



Hybrid Use and Analysis of Solar and Wind Energy Systems for Hill Radio Station

İsa Karabulut^{1,a,*}, Serdar Koçkanat^{2,b}

¹ Türk Telekom A.Ş. Sivas, 58040, Turkey

² Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of, Electrical and Electronics Engineering, Sivas, 58140, Turkey

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 12/06/2024

Accepted: 21/06/2024

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

Tepe Radyo İstasyonu İçin Güneş ve Rüzgar Enerji Sistemlerinin Hibrit Kullanım ve Analizi

Süreç

Geliş: 12/06/2024

Kabul: 21/06/2024

ABSTRACT

In today's world, communication and energy technologies are constantly evolving and hold critical importance in every aspect of our lives. While the widespread availability of both communication and energy infrastructure in large cities facilitates our daily lives, the lack of these infrastructures in rural areas poses a significant challenge. Particularly in small villages, the absence of communication infrastructure hinders access to information and social interaction, and delays the ability to receive assistance in emergency situations. To address this issue, a hybrid solar and wind powered Radio Link (RL) communication infrastructure has been established in Karayaprak village. This innovative solution stems from the challenges of installing traditional fiber or copper cable infrastructure due to high costs and the remoteness of energy infrastructure from the grid. To overcome the communication problems arising from this infrastructure gap, the sustainable energy source provided by solar and wind power has been combined with the long-distance communication capabilities of RL technology. The hybrid solar and wind powered RL system ensures uninterrupted and affordable communication for the residents of Karayaprak village. This system is more cost-effective compared to traditional infrastructure and is more sustainable as it can operate independently from the grid. As a result, villagers can meet their basic needs such as internet access, phone calls, and emergency communication, and can also easily access information in areas such as education and healthcare. The hybrid energy-powered RL system implemented in Karayaprak village goes beyond simply solving the communication problem of a single village and serves as an inspiring example for the establishment and development of communication infrastructure in rural areas. This innovative solution provides an applicable model for other villages and regions facing similar challenges.

Keywords: Hybrid, Radio Link Station, Wind Power Plant (WPP), Solar Power Plant (SPP).

Öz

Günümüzde iletişim ve enerji teknolojileri sürekli gelişmekte olan ve hayatımızın her alanında kritik öneme sahip iki sektördür. Büyük şehirlerde hem iletişim hem de enerji altyapısının yaygın olması hayatımızı kolaylaştırırken, kırsal bölgelerde bu altyapıların eksikliği önemli bir sorun teşkil etmektedir. Özellikle küçük köylerde iletişim altyapısının olmaması, bilgiye erişim ve sosyalleşmeyi zorlaştırmakta, acil durumlarda yardım alabilmeyi geciktirmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için Karayaprak köyünde güneş ve rüzgar enerjisi ile çalışan bir hibrit Radyo Link (RL) iletişim altyapısı kurulmuştur. Bu inovatif çözümün temelinde, geleneksel fiber veya bakır kablo altyapısının kurulmasının maliyetli ve enerji altyapısının da şebekeden uzak olması gibi engeller yatmaktadır. Bu altyapı eksikliğinin yol açtığı iletişim sorununu çözmek için, güneş ve rüzgar enerjisinin sunduğu sürdürülebilir enerji kaynağı ve RL teknolojisinin uzun mesafelerde haberleşme yeteneği bir araya getirilmiştir. Hibrit güneş ve rüzgar enerjili RL sistemi, Karayaprak köyünde yaşayan insanların kesintisiz ve uygun fiyatlı bir şekilde iletişim kurmasını sağlamaktadır. Bu sistem, geleneksel altyapıya kıyasla daha düşük maliyetlidir ve şebekeden bağımsız çalışabildiği için daha sürdürülebilirdir. Bu sayede köy sakinleri, internet erişimi, telefon görüşmeleri ve acil durum iletişimi gibi temel ihtiyaçlarını karşılayabilmekte, eğitim ve sağlık gibi alanlarda da bilgiye kolayca ulaşabilmektedir. Karayaprak köyünde uygulanan hibrit enerjili RL sistemi, sadece bir köyün iletişim sorununu çözmenin ötesinde, kırsal alanlarda iletişim altyapısının kurulması ve geliştirilmesi için ilham verici bir örnek teşkil etmektedir. Bu inovatif çözüm, benzer sorunlarla karşı karşıya kalan diğer köyler ve bölgeler için de uygulanabilir bir model oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hibrit, Radyo Link İstasyonu, Rüzgar Enerji Santrali (RES), Güneş Enerjisi Santrali (GES)

^a m.isakarabulut@gmail.com

^b 0009-0002-9542-2945

^b skockkanat@cumhuriyet.edu.tr

^b 0000-0001-6415-0241

How to Cite: Karabulut İ, Koçkanat S (2024) Hybrid Use and Analysis of Solar and Wind Energy Systems for Hill Radio Station, Journal of Engineering Faculty, 2(2): 107-118

Giriş

Modern dünyada iletişim, yaşamın her köşesine işleyen bir damar gibi hayati önem taşımaktadır. Bu damarı besleyen ve işlevini sürdüren enerji ise sinir sistemi gibi kritik bir rol oynar. Bu iki hayati alanın kesiştiği noktada, şebekeden bağımsız ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla güçlendirilmiş haberleşme santralleri, geleceğe bağlı ve sürdürülebilir bir iletişim altyapısı inşa etmenin anahtarı konumundadır.

Güneş, rüzgar, su ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynaklar, haberleşme santrallerinin ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlayarak karbon ayak izini sıfıra indirir ve enerji güvenliğini artırır. Akıllı şebekeler ve enerji yönetim sistemleri gibi BİT çözümleri ile üretilen enerji optimize edilir, depolanır ve şebeke kesintilerinden etkilenmeden iletişimin kesintisiz devam etmesini sağlar [1]. Bu yenilikçi yaklaşım sadece çevreye duyarlı bir iletişim altyapısı inşa etmekle kalmaz, aynı zamanda uzak ve gelişmekte olan bölgelere de internet erişimi sağlayarak dijital eşitsizlikleri ortadan kaldırır. Yenilenebilir enerjili haberleşme santralleri, bilgiye erişimin demokratikleşmesine ve dijital kalkınmaya katkıda bulunur.

Sonuç olarak, yenilenebilir enerjili haberleşme santralleri sürdürülebilir bir geleceğin temelini oluşturur. Bu santraller, iletişimin kesintisiz devam etmesini sağlarken, enerji güvenliğini artırır, çevreyi korur ve dijital eşitsizlikleri ortadan kaldırır. Kamu ve özel sektörlerin iş birliğiyle bu vizyonu hayata geçirmek, hepimizin yararına olacak bir gelecek inşa etmemizi sağlayacaktır.

Sivas ili Hafik ilçesine bağlı Karayaprak köyünde iletişim için herhangi bir altyapı bulunmamaktaydı. İletişim altyapısının olmamasından dolayı köy halkı, bilgiye erişim de ve sosyalleşme de zorluklar yaşamakta, acil durumlarda ise geç yardım alabilmekteydi. Bu sorunun üstesinden gelmek için Karayaprak köyünde güneş ve rüzgar enerjisi ile çalışan bir hibrit Radyo Link (RL) iletişim altyapısı kurulmuştur. Bu inovatif çözümün temelinde, geleneksel fiber veya bakır kablo altyapısının kurulmasının maliyetli ve enerji altyapısının da şebekeden uzak olması gibi engeller yatmaktadır. Bu altyapı eksikliğinin yol açtığı iletişim sorununu çözmek için, güneş ve rüzgar enerjisinin sunduğu sürdürülebilir enerji kaynağı ve RL teknolojisinin uzun mesafelerde haberleşme yeteneği bir araya getirilmiştir [2].

Hibrit güneş ve rüzgar enerjili RL sistemi, Karayaprak köyünde yaşayan insanların kesintisiz ve uygun fiyatlı bir şekilde iletişim kurmasını sağlamaktadır. Bu sistem, geleneksel altyapıya kıyasla daha düşük maliyetlidir ve şebekeden bağımsız çalışabildiği için daha sürdürülebilirdir.

Bu hibrit enerjili RL sistemi, Karayaprak köyünün sadece iletişim sorununu çözenin ötesinde, kırsal alanlarda iletişim altyapısının kurulması ve geliştirilmesi için ilham verici bir örnek teşkil etmektedir. Sistemin sağladığı internet erişimi, telefon görüşmeleri ve acil durum iletişimi gibi temel ihtiyaçları karşılama imkanı, köy sakinlerinin yaşam kalitesini önemli ölçüde artırmıştır. Eğitim ve sağlık gibi alanlarda bilgiye kolayca ulaşabilmeleri ise, bu alanlarda da gelişmelerine katkıda bulunmaktadır. Bu inovatif çözüm, benzer sorunlarla karşı karşıya kalan diğer köyler ve bölgeler için de uygulanabilir bir model oluşturmaktadır. Bu sayede, kırsal alanlarda yaşayan insanların da temel ihtiyaçlarını karşılamaları ve bilgiye erişimleri kolaylaştırılabilir, bu da bölgesel kalkınmaya ve refaha katkıda bulunabilir.

