



Bölgesel Hidroelektrik Santral Üretim Rejimlerinin Zamansal Tamamlayıcılık Açısından Korelasyon Analizi ile İncelenmesi

İsrafil KARADÖL*, Ceyhun YILDIZ, Mustafa ŞEKKELİ

*Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kilis

(Alınış Tarihi/Received: 14.02.2019, Kabul Tarihi/Accepted: 10.06.2019)

*İlgili yazar/Corresponding Author: israfilkaradol@kilis.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Enerji
Korelasyon
Hidroelektrik
Tamamlama

Özet: Son yıllarda ülkeler, çevresel ve ekonomik faktörlerden dolayı yenilenebilir kaynaklarına (YEK) yönelmişlerdir. Enerji sektöründeki büyümeler incelendiğinde, YEK'in zamanla artan bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bu hızlı artışa paralel olarak YEK'in şebekeye entegrasyonunda birçok sorun ortaya çıkmıştır. Bu sorunların temel sebebi YEK santrallerindeki ani üretim artışları veya azalmalarıdır. Bu kısa vadeli değişiklikler şebekenin frekansı ve güç dengesi üzerinde yıkıcı etkilere neden olmaktadır. Çünkü geleneksel şebeke sistemleri çok hızlı değişen güç girdisiyle çalışacak şekilde tasarlanmamıştır. YEK 'teki hızlı değişimleri azaltmanın 3 farklı yolu vardır. Bunlardan ilki şebeke sistemlerini birbirine bağlamak, ikincisi enerjiyi depolamak üçüncüsü ise enerji kaynakları arasındaki zamansal tamamlamadan faydalanmaktır. Bu çalışmada zamansal tamamlama yaklaşımı hidroelektrik santraller (HES) için ele alınmıştır. Bu kapsamda Malatya, Kahramanmaraş ve Adıyaman illerinde kurulu, 27 adet HES üretimleri arasındaki zamansal tamamlama incelenmiştir. Tamamlama yönü ve büyüklüğünü hesaplamak amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizi sonucunda bazı tesislerin üretimleri arasında zamansal tamamlama olduğu görülmüştür.

Investigation of Regional Hydroelectric Power Plant Generation Regimes by Correlation Analysis in Terms of Temporal Complementarity

Keywords

Energy
Correlation
Hydroelectricity
Complementary

Abstract: In recent years, countries have turned towards renewable energy sources (RES) due to environmental and economic factors. When the growth in the energy sector is analyzed, it is seen that the RES has an increasing share in time. In parallel with this rapid increase, many problems have emerged in the integration of RES into the grid. The main reason for these problems is the rapid generation increase or decrease in energy resources. These short-term changes cause disruptive effects on the grid's frequency and power balance. Because conventional grid systems are not designed to operate with a very fast changing power input. There are three different ways to reduce rapid changes in RES. The first is to connect the grid systems together, the second is to store the energy and the third is to make use of the temporal completion between the energy sources. In this study, temporal complementary approach is discussed for Hydroelectric Power Plants (HEPP). In this context temporal complementary between 27 HEPPs that installed in Malatya, Kahramanmaraş and Adiyaman provinces is investigated. Correlation analysis was performed to calculate the direction and size of the complementary. As a result of the correlation analysis, it was seen that there was a temporal complementarity between the generation of some plants.

1. Giriş

Ülkeler enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmını; kömür, petrol gibi geleneksel enerji kaynaklarından karşılamaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanımından dolayı dünya üzerinde geri dönüşü olmayan bazı çevresel etkiler oluşmaktadır. Aynı zamanda geleneksel enerji kaynaklarının sürdürülebilirlik açısından dünyada belirli bir hacme sahip oldukları görülmektedir (Keçecioglu vd., 2017; Paredes ve Ramírez, 2017). Fakat gelişen sanayi ve teknolojiye paralel olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Artan enerji talebi geleneksel enerji kaynaklarından karşılanamaz duruma geldiği için ülkeler alternatif olarak YEK kapsamında; güneş, rüzgâr ve akarsu gibi enerji kaynaklarına yönelmişlerdir (Rosa vd., 2017).

YEK'ler geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla birçok avantaja sahiptir. YEK'ler, geleneksel enerji kaynaklarına göre daha ekonomik, çevreci ve sürdürülebilir enerji kaynaklarıdır (Çelik vd., 2018; Keçecioglu vd., 2015). YEK'in birçok avantajının yanında bazı dezavantajları da mevcuttur. YEK'in en büyük dezavantajı iklimsel nedenlere bağlı olarak sürekli üretim gerçekleştirilememesidir (Klima ve Apt, 2015; Bhattacharjee ve Acharya, 2016; Rodrigues vd., 2017). YEK üretimlerinin anlık olarak artması veya azalması geleneksel şebeke sistemlerinde istenmeyen bir durumdur. Çünkü üretimlerin hızlı değişimi şebekedeki güç-frekans dengesini bozmaktadır. Bu nedenlerden dolayı geleneksel şebeke sistemlerine yüksek oranlarda YEK dâhil edebilmesi durumunda ek maliyetler ortaya çıkmaktadır (Schmidt, vd., 2016a; Chatzivasileiadis, vd., 2017).

