve Vermaak (2013) çalışmalarında Demokratik Kongo Cumhuriyeti'nin kırsal bölgelerinde cep telefonu Baz Alıcı-Verici İstasyonlarında gerekli enerjiyi sağlamak için hibrid Fotovoltaiik-Rüzgar yenilenebilir sistemlerinin kullanılma olasılığını araştırmışlardır [12]. Chia vd. (2014) çalışmalarında hem geleneksel şebeke hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı hücre baz istasyonları için bir model geliştirmişlerdir [13].

Literatür incelendiğinde bu konuda çok sınırlı sayıda çalışma bulunduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu çalışmada, literatürden farklı olarak Isparta ili sınırları içinde Yalvaç/Tokmacık kırsal alanında güneş enerjisi ile beslenen örnek bir baz istasyonu sistemi tasarımı yapılmıştır. Yalvaç/Tokmacık kırsal alanında kurulacak GSM baz istasyonunun güç ihtiyacının karşılanması için PV sistemi tasarımı yapılmıştır [14].

2. Sistemi Tasarımı

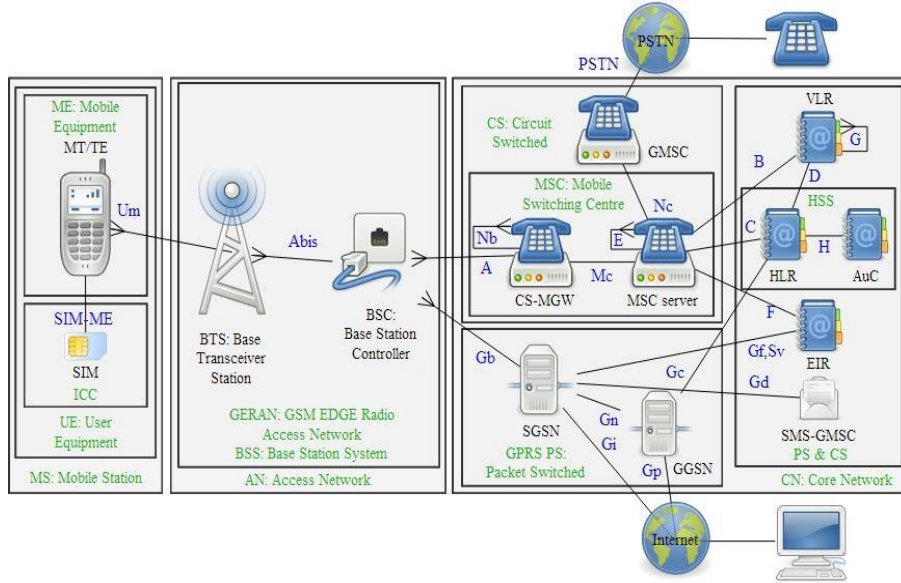
Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications) veya kısaca GSM bir mobil cihaz iletişim protokolüdür. Tüm GSM standartları, hücre baz kullanır ve dolaşım sırasında bile hücreler arası geçiş yapma kabiliyetine sahiptir. Dolayısıyla teoride, eğer kapsama alanından çıkılmazsa, cep telefonu ile tüm dünyayı telefon konuşmasını kesmeden dolaşmak mümkündür. Şekil 1'de GSM çalışma prensibi şeması verilmiştir.

Mobil telefon şebeke sistemi birçok hücrenin birleşmesinden meydana gelmiştir. Anahtar sistemi bütün bağlantılarını ve konuşma sonlarında kapanmalarını sağlar, aynı zamanda ana telefon sistemi