Sistemin sunduğu avantajlar sadece bunlarla sınırlı değildir. Hibrit enerjili RL sistemi, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak çalışmaktadır. Bu sayede, hem çevre dostu bir çözüm sunmakta hem de enerji maliyetlerini düşürmektedir. Ayrıca, sistemin modüler yapısı, farklı ihtiyaçlara göre kolayca ölçeklendirilebilmesini ve yeni teknolojilere entegre edilebilmesini sağlamaktadır.

Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi ve RL Haberleşme Sistemleri

Güneş Enerjisi

Güneş, Dünya'mıza 150 milyon km uzaklıkta muazzam bir yıldızdır. Yaklaşık 5.800°C sıcaklığındaki çekirdeğinde hidrojen atomları helyuma dönüşerek enerji üretir. Bu enerji, Dünya'ya ışık ve ısı olarak ulaşır ve yaşamın kaynağını oluşturur [3].

Güneş enerjisi, 1970'lerden beri gelişen teknolojilerle temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak öne çıkmıştır. Güneş panelleri, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürerek binalarda, arazilerde ve hatta yüzen platformlarda kullanılabilir. Fosil yakıtlara kıyasla daha az karbon salınımı ile iklim değişikliğine karşı mücadelede önemli rol oynar. Güneş enerjisi, silikon gibi bol bulunan malzemelerle üretilebilir ve farklı ihtiyaçlara göre uyarlanabilir [4].

Fotovoltaik Hücre Çeşitleri

Güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken sistemler olan fotovoltaik hücreler, modern enerji teknolojisinin temel taşlarından biridir. Güneş pilleri veya güneş hücreleri olarak da adlandırılan bu sistemler, çoğunlukla silisyumdan üretilir. Fakat saflaştırma işleminin maliyetli olması, güneş pillerinin yüksek fiyatının temel sebeplerinden biridir.

Farklı teknolojilere göre sınıflandırılan fotovoltaik hücreler, üç ana gruba ayrılır: Kristalin silikon (c-Si) hücreler yüksek verimlilik ve uzun ömürleriyle öne çıkarken, ince film hücreler daha az malzeme kullanımı ve düşük üretim maliyeti sunar. Organik fotovoltaik (OPV) hücreler ise esneklik ve düşük maliyet gibi avantajlar sunarlar, ancak ticari olarak yaygınlaşma aşamasındadır ve verimleri diğer teknolojilere göre düşüktür.

Son yıllarda yapılan çalışmalar ile üretim maliyetleri düşürülmekte ve verimlilikleri artırılmaktadır. Bu gelişmeler ışığında, güneş enerjisinin önümüzdeki yıllarda çok daha yaygınlaşması ve önemli bir enerji kaynağı haline gelmesi beklenmektedir [5].

Fotovoltaik Pilin Çalışma Prensibi

Güneş pili, güneş ışığından elektrik enerjisi üreten bir cihazdır. Bu işlem, fotovoltaik adı verilen bir süreç ile gerçekleşir. Güneş pilinin temel çalışma prensibi, yarı iletken bir malzemenin iki farklı tipte (N ve P tipi) kakalanmasıyla oluşturulan PN eklemine dayanır. Güneş ışığı bu eklemeye çarptığında, fotonlar adındaki enerji paketleri elektronları serbest bırakır. Bu serbest kalan elektronlar, N tipi bölgeden P tipi bölgeye doğru hareket ederek bir elektrik akımı oluşturur. Oluşan elektrik akımının gücü, güneş ışığının yoğunluğuna ve güneş pilinin verimliliğine bağlıdır. Güneş pillerinin verimliliği, genellikle %15-20 civarındadır. Tek bir güneş pili, nispeten düşük miktarda elektrik üretebilir. Bu nedenle, daha fazla güç elde etmek için, güneş hücreleri seri veya paralel olarak bağlanarak güneş panelleri oluşturulur. Bir güneş paneli, onlarca veya yüzlerce güneş hücresinden oluşabilir [6].

Güneş Enerji Santrallerinin Faydaları

- Sera gazı emisyonu ve hava kirliliği yaratmaz, bu sayede çevreye duyarlı bir enerji kaynağıdır.
- Güneş ışığı tükenmez bir kaynak olduğundan, uzun vadede sürdürülebilir bir çözüm sunar.
- Güneş panelleri nispeten kolay kurulabilir ve taşınabilir. Bu sayede farklı alanlarda ve koşullarda kullanıma uygundur.
- Modüler bir yapıya sahip olan güneş enerjisi sistemleri, ihtiyaç duyulan enerji miktarına göre kolayca uyarlanabilir.
- Kurulumdan sonra güneş ışığı dışında herhangi bir yakıtı ihtiyaç duymaz. Bu sayede, yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalardan etkilenmez ve işletme maliyetleri düşer.
- Güneş panelleri, hareketli parça içermediklerinden mekanik aşınmaya maruz kalmazlar. Bu sayede uzun yıllar sorunsuz bir şekilde çalışabilirler.
- Elektrik şebekesine bağlı olmadan çalışabilir. Bu sayede şebeke erişimi olmayan bölgelerde de kullanılabilir.
- Enerjinin üretildiği yerde tüketilmesi iletim ve taşıma sırasında oluşabilecek enerji kayıplarını önler.
- Uzun vadede önemli bir tasarruf sağlar.
- Ülkelerin enerji ithalatına olan bağımlılığını azaltarak enerji güvenliğini artırır.
- Farklı alanlarda kullanılabilir, sessiz ve titreşimsiz çalışır, düşük bakım gerektirir, estetik açıdan da hoş bir görünüme sahiptir [7].

Rüzgar Enerjisi

Güneşin havayı ısıtması, atmosferde termal farklılıkların oluşmasına ve bu farklılıkların neden olduğu hava hareketlerine sebep olmaktadır. Bu atmosferik hareketler, rüzgarların oluşmasını sağlar. Rüzgarın temel oluşumunu etkileyen ve dünya atmosferindeki hava kütlelerinin hareketini sağlayan belli başlı kuvvetler; basınç gradyan kuvveti, coriolis kuvveti, merkezkaç kuvveti ve sürtünme kuvveti olarak tanımlanmaktadır [8].

Rüzgâr Türbini

Rüzgâr türbini, rüzgarın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistem olarak tanımlanmaktadır. Rüzgâr türbinleri ile rüzgarın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilmekte ve dönüş hızı dişli kutusu kullanan sistemlerde bu komponent vasıtasıyla artırılarak türbinin gövde bölümünde yer alan jeneratörlere aktararak elektrik enerjisi üretilmektedir [9].

Rüzgâr Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgâr türbinleri dönme eksenlerine, devirlerine, güçlerine, kanat sayılarına, rüzgâr etkisine, dişli özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılabilirler [10].

En yaygın tür, yatay eksene bağlı kanatlara sahip yatay eksenli türbinlerdir. Bu türbinler, yüksek güç üretimi ile öne çıkar. Daha az yer kaplayan ve düşük rüzgarlarda da çalışabilen dikey eksenli türbinler ise daha az güç üretir.

Hem yatay hem de dikey eksenli türbinlerin avantajlarını sunan eğik eksenli türbinler de mevcuttur [11].

Kanat sayısına göre tek, çift, üç ve çok kanatlı türbinler sınıflandırılırken, rüzgarı alışı yönüne göre rüzgarı önden veya arkadan alan türbinler ayrılır [12].

Güç kapasitesine göre ise ev ve işletmeler için uygun küçük güçlü, küçük rüzgar santralleri için orta güçlü, büyük rüzgar santrallerinin temelini oluşturan büyük güçlü ve büyük ölçekli rüzgar enerjisi projelerinde kullanılan çok büyük güçlü türbinler tanımlanır [12].

Dişli kutusu kullanımı da türbinleri ikiye ayırır: Dişli kutulu türbinlerde pervanelerin dönüşü dişli kutusu aracılığıyla jeneratöre aktarılırken, dişli kutusu kullanmadan çalışan türbinlerde bu aktarım direkt gerçekleşir [10].

Son olarak, kurulum yerine göre karadaki açık alanlara kurulumu yapılan kara üstü ve denizin sığ sularına kurulumu yapılan deniz üstü türbinler sınıflandırılır [12].

Rüzgar Enerjisi Santralleri Enerji Üretimi

Rüzgar türbinleri, dev pervaneleri ile rüzgarın kinetik enerjisini yakalar ve bunu bir jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürür. Türbin kanatları, rüzgarın hızını ve yönünü en iyi şekilde kullanacak şekilde tasarlanmıştır. Jeneratör, rotorun dönüş hareketini elektrik akımına çevirir. Üretilen elektrik, yüksek gerilim hatları ile şebekeye taşınır ve evlere ve işyerlerine dağıtılır. Rüzgar enerjisi, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olması ile öne çıkarak, sera gazı emisyonu ve hava kirliliğini engellemeye yardımcı olur.

Rüzgar Enerjisi Santralleri Avantajları

- Rüzgar santrallerinin üretim hayatı boyunca yakıt maliyeti yoktur ve işletme maliyetleri oldukça düşüktür. Bu da onları uzun vadede ekonomik bir enerji kaynağı haline getirir.
- Rüzgar enerjisi, yerli bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını azaltmaya yardımcı olur.
- Rüzgar türbinleri modülerdir ve herhangi bir büyüklükte imal edilebilirler. Bu sayede tek başına veya gruplar halinde kullanılabilirler.
- Rüzgar enerjisi, kirlilik yaratmayan ve çevreye yok denecek kadar az zarar veren bir kaynaktır. Bu da onu sürdürülebilir bir enerji kaynağı haline getirir.
- Rüzgar tarlalarının geniş alan istemesi bir sorun olarak görülebilir. Fakat, rüzgar santralinde türbinlerin kapladığı gerçek alan santral toplam alanının %1-1,2'si kadardır. Türbinlerin aralarında tarım ve hayvancılık yapılabildiğinden arazi kaybı olmamaktadır ve çiftçilik faaliyetlerine engel olmamaktadır.
- Rüzgar enerjisinde üretimde kullanılan doğaya hiçbir zararı olmayan rüzgar türbinleri hem fazla alan kaplamamakta hem de kuruldukları alanda yaşayan insanlar için iş alanı oluşturmaktadır.
- Rüzgar çiftlikleri kolayca sökülebilmekte ve buldukları arazi kolayca eski haline getirilebilmektedir. Bu da rüzgar enerjisini sürdürülebilir bir enerji kaynağı haline getirir [13].

Radyo Link Haberleşme Sistemleri

Birbirinden bağımsız iki nokta arasında elektromanyetik dalgalar aracılığıyla iletişimi sağlayan mekanizmalara radyo bağlantıları denir. Radyolink ile iletişim yalnızca iki nokta arasında kurulabilmektedir. Radyolink cihazları radyo veya TV vericisi olarak çalışmaz ve geniş kapsama alanı sağlamaz. Bu iletim yalnızca dar bir koridorda gerçekleşir ve o koridorun dışında gözlemlenemez. Radyo bağlantısı ekipmanının uygulamaları genellikle telefon santralleri veya televizyon stüdyoları ve vericileri arasındadır [14-15].

Radyolink tarafından oluşturulan iletişim kanalları genellikle uzak mesafe aramaları için kullanılır. Burada, bir santral görevi gören nokta, "çoğullama" adı verilen bir işlemle radyo bağlantısı iletişimini sağlamak için kanalları temel taşıyıcılar halinde birleştirir. Çoğullama işleminde 10 - 60 - 180 - 960 - 1800 veya daha fazla kanal bir alıcı veya verici görevi görecektir şekilde birleştirilebilir.

Radyolink sistemlerinde kullanılan frekansların kalitesi, ilettikleri veri miktarına göre değişmektedir. Radyo link sistemlerinde kullanılan veri iletim frekansı genellikle 10 GHz veya daha yüksektir. Bu frekansları almak için parabolik antenler kullanılır. Ancak bazı radyo bağlantı istasyonları UHF bandını tercih etmekte ve iletimi yakalamak için YAGI antenlerini kullanmaktadır.

Birbirine yakın iki nokta arasında radyo bağlantısı iletildiğinde genellikle bir alıcı istasyon ve bir verici istasyon yeterlidir. Ancak uzak mesafelere gelindiğinde radyo link istasyonları arasına başka ara istasyonlar (tekrarlayıcılar) eklenir. Bu tür sistemlere zincirleme radyo link istasyonları adı verilmektedir ve her istasyon bir önceki istasyondan aldığı verileri iletişim frekansını değiştirerek bir sonraki istasyona iletmektedir. Bu frekans kaymaları çok düşük ara frekanslarda da meydana gelebilir [16].

Radyolink sisteminin kurulumu için öncelikle iki istasyon arasında optik görüş hattının kurulması gerekmektedir.

Optik Görüş Sağlanması

Görüş hattı, alıcı ve verici, iletimi antenlerin birbirini doğrudan görebildiği ve elektromanyetik dalgaların engellerden etkilenmeden iletildiği bir iletişim yöntemidir. 30 MHz'den yüksek frekanslarda, yer ve gök dalgası yayılımının mümkün olmaması ve iyonosferden yansımanın istenmeyen sapmalara ve gecikmelere yol açması nedeniyle, uydu iletişiminlerinde yer istasyonu ve uydu arasında görüş hattı iletimi tercih edilir [17].

Fresnel Bölgesi

Fresnel Bölgesi, iki anten arasındaki bölgede radyo dalgalarının yayılımını etkileyen ve engellerden arınmış olması gereken hayati bir alandır. Bu bölge, temiz ve engelsiz bir görüş hattı sağlayarak radyo sinyallerinin verimli bir şekilde iletilmesini sağlar. Fresnel Bölgesi'nin boyutu, kullanılan frekansa ve antenler arasındaki mesafeye bağlı olarak değişir [18].

Radyolink Sistemlerinin Avantajları

- Kablo döşemenin zor veya imkansız olduğu alanlarda veri iletişimi kurmak için idealdir.
- Mobil cihazlar ve araçlar ile iletişim kurmak için kullanılabilir.
- Kurulum ve bakım maliyeti kablolu sistemlere göre daha düşüktür.
- Kablo döşeme ihtiyacını ortadan kaldırdığı için kurulumu daha kolay ve hızlıdır.

- Kablolu sistemlere göre daha az bakım gerektirir.
- Kablo kopması veya hasarı gibi kablolu sistemlerde sıklıkla görülen sorunlardan etkilenmez.
- Kablolu sistemlere göre daha geniş bir kapsama alanına sahiptir.
- Kablolu sistemlere kıyasla daha yüksek veri aktarım hızları sağlayabilir.
- Veri şifreleme ve kimlik doğrulama gibi gelişmiş güvenlik özelliklerine sahiptir.
- İhtiyaç duyulduğu kolayca genişletilebilir.
- Kablo döşeme ihtiyacını ortadan kaldırdığı için çevreye daha az zarar verir.
- Gürültüye ve parazitlere karşı dayanıklılık, lisans gerektirmeme ve farklı frekans bantlarında çalışma gibi ek avantajlar da sunar.

Tepe Radyo İstasyonu İçin Güneş Ve Rüzgar Enerji Sistemlerinin Hibrit Kullanımı

Sivas Karayaprak Köyü Hakkında

Sivas'ın Hafik ilçesine bağlı Karayaprak köyü, Kızılırmak havzasında, 1654 metre rakıma sahip bir köydür. Sivas il merkezine 63 km, Hafik ilçe merkezine ise 35 km uzaklıktadır. 2020 yılı nüfus sayımına göre 152 kişilik bir nüfusa sahip olan köy, geleneksel tarım ve hayvancılık ekonomisi ile geçimini sürdürmektedir. Karayaprak köyü güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından da oldukça zengindir.

Köyün yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.700 saat civarındadır ve güneş ışınları yoğunluğu yıllık ortalama olarak 1.500 kWh/m² civarındadır. Bu da güneş enerjisi santrallerinin yüksek verimlilikle çalışmasını sağlar. Ortalama rüzgar ise 6-8 m/s civarındadır. Bu hız, rüzgar enerjisi santrallerinin verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

Bu değerler köyün güneş ve rüzgar enerjisi yatırımları için oldukça uygun olduğunu gösteriyor. Köyde güneş ve rüzgar enerjisi yatırımları için uygun alanlar mevcuttur [19-24].