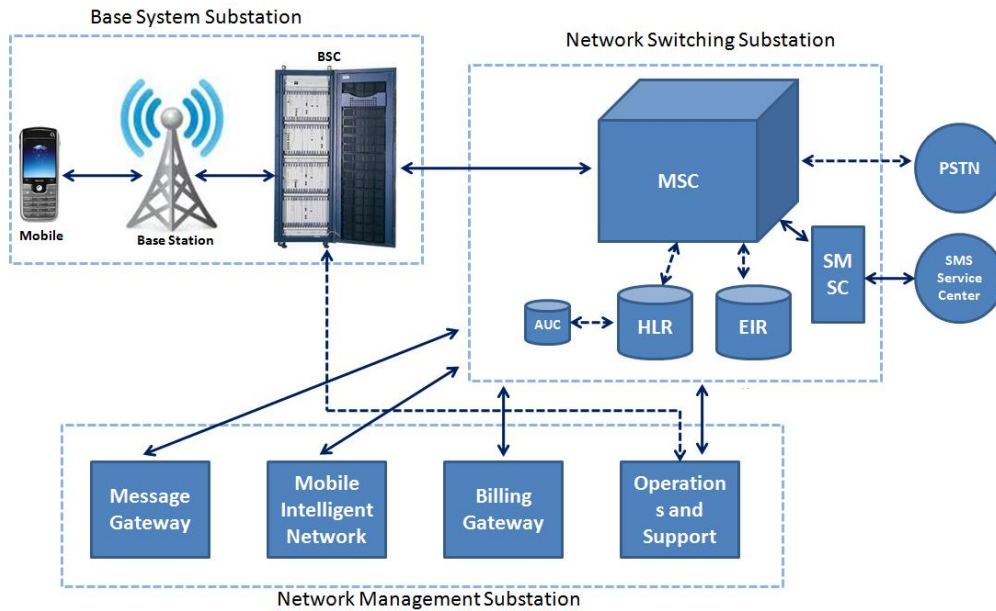
ile mobil telefon sistemi arasındaki gerekli bağlantıları sağlar.

Baz istasyonları; alıcı, verici ve güç ünitelerinden oluşan kabin ile sinyalleri yaymak için kule, direk, çatı, bina yüzeyleri vb. yerlere kurulan anten ünitelerinden meydana gelen ve mobil cihazlar ile haberleşmeyi sağlayan sistemlerdir.

Baz istasyonları, mobil cihazlarla iletişim sağlamak amacıyla kurulmakta olup, baz istasyonlarının kapsama alanında olmayan yerlerde mobil iletişim kurmak mümkün değildir. Şekil 2'de bir baz istasyonu çalışma sistemi görülmektedir.



Şekil 1. GSM çalışma prensibi



Şekil 2. Baz istasyonu çalışma sisteminin görünüşü

Isparta ili sınırları içinde Yalvaç/Tokmacık kırsal alanda kurulacak GSM baz istasyonu için; sistemdeki batarya

kapasitesi gereksinimi, enerji kaynağının üretim yapamayacağı sürelerde sistemin devamlılığını

sağlayacak kapasitenin bulunmasına dayanır. Güneş enerjisi ile elektrik üreten bir sistemde bu; geceyi ve yoğun bulutlu zamanları ifade eder. Akü ihtiyacı hesabında en kötü koşullar ele alınmalıdır. En kötü dönem olarak Aralık ayı değerleri dikkate alınmalıdır. Örnek yerleşim bölgesinde güneşlenme dışı zaman 20 saat olduğundan, akülerin sistemi besleme süresinde bu değer dikkate alınmalıdır. Ayrıca mevsim koşulları gereği kışın klima kullanımına ihtiyaç olmayacağından, dikkate alınacak enerji de klima gücü hesaba katılmayacaktır.

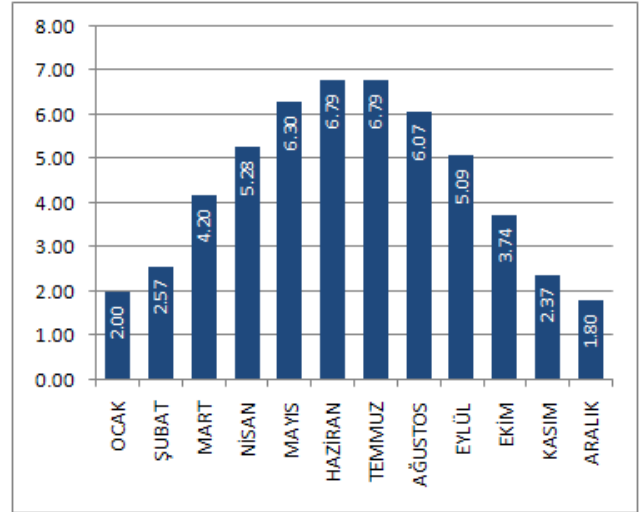
Kırsal alan baz istasyonu (Yalvaç/Tokmacık) için yaklaşık güç ihtiyacı tablosu standart bir sistem için Tablo 1’de verilen güç ihtiyacını karşılamalıdır.