Kırsal alanlarda, enerji altyapısı eksikliği veya yetersizliği, iletişim altyapısının kurulmasını ve işlevini önemli ölçüde zorlaştırmaktadır. Bu durum, birçok köy ve küçük yerleşim yerinde olduğu gibi, Sivas'ın Hafik ilçesine bağlı Karayaprak köyünde de yaşanmaktadır. Karayaprak köyünde enerji altyapısı mevcut olmasına rağmen, internet, sabit telefon ve GSM gibi iletişim hizmetlerine erişim imkanı bulunmamaktadır. Bunun temel sebebi, fiber veya bakır kablo döşemenin yüksek maliyetidir. Bu maliyet, uzun mesafeler ve engebeli araziler gibi faktörler göz önüne alındığında daha da artmaktadır. Türk Telekom A.Ş. bu tür sorunlar için Radyo Link (RL) Santrallerini alternatif bir altyapı çözümü olarak kullanmaktadır. RL santralleri, uzun kablo metrajlarına ihtiyaç duymadan radyo frekansları aracılığıyla haberleşme imkanı sunar. Bu sistemin iki istasyonda da enerjiye ihtiyaç duyması ve DC akımla çalışması, enerji altyapısı eksikliği olan bölgelerde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Karayaprak köyünde, şebeke enerjisine erişimin zorluğu, RL istasyonunun kurulum ve işletme maliyetlerini artırmaktadır. Bu sorunun çözümü için, yüksek maliyetli çözümler yerine, RL istasyonunun Güneş Enerji Santrali (GES) ve Rüzgâr Enerji Santrali (RES) kullanılarak hibrit bir şekilde çalıştırılması hedeflenmiştir. Bu sayede, şebekeden bağımsız ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı oluşturulmuştur. Ayrıca, akü depolama sistemi sayesinde enerji kesintilerine karşı da önlem alınmıştır.

Karayaprak köyü sakinleri, bu çözüm sayesinde internet ve sabit telefon gibi iletişim hizmetlerine erişebilmektedir. Bu durum, köy sakinlerinin yaşam kalitesini ve kalkınma imkanlarını önemli ölçüde artırmaktadır. Kırsal alanlarda iletişim altyapısı kurma ve işletme sorununa hibrit enerji çözümü, önemli bir katkı sağlayabilir. Bu çözüm, diğer köylere de örnek teşkil ederek, dijital uçurumu kapatmaya ve kırsal kalkınmaya katkıda bulunabilir.

Karayaprak Köyü Tepe RL İstasyonunda Kullanılan Malzemeler

Güneş Paneli

Güneş paneli, güneş ışığının fotonlarını elektrik enerjisine dönüştüren, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik hücreler adı verilen özel malzemeden oluşan bu paneller, güneş ışığındaki enerjiyi doğrudan elektriğe çevirerek evlerde, işletmelerde ve elektrik şebekesine bağlı olmayan sistemlerde kullanılabilir.

Çalışmamızda, 28 güneş paneli kullanılarak haberleşme sistemlerine güç verecek bir sistem tasarladık. Paneller, 7'şer paralel bağlantı halinde 4 seri grup olacak şekilde kuruldu. Bu sayede her panelden ortalama 20 Volt gerilim ve 7.5 Amper akım elde ederek toplamda 80 Volt gerilim ve 52.5 Amper akım üretmeyi başardık. Elde edilen elektrik enerjisi, bir regülatör yardımıyla istenilen gerilim aralığına düşürülerek baraya aktarılıyor. Baraya bağlı

radio cihazları maksimum 2.5 Amper akım çekerken, tam deşarj olan 300 Amper saat kapasiteli jel aküler ise 1:10 şarj mantığı ile yaklaşık 30 Amper akım çekmektedir. Bu bilgiler ışığında, toplam sürekli akım ihtiyacımız 32.5 Amper olarak hesaplandı. Sistemimiz, bu ihtiyacı karşılamak için fazlasıyla yeterli kapasiteye sahiptir.

Rüzgar Türbini

Rüzgar türbini, rüzgârdaki kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bir cihazdır. Rüzgar türbinleri, kanat adı verilen pervanelerden ve bu pervaneleri döndüren bir milten oluşur. Rüzgar, kanatlara çarparak onları döndürür ve mil de bir jeneratöre bağlıdır. Jeneratör, dönen milin mekanik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür.

Projemiz kapsamında, 1200 Watt gücünde bir rüzgar türbini kullanılarak 48-110 Volt aralığında DC enerji üretilmiştir. Rüzgar hızıyla orantılı olarak 12 kW'a kadar maksimum çıkış gücü sağlayabilen türbin, 250 Ampere kadar akım üretebilmektedir. Santralin enerji ihtiyacını karşılayan ve geleceğe yönelik yatırım olarak değerlendirilen bu sistem, yüksek verimliliği ile öne çıkmaktadır.

Regülatör

Regülatör, bir sistemdeki voltaj, akım, basınç veya sıcaklık gibi değerleri istenen seviyede tutmak için çalışan bir cihazdır. Geri bildirim döngüsüyle, sistemin çıkışını ölçer ve istenen değerle karşılaştırır. Fark varsa, regülatör girdiyi ayarlayarak değeri istenen seviyeye getirir.



Şekil 1. Karayaprak tepe kullanılan güneş panelleri
Figure 1. Solar panels used in Karayaprak hill



Şekil 2. Karayaprak tepe kullanılan rüzgar türbini
Figure 2. Wind turbine used in Karayaprak hill



Şekil 3. Karayaprak tepe kullanılan regülatör
Figure 3. Regulator used in Karayaprak hill



Şekil 4. Karayaprak tepe kullanılan jel aküler
Figure 4. Gel batteries used in Karayaprak hill

Çalışmamızda, güneş panelleri ve rüzgar türbinlerinden gelen enerjiyi hibrit bir Regülatör ile istenilen DC çıkış değerine dönüştürerek haberleşme sistemlerine güç veriliyor. 42-60 Volt aralığında çalışan telekomünikasyon cihazları için regülatör çıkış gerilimi 53,5 Volt olarak ayarlanarak olası gerilim düşmelerine ve yükselmelerine karşı önlem alınmıştır.

Jel Akü

Elektrolitin jel kıvamına getirildiği ve kuru tip akülerde kullanılan cam elyaf matrislere emdirildiği bir tür şarj edilebilir bataryalardır. Bu sayede jel aküler sızdırma riski düşüktür, taşınabilirlik kolaylaşır ve kuru tip akülere göre daha iyi derin deşarj dayanımına sahiptir. Jel aküler ayrıca daha az gaz emisyonu üretir.

Çalışmamızda, 48 adet 300 Ah kapasiteli jel akü kullanarak haberleşme sistemlerine yedekleme güç verme sistemi tasarladık. 24 akü seri bağlantı ile 52.8 V ortalama çıkış gerilimi, 2 paralel grup halinde ise 600 Ah ortalama çıkış akımı elde ettik. Her 24'lü akü grubunun beslediği sistemlerin ortalama 2.5 A akım çektiği göz önünde bulundurularak 240 saat kesintisiz çalışması planlanıyor. Verimlilik 0.8 olarak göz önüne alındığında, yaklaşık 190 saatlik bir kesintisiz çalışma süresi mümkün olacak.

Kablo

Kablo, elektrik akımı veya diğer sinyalleri iletmek için kullanılan, genellikle metalden yapılmış iletkenlerden oluşan bir yapıdır. Bu iletkenler, yalıtkan bir malzemeyle kaplanır ve dış kılıf ile korunur. Kablolar, elektrik

şebekeleri, elektronik cihazlar, telekomünikasyon ve daha birçok alanda kullanılır.

Güneş panelleri ve rüzgar türbinleri ile üretilen enerji, akülerin bara bağlantısı ve radyo sistemlerinin enerjilendirilmesi için 25 mm² kesitli NYAF kablo kullanılmaktadır. Bakır iletkenleri sayesinde yüksek iletkenliğe sahip olan NYAF kablolar, enerji kayıplarını minimize eder ve uzun ömürlü kullanım sağlar. Termoplastik yalıtkan ise kabloları nem, kimyasal maddeler ve aşınmaya karşı korur.

Anten

Dış ünite, radyolink cihazının temelini oluşturarak kablosuz iletişimi mümkün kılar. Sinyalleri diğer cihazlara gönderip alarak iletişimin omurgasını oluşturur. Dış ünite, iç üniteden gelen işlenmiş veriyi RF sinyallerine dönüştürerek uzaya yayar ve bu sinyalleri alarak iç üniteye iletir. Bu sayede veri alışverişi sağlanır. Yönlendirme özelliği sayesinde anten, sinyalleri belirli bir yöne odaklayarak menzil, güç ve parazit direncini artırır.