Tablo1. Kırsal Alan Baz İstasyonu için Yaklaşık Güç İhtiyacı Çizelgesi

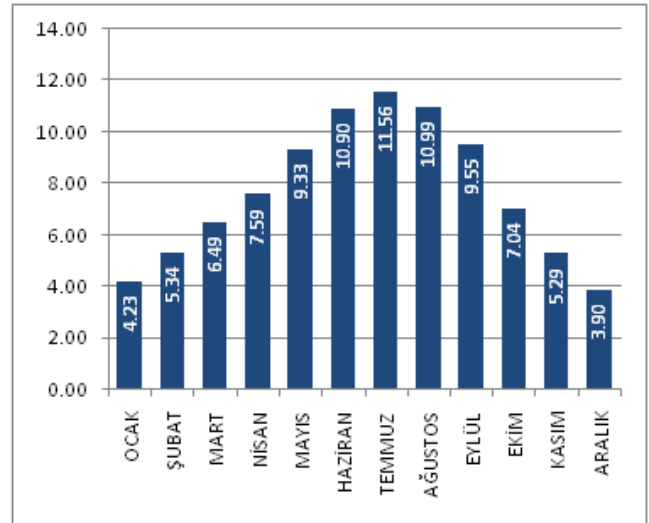
Cihaz tipi	Nominal güç (W)
RBS (Radio Base Station)	2000
RRU (Remote Radio Unit)	350
Pasif Anten	-
Transmisyon Sistemleri	160
SWitch ve Uz denetim ekipmanları	220
Aydınlatma	20
Klima (KİŞ aylarında dikkate alınmaz)	1200
TOPLAM	3950

Elektrik mühendisliği temel prensipleri gereğince güneş enerjisi besleme sisteminin kapasitesi en kötü koşullar dikkate alınarak hesaplanacaktır. Dolayısıyla güç kapasite tablosunda Aralık ayındaki efektif değerler düşünülerek, kurulacak baz istasyonunun güç ihtiyacı 2750 W olarak belirlenmiştir.

Yalvaç ilçesinin yıllık aylık bazda global ışınım değerleri ve aylık saat bazında güneşlenme değerleri Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir [15].



Şekil 3. Yalvaç ilçesi global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün)



Şekil 4. Yalvaç ilçesi Güneşlenme Süreleri (Saat)

Bir baz istasyonu için PV sistemin tasarımı istasyonun günlük enerji tüketimi her gün farklılık gösterebilir. Ancak yaklaşık olarak Tablo 1’de bir istasyonun nominal güç enerji ihtiyaç değerleri alınacaktır. PV sistemlerde üretilen gücün tamamı yüke aktarılamaz. Sistemde kullanılan cihazların verimliliklerine bağlı olarak enerji kaybı meydana gelir. Bundan dolayı üretilen istasyon için PV hesabında bu enerji kaybı dikkate alınması gerekir.

Bütün cihazların verimlilik oranları farklıdır. Güneş panelinin verimliliği (η_{pv}) % 20, akülerin verimliliği ($\eta_{akü}$) % 80 ve inverterin verimliliği (η_{inv}) % 90 civarındadır. Bu değerler dikkate alındığında sistemin verimliliği (η_{sis}) Denklem 1’e göre hesaplanacaktır [9].

$$\eta_{sist} = \eta_{pv} \times \eta_{akü} \times \eta_{inv} \quad (1)$$

Bu durumda sistemin verimi;

$$\eta_{\text{sist}} = (0.20) \times (0.80) \times (0.90) = 0.144$$

Dolayısıyla sistemin verimi %14.4 olacaktır.

2.2. Akü Kapasitesinin Hesabı

Kırsal alan baz istasyonu için yaklaşık güç ihtiyacı Tablo 1 dikkate alınarak akü kapasitesi hesabı yapılmıştır [9].

$$\text{Akü Kapasitesi} = \text{Günlük Güç ihtiyacı} \times \text{Güneşlenme dışı zaman} \quad (2)$$

$$\text{Akü Kapasitesi} = 2750W \times 20 \text{ saat} = 55kW$$

Dolayısıyla bu miktar enerji ihtiyacı akülerden temin edilmelidir.