İç Ünite

Radyolink cihazlarının iç ünitesi, karmaşık elektronik devreler ve yazılımlar aracılığıyla kablosuz bağlantının beyni gibi işlev görür. Dış üniteden gelen RF sinyallerini alır, işler ve diğer cihazlara aktarır. Bu süreç, istenmeyen sinyalleri ve paraziti filtreleyerek, sinyal gücünü yükselterek ve veriyi RF sinyallerinden ayırarak gerçekleşir. İşlenmiş sinyaller, Ethernet kablosu veya kablosuz bağlantı üzerinden bilgisayarlar, yönlendiriciler veya modemler gibi diğer cihazlara aktarılır.



Şekil 5. Karayaprak tepe kullanılan antenler
Figure 5. Antennas used in Karayaprak hill



Şekil 6. Karayaprak tepe kullanılan radyo iç ünite
Figure 6. Radio indoor unit used in Karayaprak hill

Sonuçlar ve Tartışmalar

Hibrit Sistemin ve Şebekeli Sistemin Enerji Analizi Şebekeden Bağımsız Rüzgar ve Güneş Enerjisinin Hibrit Kullanımıyla Çalıştırılan Santral

Bu çalışmada, şebekeden bağımsız bir hibrit enerji santrali kurularak rüzgar ve güneş enerjisinin birlikte kullanımı araştırılmıştır. Güneş enerjisi santrali (GES) ve rüzgar enerjisi santrali (RES) olmak üzere iki farklı enerji kaynağını içeren santralin performansı ve her bir enerji kaynağının tüketim profili, uzaktan izleme sistemi ile detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

GES ve RES'ten gelen elektrik akımı, 53,5 V'a sabitlenerek regülatörden geçirilmiştir. Bu sayede, her iki enerji kaynağının da regülatöre 53,5 V'dan yüksek bir gerilim göndermesi durumunda çıkış geriliminin 53,5 V olarak korunması sağlanmıştır. Radyo link cihazlarının çalışma aralığı 42-60 volt olması nedeniyle, RES veya GES'in direkt çıkış gerilimlerinin okunamaması sorunu ile karşılaşmıştır. Bu durum, olası fazla gerilim gelmesinde cihazların zarar görmesine yol açabileceğinden, regülatör kullanımı gerekli hale gelmiştir. Uzaktan izleme sistemi üç

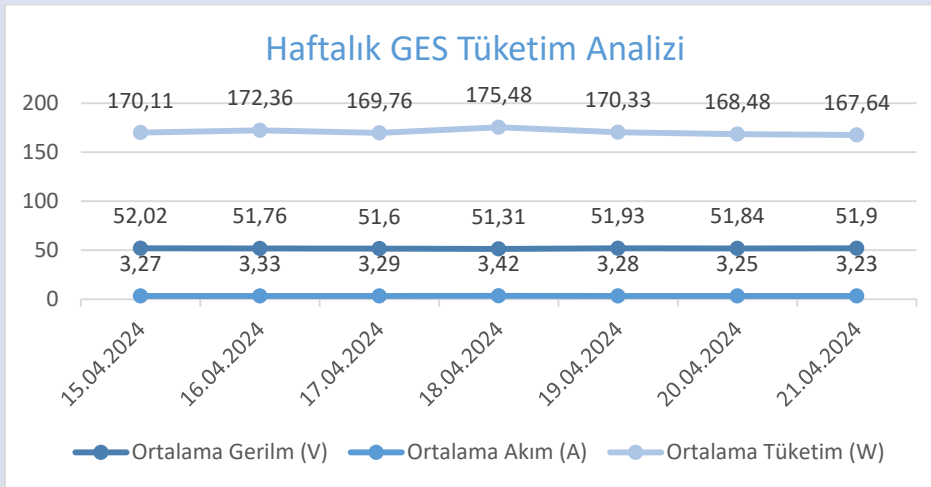
aşamada gerçekleştirilmiştir: 2 hafta boyunca hibrit sistem, 1 hafta boyunca sadece GES ve 1 hafta boyunca sadece RES devreye alınarak her bir enerji kaynağının ayrı ayrı tüketim profili incelenmiştir.

Elde edilen bulgular, hibrit enerji santrallerinin şebekeden bağımsız enerji sistemleri için önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir. Uzaktan izleme sistemi kullanılarak hibrit enerji santrallerinin performansı ve tüketim profili detaylı bir şekilde analiz edilebilir ve bu sayede sistem daha verimli ve optimize bir şekilde işletilebilir.

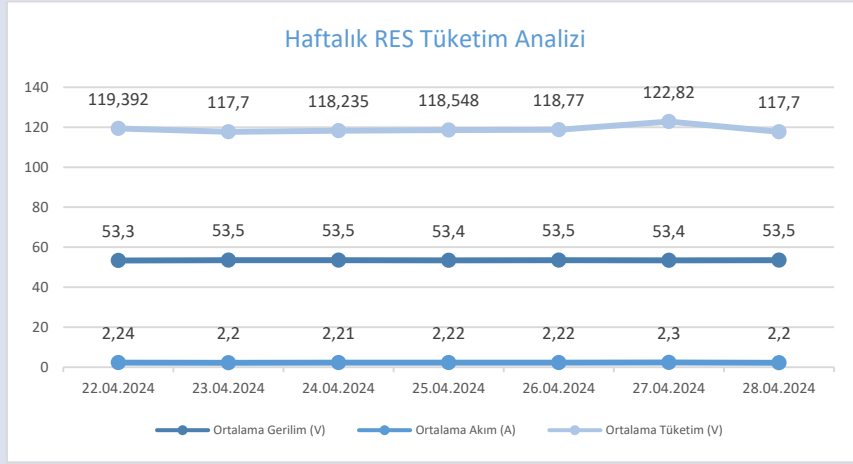
Şekil 7, hibrit sisteme uzaktan erişim sağlayarak anlık tüketim değerlerini göstermektedir. Sistem 2,2 A akım çekerek yük altındayken ne kadar güç tükettiğini gösterir. Aküler tam şarjlıdır ve tüm enerji ihtiyacı regülatör tarafından karşılanmaktadır. Regülatör çıkışı DC olması doğrultucuya olan ihtiyacı ortadan kaldırır ve sistemi basitleştirir. Akü sıcaklığı 23°C olup ideal seviyededir. Görsel, hibrit sistemin şu anda sorunsuz bir şekilde çalıştığını ve tüm enerji ihtiyacını regülatörden karşıladığını göstermektedir.



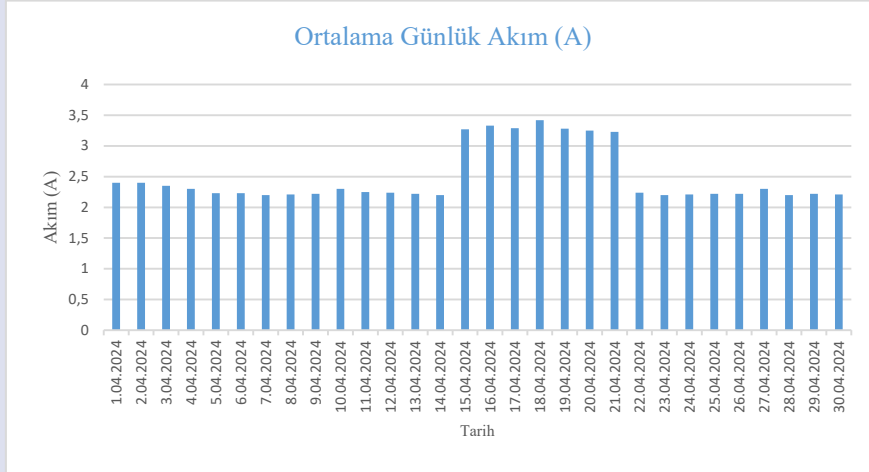
Şekil 7. Hibrit santralin anlık enerji tüketim
Figure 7. Instant energy consumption of hybrid power plant



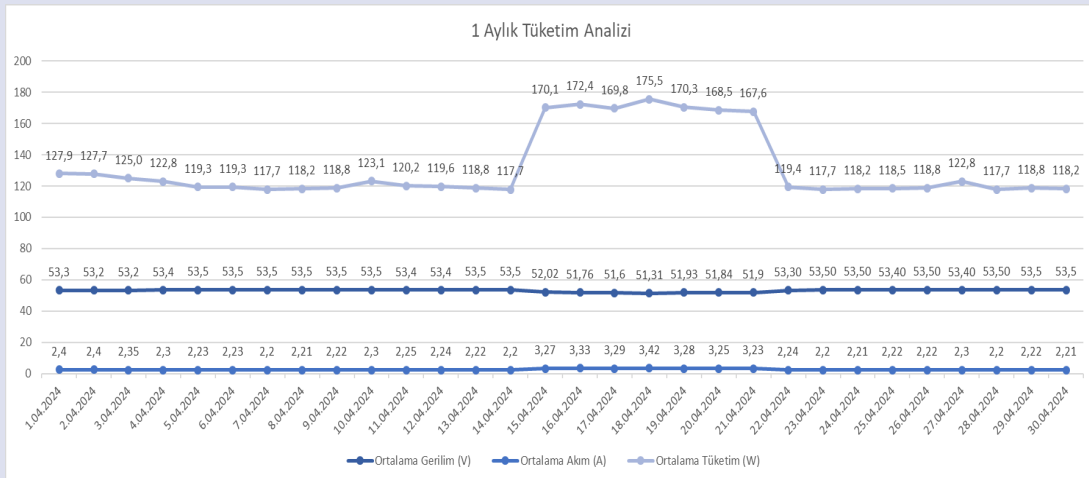
Şekil 8. RL santralini 7 gün boyunca sadece GES ile beslediğimizde elde edilen ortalama tüketimler
Figure 8. Average consumptions obtained when we fed the RL power plant only with solar energy for 7 days



Şekil 9. RL santralini 7 gün boyunca sadece RES ile beslediğimizde elde edilen ortalama tüketimler
Figure 9. Average consumptions obtained when we fed the RL power plant only with wind energy for 7 days



Şekil 10. RL santralin aylık ortalama akım değerleri
Figure 10. Monthly average current values of RL power plant



Şekil 11. RL santralin aylık ortalama tüketim değerleri
Figure 11. Monthly average consumption values of RL power plant

Santral sadece GES ile çalıştırıldığında (Şekil 8), geceleri güneş ışığı olmadığından aküden beslenme nedeniyle gerilim düşmekte ve sabah şarj sırasında akım artmaktadır. Akü geriliminin regülatör çıkış geriliminin altında olması sorunu, düşük ortalama gerilim değerlerine yol açmaktadır.

Santralin sadece RES ile çalıştırılması durumunda ortalama tüketim değerleri Şekil 9'da gösterilmektedir. Görüldüğü üzere santral, sürekli rüzgar alan bir bölgede yer aldığından dolayı kesintisiz şebeke elektriği ile çalıştırılmış gibi bir tüketim profili sergilemektedir. Bu durum, santralin kesintisiz ve verimli bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

Aylık bazda ortalama tüketim değerleri Şekil 11'de sunulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere, santralin tüketim profili GES ve RES'in hibrit olarak kullanıldığı ve ayrı ayrı çalıştırıldığı durumlara göre farklılık göstermektedir.

- Hibrit Kullanım (01.04.2024-14.04.2024): Bu dönemde GES ve RES birlikte çalıştırıldığından, ortalama tüketim değeri 121,1 kWh/gün olarak belirlenmiştir. Bu durum, hibrit sistemin her iki enerji kaynağının da potansiyelini etkin bir şekilde kullanarak tüketimde denge sağladığını göstermektedir.
- Sadece GES Kullanımı (15.04.2024-21.04.2024): Bu dönemde GES'in tek başına çalıştırılması, ortalama tüketim değerini 170,6 kWh/gün'e yükseltmiştir. Bu artış, güneş enerjisi üretiminin mevsimsel dalgalanmalara ve gün ışığı saatlerine bağlı olduğunu göstermektedir.
- Sadece RES Kullanımı (22.04.2023-28.04.2024): Bu dönemde RES'in tek başına çalıştırılması sonucunda ortalama tüketim değeri 119 kWh/gün olarak belirlenmiştir. Bu durum, rüzgar enerjisinin de mevsimsel dalgalanmalara ve rüzgar hızına bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini göstermektedir.

Sadece Şebeke Elektrik Enerjisi İle Çalıştırılan Santral

Santral sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Bu santralde kullanılan cihazların akım değerleri, projemizde tasarladığımız hibrit rüzgar ve güneş enerjisi santralindeki cihazların akım değerlerine yakın seviyededir. Şebeke elektrik enerjisi ile çalışan santralin hibrit santralden en önemli farkı, "DC Çatı" olarak adlandırılan cihazların varlığıdır.

DC çatı, şebekeden alınan AC gerilimini DC'ye dönüştürerek santraldeki cihazlara DC enerjiyi sağlayan redröserlere denir. DC çatı cihazının bir diğer önemli avantajı ise paralel olarak akü ve

güneş panellerinin de bağlanabilmesidir. Bu sayede santral, şebeke elektriğinin olmadığı durumlar da güneş enerjisi ve depolanmış enerjiden de faydalanabilir. Bu da santralin esnekliğini ve sürdürülebilirliğini artırır.

Şekil 12'de sistemin anlık tüketim değerleri gösterilmektedir. Analizden elde edilen bilgilere göre, DC çatı üzerinde bulunan 3 doğrultucu %16,4 kapasiteyle çalışmakta, sistemlerin anlık tüketimi 2,1 A olup, salon sıcaklığı ise 12°C'dir.

Sistemin 1 aylık ortalama akım değerleri Şekil 13'de gösterilmektedir. Akım değerlerindeki artışın olası iki sebebi şunlardır:

- Elektrik kesintileri: Kesintiler sırasında akülerin sistemi beslemesi ve şebeke elektriği geldikten sonra şarj olması için daha fazla akım çekmesi.
- Sıcaklık artışı: Artan sıcaklıklar redresör üzerindeki fanların daha fazla çalışmasına neden olarak akım değerlerinde artışa yol açabilir.

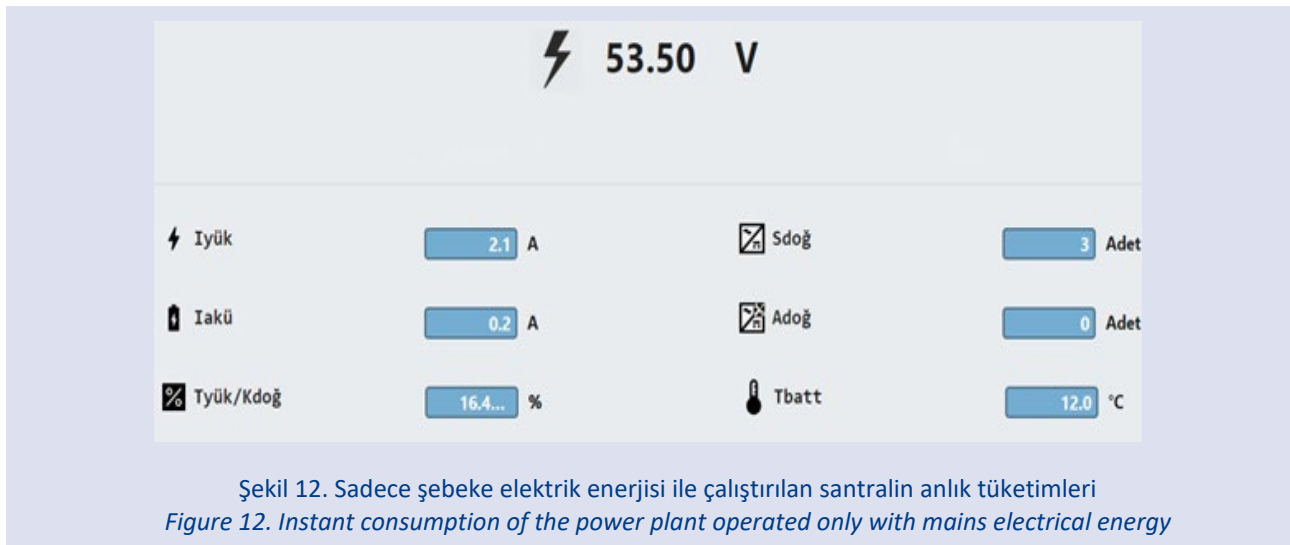
2023 yılına ait santral enerji tüketim verileri Şekil 14'de sunulmaktadır. Santralin toplam yıllık enerji tüketimi yaklaşık 2000 kW olarak belirlenmiş olup, yaz aylarında artan tüketimin sebebi redröserleri soğutmak için çalışan fanların elektrik tüketimidir.