Akülerin yapıları gereği %50 şarj gücünün altına düşmemesi gerektiğinden dolayı, akü kapasitesi bulunan nominal gücün 2 katı olarak dikkate alınmalıdır.

$$\text{Gerçek akü güç ihtiyacı} = \text{Akü kapasitesi} \times 2 \quad (3)$$

$$\text{Gerçek akü güç ihtiyacı} = \text{Akü kapasitesi} \times 2 = 55 \text{ kW} \times 2 = 110 \text{ kW}$$

Olarak gerçek sürdürülebilir sistem için akü kapasitesi kullanılmalıdır. Ancak güneş paneli kapasitesi hesabında yine 55 kW güç hesabı dikkate alınmalıdır.

Gereken yükün hesabı ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [9].

$$\text{Yükün Enerjisi (YE)} = \text{Üretilmesi Gereken Enerji (ÜGE)} \times \eta_{\text{sist}} \quad (4)$$

Bu durumda en soğuk ve güneşlenme süresinin en kısa olduğu Aralık ayı için:

$$Y E = \text{ÜGE} \times (0.144)$$

Dikkate alınarak üretilmesi gereken enerji 7920 W olarak hesaplanmış olur.

2.3. Fotovoltaik Güneş Paneli İhtiyacı Hesabı

Güneş paneli hesabında Aralık ayı için mevcut akü kapasitesi olan 55 kW'ın, 4 saat gün ışığı zaman diliminde şarj edilebilir olacak şekilde hesaplama yapılmalıdır. Panel sayısı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [9].

$$PS = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı}}{(\text{Bir Güneş Panelinin Gücü}) \times (\text{Güneşlenme Süresi})} \quad (5)$$

Yaklaşık olarak her bir panel için ortalama güç değeri 300 W alınacaktır.

Ayrıca Yalvaç ilçesinin yıllık aylık bazda global ısınım değerleri ve aylık saat bazında güneşlenme değerleri tablosundan ortalama olarak güneşlenme süresi 4 saat alınarak;

$$PS = \frac{55000Wh}{(300W) \times (4)} = 45.83$$

Dolayısıyla yaklaşık olarak 46 adet PV ihtiyacı vardır. Ayrıca %10 da çeşitli güç kayıplarından dolayı (inverter, akü şarj üniteleri, kablo kayıpları vs.) emniyet payı da dikkate alındığında 50 adet güneş paneli tahmini belirlenmiştir. Bu değerler akü ve güneş paneli marka ve modellerine göre değişim gösterebilir.

2.4. Maliyet Analizi

Elektrik mühendisleri odası referans birim fiyat maliyet tablosuna göre baz istasyonuna ait tahmini proje bedeli hesaplaması için maliyet analizi yapılmış, Aralık ayı için analiz sonuçları aşağıda Tablo 2'de verilmiştir [9].

Tablo 2. Güneş Baz İstasyonunun Aralık ayı için birim maliyet çizelgesi

Malzeme	Adet	Birim Maliyeti (\$)	Maliyet (\$)
Güneş paneli	50	354	17.700
Akü (200 Ah)	12	472	5 664
Şarj kontrol cihazı	3	137	411
İnvertor	1	2 208	2 208
Solar kablo	300m	1	300
Konnektor	6	51,8	310,8
Demir konstrüksiyon	1	100	100
TOPLAM			26 693,8

Sonuç olarak planlanan kırsal alan baz istasyonu (Yalvaç/Tokmacık) için yaklaşık güç ihtiyacını karşılayabilecek sistemin maliyeti 26 693.8 \$ olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu Temmuz ayı için gerekli hesaplamalar yapılarak maliyet analizi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