Kurulum Maliyet Analizi

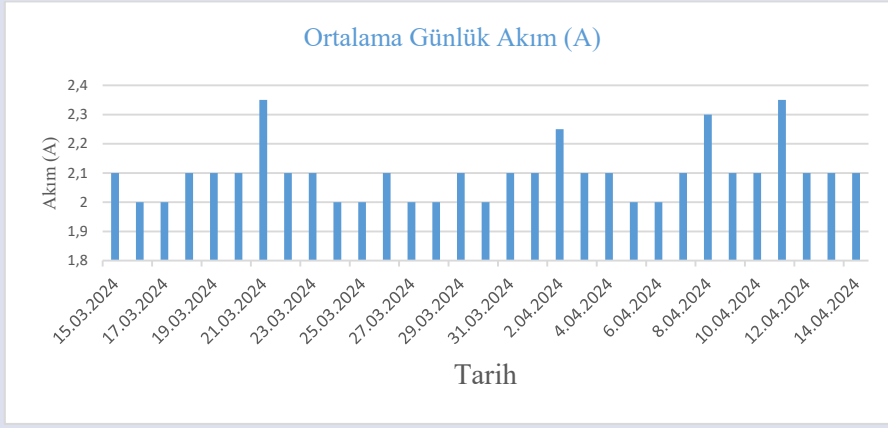
Şebekeli Sistem Maliyet Analizi

Karayaprak köyüne kurulacak radyolink santrali, diğer radyolink santrali ile haberleşmeyi sağlayabilmesi için köyün dışına doğru tepelik ve yüksek bir lokasyona konumlandırılmıştır. Bu konumlandırma, santralin daha geniş bir kapsama alanına sahip olmasını ve daha stabil bir bağlantı sağlamasını sağlayacaktır. Radyolink santrali, köy içinde bulunan elektrik şebekesinden yaklaşık 850 metre uzaklıktadır.

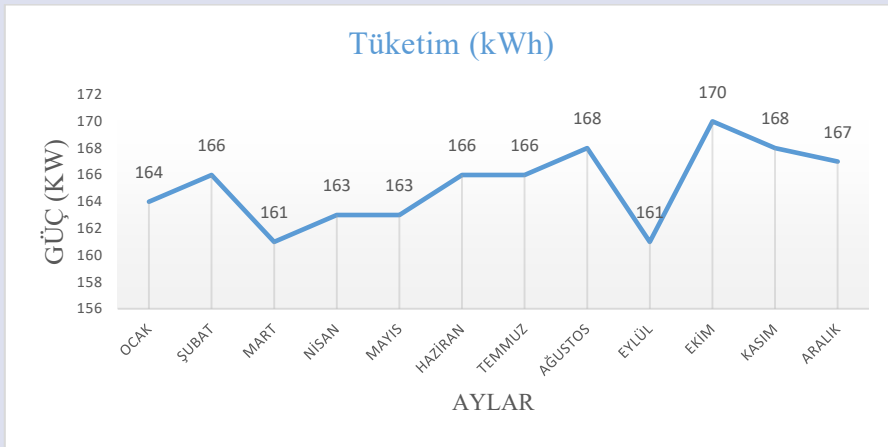
Projenin maliyet hesabı ise TEDAŞ'ın 2024 yılı 3. Bölge için yayınladığı işçilik ve malzeme maliyetleri baz alınarak hesaplanmıştır [25]. Sivas ili bu bölge sınırları içerisinde yer almaktadır. Hesaplama yapılırken, santralin kurulumunda kullanılacak tüm malzemelerin güncel fiyatları ve işçilik ücretleri göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, projenin tamamlanması için gerekli olan makine ve ekipmanların kiralama bedelleri de hesaba katılmıştır. Şebekeli sistem için toplam maliyetimiz çizelge 1'de detaylı şekilde hesaplanmış olup toplam maliyet 1.311.320 TL'dir.



Şekil 12. Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin anlık tüketimleri
Figure 12. Instant consumption of the power plant operated only with mains electrical energy



Şekil 13. Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin 1 aylık ortalama akım değerleri
Figure 13. 1-month average current values of the power plant operated only with mains electrical energy



Şekil 14. Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin 2023 yılı enerji tüketimi
Figure 14. 2023 energy consumption of the power plant operated only with mains electrical energy

Çizelge 1. Alçak gerilim şebeke kurulum maliyeti
Table 1. Low voltage network installation cost

| Malzeme | Miktar | Birim | Malzeme Fiyatı (TL) | 3. Bölge Montaj Fiyatı (TL) | Toplam Maliyeti (TL) |
|--|--------|-------|---------------------|-----------------------------|----------------------|
| 3x50/16+70_AER | 837 | Metre | 126,11 | 67,8 | 162.303 |
| Askı Telli Demet Biçimli Alüminyum İletken | | | | | |
| G-10I | 9 | Adet | 11.426,03 | 34.338,70 | 411.883 |
| Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk | | | | | |
| G-10U | 4 | Adet | 13.284,81 | 39.924,90 | 212.839 |
| Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk | | | | | |
| G-K1 | 3 | Adet | 17.822,42 | 53.561,80 | 214.153 |
| Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk | | | | | |
| G-K2 | 2 | Adet | 27.553,68 | 82.807,20 | 220.722 |
| Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk | | | | | |
| 50'lik NYK Kablo ve Gömülmesi | 30 | Metre | 237,96 | 111,3 | 10.478 |
| İşletme Topraklama Kablosu | | | | | |
| 2 mt Uzunluğunda Galvanizli 65 x 65 x 7 'lik Köşebent ve 5 Mt. Galvanizli Örgütlü Çelik Tel ve Gömülmesi | 18 | Adet | 993,83 | 1.825,10 | 50.741 |
| Koruma Topraklaması | | | | | |
| 2 mt Uzunluğunda Galvanizli 65 x 65 x 7 ' lik Toprak Elektrot ve Gömülmesi | 1 | Adet | 688,33 | 772,71 | 1.461 |
| Topraklama Kazığı | | | | | |
| 70 W Sodyum Buharlı (Ampul Dahil) | 1 | Adet | 963,39 | 1.427,90 | 2.391 |
| Armatür ve Ampul | | | | | |
| 6,5U-60 | 13 | Adet | 218,68 | 657,04 | 11.384 |
| Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Travers ve Konsollar | | | | | |
| 6,5U-80 | 5 | Adet | 328,02 | 985,56 | 6.568 |
| Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Travers ve Konsollar | | | | | |
| Tehlike Levhası (Alüminyum) | 18 | Adet | 24,89 | 62,5 | 1.573 |
| Ölüm Tehlike Levhası | | | | | |
| TK-MI 85 | 18 | Adet | 92,98 | | 1.674 |
| Makara İzalatör | | | | | |
| TK-ÖD 85 | 18 | Adet | 36,04 | | 649 |
| Özengi Demiri | | | | | |
| TK-HS 300 | 18 | Adet | 139,06 | | 2.503 |
| Halkalı Saplama | | | | | |
| TOPLAM MALİYET | | | | | 1.311.320 |

Hibrit Sistem Maliyet Analizi

Projenin maliyet hesaplaması ise 2024 yılı güncel eskalasyonlar baz alınarak ve titiz bir araştırma sonucunda farklı firmalardan teklifler alınarak yapılmıştır. Maliyet hesaplarken, kullanılan tüm malzemelerin güncel fiyatları ve işçilik ücretleri göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, projenin tamamlanması için gerekli olan makine ve ekipmanların kiralama bedelleri de hesaba katılmıştır. Hibrit sistem için toplam maliyetimiz çizelge 2'de detaylı şekilde hesaplanmış olup toplam maliyet 181.194 TL'dir.

İlk Kurulum Maliyeti Değerlendirmesi

Karayaprak Tepe Radyolink İstasyonu'nun kurulumu, bölgenin iletişim altyapısını geliştirmek ve kesintisiz hizmet sunmak için kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada, istasyonun şebeke bağlantısı için geleneksel şebeke ve hibrit enerji sistemleri kullanılarak yapılan yatırım ve süre optimizasyonunu inceliyoruz.

Geleneksel şebeke bağlantısı için toplam yatırım maliyeti çizelge 2'de görüldüğü üzere 1.311.320 TL olarak hesaplanmıştır. Ancak, il'deki elektrik dağıtım şirketi ile yapılan görüşmede, yatırımın planlama ve kurulum aşamalarının 1 yıldan fazla süreceği ve bu süre boyunca istasyona hizmet veremeyeceği bilgisi alınmıştır. Bu durum karşısında, projemiz kapsamında radyolink istasyonu için güneş enerji santrali (GES) ve rüzgar enerji santrali (RES) hibrit kullanımı planlanmıştır. Hibrit enerji sisteminin toplam maliyeti çizelge 2'de görüldüğü üzere 2024 güncel eskalasyonuna göre 181.194 TL olarak hesaplanmış ve kurulumu da geleneksel şebeke bağlantısına kıyasla çok daha hızlı tamamlanmıştır.

Hibrit enerji sistemi kullanımı ile geleneksel şebeke bağlantısına kıyasla önemli maliyet ve süre tasarrufu sağlanmıştır. Maliyet %624 oranında düşerken, kurulum süresi 1 yıldan 1 aya inmiştir. Hibrit sistemin bir diğer avantajı da yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak projenin sürdürülebilirliğini ve çevresel etkisini azaltmasıdır. Ayrıca, bu sistem ileride yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişmelere de uyum sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışma, hibrit enerji sistemlerinin uzak bölgelerde kurulacak telekomünikasyon altyapıları için uygun bir çözüm olabileceğini göstermektedir. Hibrit sistemler, geleneksel

şebeke bağlantısına kıyasla daha düşük maliyet, daha kısa kurulum süresi ve daha yüksek sürdürülebilirlik sunmaktadır.

2014 yılından bu yana Karayaprak Tepe Radyolink İstasyonu, geleneksel enerji kaynaklarına bağlı kalmadan güneş enerjisi sistemi (GES) ve rüzgar enerjisi sistemi (RES) hibrit kullanımıyla izole olmadan çalışmaktadır. Türk Telekom A.Ş.'de çalıştığım pozisyon itibarıyla sorumluluğum altında olan bu istasyonda, periyodik bakımların düzenli ve zamanında yapılmasıyla istasyonun kesintisiz işleyişi sağlanmış ve herhangi bir problemle karşılaşmamıştır. Başarılı hibrit enerji sistemi uygulamasıyla Karayaprak Tepe Radyolink İstasyonu, izole bölgelere telekomünikasyon altyapısı kurma ve işletme konusunda referans alınacak bir örnek teşkil etmektedir.

İşletme Maliyet Değerlendirmesi

Çalışmamızın en önemli avantajlarından biri, farklı şekillerde çalıştırılan santrallerle kolaylıkla karşılaştırılabilir. Bu sayede, radyolink santralini sadece şebeke üzerinden çalışan santrallere kıyasla ne kadar avantajlı olduğu net bir şekilde ortaya konmaktadır.

Daha önce bahsettiğimiz gibi, sadece şebeke üzerinden çalışan bir santralin yıllık enerji tüketimi baz alınarak radyolink santralini ne kadar sürede kendini amorti edeceği hesaplanmıştır. Şekil 14'de görüldüğü gibi, 2023 yılında sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalışan bir santralin yıllık enerji tüketimi yaklaşık 2000 kWh'dir. Radyolink santralinde ise enerji tüketimi sabit olduğundan, bu tüketim 2024 yılı için de aynı kalacaktır.

Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu'nun 2024 yılı ticarethane haneleri için ortalama birim elektrik fiyatı 3,70 TL/kWh olarak kabul edilmektedir [26]. Bu bilgilere göre, ilgili santralin toplam yıllık enerji tüketim maliyeti 7.400 TL'dir (2000 kWh * 3,70 TL/kWh). Santralimizin ilk kurulum maliyeti ise çizelge 2'de görüldüğü gibi 181.194 TL'dir. Santral kurulum maliyetini senelik enerji tüketim maliyetine oranladığımızda, radyolink santralini ortalama kendini amorti etme süresi 24,50 yıldır (181.194 TL / 7.400 TL/yıl).

Bu hesaplama sadece 2024 yılı için geçerli olup, elektrik birim fiyatları her sene değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, radyolink santralini amorti süresi de yıllara göre değişiklik gösterebilir.

Çizelge 2. Hibrit sistem kurulum maliyeti

Table 2. Hybrid system installation cost

| Malzeme | Miktar | Birim | Birim Fiyatı (TL) | Toplam Fiyat (TL) |
|--|--------|-------|-------------------|-------------------|
| CHN 150-36M Güneş Paneli | 4200 | Watt | 19,12 | 80.304 |
| MAX-1200 W Rüzgar Türbini | 1200 | Watt | 30,28 | 36.340 |
| STECA Regülatör | 1 | Adet | 4.750,00 | 4.750 |
| 25 mm ² NYAF DC Kablo | 80 | Metre | 130,00 | 10.400 |
| Sarf Malzeme (Pabuç ve Klemens Dahil) | 1 | Adet | 3.900,00 | 3.900 |
| Galvaniz ve Alüminyum Montaj Sistemi | 1 | Adet | 35.000,00 | 35.000 |
| Toplam İşçilik | 1 | Adet | 10.500,00 | 10.500 |
| Toplam Maliyet | | | | 181.194 |

Kaynaklar

- [1] Akkoyunlu, A. (2006). Türkiye’de Enerji Kaynakları ve Çevreye Etkileri. *Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Bahçeşehir Üniversitesi,131-145, İstanbul.
- [2] Arnold, C. G., Isaac, V. E., Mathwich, H. R., Privett, R. F., & Thompson, L. E. (1959). A new high-capacity microwave relay system. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Part I: Communication and Electronics*, 78(5), 712-722.
- [3] Ulusoy, C. K. (2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımındaki gelişmeler; güneş enerji sistemleri ve finansman modelleri. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 6(13), 65-84.
- [4] Uçar, S. (2018). Çatı ve cephelerde fotovoltaik panel uygulamaları üzerine bir çalışma: Burdur örneği. *İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi) 127s, İstanbul.
- [5] Çelik, A., & Koç, F. (2020). Polikristal Tür bir Fotovoltaik Panelin IV Karakteristiğinin Analitik Modellenmesi ve Deneysel Validasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(4), 2491-2515.
- [6] Köse, S. (1986). Yarıiletken güneş pilleri ve verimlilikleri. *Anadolu University Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 92s, Eskişehir.
- [7] Önder, S., & Ocak, R. Ö. (2018). Sürdürülebilir enerji kaynaklarının avantajları. *Uluslararası Yeşil Başkentler Kongresi*, 901-907.
- [8] Eldem, M. (2017). Güneş Enerjisi. *TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni*, 5, 7-10.
- [9] Can, S. (2020). Rüzgar türbinleri kullanılarak üretilen elektrik enerjisi miktarının zaman serileri ile analizi ve uygulaması. 104s, Hatay.
- [10] Elibüyük, U., & Üçgül, İ. (2014). Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri. *Yekarum*, 2(3).
- [11] Nurbay, N., & Çınar, A. (2005). Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 19-21.
- [12] Yağmur, A. O. (2011). Rüzgar türbini pervane göbeği tasarımı. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 94s, İstanbul.
- [13] Hayli, S. (2001). Rüzgâr enerjisinin önemi Dünya’da ve Türkiye’deki durumu. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 1-26.
- [14] Usta, İ. (2015) Radyolink Sunumu, *Türk Telekom A.Ş.* (<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.elektroarge.com%2Felektronik-ders-not%2Ffradyolink-sunumu-turk-telekom-t395.html>). Erişim Tarihi: 21.03.2024.
- [15] Milli Eğitim Bakanlığı (2013). Uydu Haberleşmesi Modülü. (http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.megep.meb.gov.tr%2Fmte_program_modul%2Fmoduller_pdf%2FUydu%2520Haberle%C5%9Fmesi.pdf), Erişim Tarihi: 24.03.2024.
- [16] Arnold, C. G., Isaac, V. E., Mathwich, H. R., Privett, R. F., & Thompson, L. E. (1959). A new high-capacity microwave relay system. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Part I: Communication and Electronics*, 78(5), 712-722.
- [17] Öner, D. (2015). Görüş Hattı İletimi. *Maltepe Üniversitesi*. (<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fakademik.maltepe.edu.tr%2F%7Edemironer%2FELK%2520412%2520Telsiz%2520ve%2520Mobil%2520A%25Folar%2FDe rs%2520Notlar%25FD%2FBolum%25203-G%25F6r%25FC%25FE%2520Hatt%25FD%2520iletimi%2520%2827.03.2015%29.pdf>), Erişim Tarihi: 07.04.2024.
- [18] Polat, B., Bacanak, S. (2024) Elektromanyetik Dalgalar ve Antenler Sunumu. (<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mersin.edu.tr%2Fapbsuploads%2F1000470%2FFizikveTeknoloji%2F06-AntenlerVeEMD.pdf>), Erişim Tarihi: 10.04.2024.
- [19] Sarı, V., & Özyiğit, F. Y. (2020). Sivas ilinin farklı ilçelerinde şebeke bağlantılı güneş enerji santrallerinin tasarımı ve analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 425-437.
- [20] Url-1 <<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/58.aspx>>, alındığı tarih: 09.04.024.
- [21] Url-2 <<https://www.enerjiatlas.com/gunes-enerjisi-haritasi/sivas>>, alınan tarih: 09.04.2024.
- [22] Url-3 <<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=SIVAS>>, alınan tarih: 09.04.2024.
- [23] Url-4 <<https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/SIVAS-REPA.pdf>>, alınan tarih: 10.04.2024.
- [24] Url-5 <<https://www.enerjiatlas.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/sivas>>, alınan tarih: 10.04.2024.
- [25] Url-6 <<https://birimfiyat.tedas.gov.tr/>>, alınan tarih: 12.04.2024.
- [26] Url-7 <<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327>>