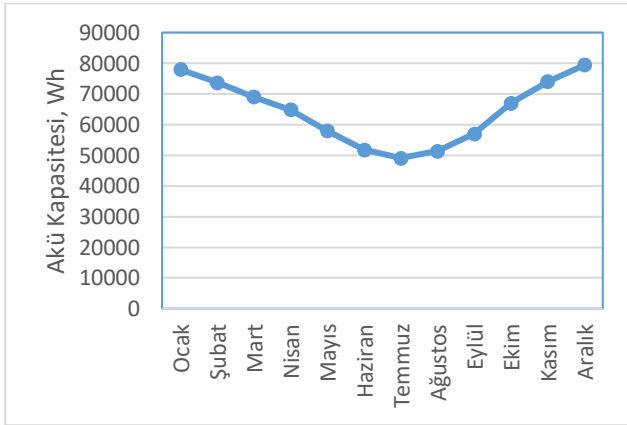
Tablo 3. Güneş Baz İstasyonunun Temmuz ayı için birim maliyet çizelgesi

Malzeme	Adet	Birim maliyeti (EMO referans)	Maliyet
Güneş paneli	16	354\$	5 664\$

Akü (200 Ah)	12	472\$	5 664\$
Şarj kontrol cihazı	3	137\$	411\$
İnvertör	1	2 208\$	2 08\$
Solar kablo	300m	1\$	300\$
Konnektör	6	51,8	310,8\$
Demir konstrüksiyon	1	100\$	100\$
Klima	1	900\$	900\$
TOPLAM			15 557,8\$

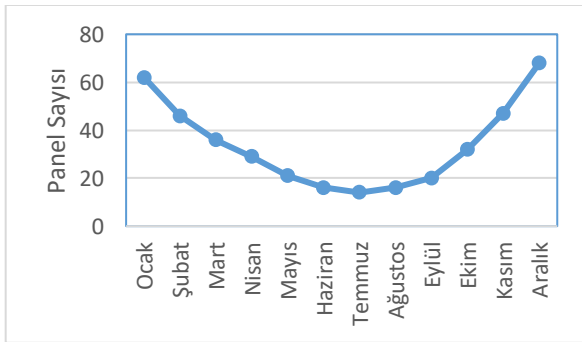
Temmuz ayı dikkate alındığında güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek ay olması nedeniyle baz istasyonunun maliyeti de yaklaşık olarak %41.7 oranında azalmaktadır.

Sonuç olarak projelendirilen baz istasyonun aylara göre gerekli akü kapasiteleri değişimi hesaplanarak Şekil 5'deki grafikte sunulmuştur. Bu diyagramlarda klimalar her ay için yazın iklimlendirme kışın da ısıtma ihtiyacı dikkate alınarak hesaba dahil edilmişlerdir.



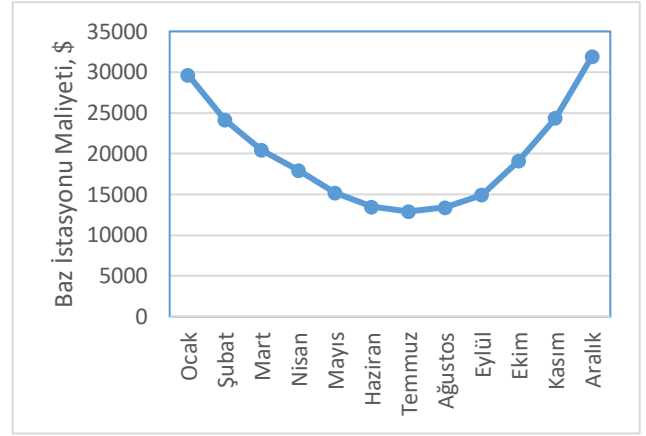
Şekil 5. Aylara göre akü kapasitelerinin değişimi

Ayrıca projelendirilen baz istasyonun aylara göre gerekli panel sayılarının değişimi hesaplanarak Şekil 6'daki grafikte sunulmuştur.



Şekil 6. Panel sayısının aylara göre değişimi

Son olarak projelendirilen baz istasyonun aylara göre baz istasyonunun maliyeti hesaplanarak Dolar bazında Şekil 7'deki grafikte sunulmuştur.



Şekil 6. Aylara göre baz istasyonu maliyeti

Şekil 4-6 incelendiğinde doğal olarak yoğun kış şartlarında akü kapasitelerinin en yüksek olduğu buna karşılık Güneşlenme süresi arttıkça güç ihtiyacının da hızla azaldığı anlaşılmaktadır. Buna bağlı olarak panel sayısı ve baz istasyonu maliyeti de benzer şekilde değişmektedir.

3. Sonuçlar

Ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyelinden faydalanmak için, ülkemizin ekonomik koşullar çerçevesinde teşvik çalışmaları yapması kaçınılmazdır. Kyoto protokolüne imza atmış olmamız ve gelecekte fosil kaynaklı enerji tüketiminin çevresel sorunlara yol açacağından, ülkemize bir ek maliyet yükü getirmesine neden olabilecektir. Tüm bu nedenlerin ışığında ülkemizin, mevcut enerji tüketiminde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları ana maddeleri adı altında sürdürülebilir bir enerji politikasına sahip olması zorunludur.

Bu çalışmada güneş enerjisi ile beslenen örnek bir baz istasyonu sistemi tasarımı yapılmıştır. Isparta ili sınırları içinde Yalvaç/Tokmacık kırsal alanda kurulacak GSM baz istasyonunun güç ihtiyacını karşılanması için PV sistemi tasarımı yapılmıştır. Sistemin akü kapasitesi ve panel sayısı belirlenerek maliyet analizi yapılmıştır.

Sonuç olarak baz istasyonlarında büyük güç gereksinimi tamamen yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi ile PV kullanımı halinde sistemin maliyeti çok yüksek olmaktadır. Özellikle kış şartlarında 67 adet panelle ve toplamda 32000\$'lık bir yatırımla ihtiyaç giderilebilirken güneşlenmenin yoğun olduğu yaz aylarında baz istasyonunun enerji maliyeti yaklaşık olarak %41 azalarak makul düzeyde kalmaktadır. Dolayısıyla konvansiyonel sistemlerinin yanında böyle bir alternatif yaklaşımın hibrit sistem şeklinde takviye

amaçlı olarak kullanımının tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Metin M, Türk E. Yeşil Hücresel Ağların Enerji Verimliliğindeki Rolü. V. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, İzmir, 16-17 Mayıs 2013.
- [2] İsaoglu AE. Elektronik Haberleşme Sektöründe Yeşil Uygulamalar ve Türkiye İçin Öneriler. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 133s, Ankara, 2014.
- [3] Güngör M. vd.. Mobil İşletmecilerin Altyapı ve Şebeke Paylaşımı: Ülke Uygulamaları ve Türkiye İçin Öneriler. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 70s, Ankara, 2012.
- [4] Gürses C. GSM Baz İstasyonlarında Enerji Verimliliği Amaçlı Isıl Modelleme ve Deneysel Analiz. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [5] Issaadi W, Khireddine A, Issaadi S. Management of a base station of a mobile network using a photovoltaic system. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59, 1570-1590, 2016.
- [6] Arslan E. Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgesel Analizi ve Enerji Üretim Sistemlerine Uyarlanması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015.
- [7] Biroğul S. GSM Şebekelerinde Frekans Planlamasının Veri Füzyonu İle Gerçekleştirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [8] Bozkurt AU. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Enerji Verimliliği Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2008.
- [9] Alkan S, vd. Bir Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistemin Kurulumu. Elektrik-Elektronik Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 27-29 Kasım 2014.
- [10] Chamola V, Krishnamachari B, Sikdar B. Green energy and delay aware downlink power control and user association for off-grid solar-powered base stations. IEEE Systems Journal, 12(3), 2622-2633, 2017.
- [11] Ahmed F, Naeem M, Iqbal M, Anpalagan A. Renewable energy assisted base station collaboration as micro grid. In 2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC) (pp. 1-6). IEEE, October 2016.
- [12] Kusakana K, Vermaak HJ. Hybrid renewable power systems for mobile telephony base stations in developing countries. Renewable Energy, 51, 419-425, 2013.
- [13] Chia YK, Sun S, Zhang R. Energy cooperation in cellular networks with renewable powered base stations. IEEE Transactions on Wireless Communications, 13(12), 6996-7010, 2014.
- [14] Aslanbaş S. Baz istasyonları enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta, 2019.
- [15] YEGM. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi ve Teknolojileri, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx. (Erişim Tarihi: 15.03.2019).