YEK üretimlerinde görülen ani artış ve azalmaları önlemenin üç farklı yolu vardır. Bunlar: Şebekeleri bağlama, depolama sistemleri ve zamansal tamamlamadır. Bu yöntemlerden şebekeleri bağlama; ekonomik açıdan uygundur fakat sistem kararlılığını sağlamak oldukça zordur (Keçecioglu vd., 2015), (Tekin vd., 2016). Diğer bir yöntem olan depolama sistemlerinin kurulumu ekonomik yönden pahalı fakat sistem esnekliğine uygun yapıdadır (Miller, vd., 2010; Ma vd., 2015; Schlachtberger vd., 2017). Zamansal tamamlama yöntemi ise hem ekonomik açıdan hem de sistem esnekliği açısından uygundur. Bu nedenlerden dolayı YEK'lerin büyük oranda geleneksel şebeke istemine dâhil edebilmenin en kolay yöntemi, YEK üretimleri arasındaki zamansal tamamlamadan faydalanmaktır.

Zamansal tamamlama yöntemi; iklimsel olaylardan etkilenerek farklı zaman aralıklarında üretim yapan tesislerin toplamda daha dengeli ve sürekli bir üretim değerine sahip olmaları hipotezine dayanmaktadır (François, vd., 2016a; Prasad, vd., 2017) . Yapılan bu çalışmanın amacı farklı bölgelere kurulmuş HES üretimlerinin kendi arasındaki zamansal tamamlayıcılıklarını ortaya koymaktır. Zamansal tamamlayıcılığın önemi ise HES üretimlerinin şebeke esnekliği ve güvenliği üzerindeki etkisinin ortaya koymasıdır.

Zamansal tamamlayıcılık konusunda yapılmış çalışmalar incelendiğinde farklı YEK santral üretimlerinin birbirlerini ne büyüklükte tamamladığı farklı yöntemler kullanılarak incelendiği görülmektedir. Bu alandaki ilgili çalışmalar incelendiğinde tesis üretimleri arasındaki tamamlama durumlarının yönünün ve büyüklüğünün belirlenmesi için istatistiksel analiz yöntemleri; Pearson korelasyon katsayısı (Monforti vd., 2014; Schmidt, vd., 2014; Dos Anjos vd., 2015) ve grafiksel analiz (Kougias vd., 2016; Paredes ve Ramírez, 2017) kullanılmıştır. Schmidt vd. (2014) çalışmasında, Brezilya'daki HES ve RES üretimleri birleştirilerek, YEK üretimlerinin iklimsel değişikliklerden en az oranda etkilenmesi ve toplam üretimin daha doğrusal olması sağlanmıştır. Bu çalışmada, iki farklı YEK üretimleri arasındaki zamansal tamamlamadan faydalanılarak, tesis üretimleri daha kararlı hale getirilmiştir. Bu sayede YEK'lerin geleneksel şebeke sistemlerine dâhil edilmesi kolaylaştırılmıştır. Bu çalışmanın eksi yönü ise tesis üretim verileri, National Institute of Meteorology (INMET) iklim verileri kullanılarak elde edilmiş olmasıdır. Schmidt, vd. (2016b) çalışmasında, HES, GES ve RES üretimlerinin optimal karışımı belirlenerek santral üretimlerinin birbirlerini tamamlamaları sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan üç farklı YEK tesis üretimleri arasındaki zamansal tamamlamadan faydalanılarak tesis üretimlerinin şebeke üzerindeki bozucu etkisinin azaltılabileceğini göstermişlerdir. Yapılan çalışmanın pozitif yönü 3 farklı YEK üretimleri arasındaki ilişkinin incelenmesi ve 34 yıllık iklimsel verilerden yararlanılmasıdır. Negatif yönü ise tesis üretim verilerinin European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), National Center of Atmospheric Research (NCAR), National Centers for Environmental Protection (NCEP) ve National Aeronautics and Space Administration (NASA) iklimsel verilerinden üretilmiş olmasıdır. Schmidt vd. (2016b) çalışmasında, termik santrallerin zararlı etkilerinden dolayı termik santraller üretimleri azaltarak HES, GES ve RES üretimlerinin birbirini zamansal olarak tamamlayarak daha çok üretim yapmaları durumları incelenmiştir. Yapılan çalışmanın negatif yönü tesis üretimlerinin iklimsel verilerden türetilmesidir. Pozitif yönü ise üç farklı kaynak arasındaki üretim tamamlamasından faydalanılarak termik santral üretimini en aza indirmektir. Schmidt, vd. (2016c) çalışmasında, 4 farklı HES ile o bölgelere kurulabilecek rüzgâr santralleri arasındaki tamamlayıcılık durumu incelenmiştir. Yapılan çalışmanın negatif yönü, tesis üretimleri için iklimsel verilerden yararlanılması, pozitif yönü ise üç farklı iklimsel verileri karşılaştırarak sonuçları incelemesidir. Ming vd. (2017) çalışmasında, geleneksel şebeke sistemine daha fazla GES enerji aktarabilmek için GES ve HES üretimleri arasındaki zamansal

tamamlayıcılık durumlarını incelenmişlerdir. Kurulumu gerçekleştirilmiş hidroelektrik santrallerden optimum verim elde edecek şekilde maliyet fayda analizleri yapılarak kurulumu gerçekleştirilecek GES Kurulu güç büyüklüklerini belirlemişlerdir. Bu çalışmanın negatif yönü ise tüm sistemler modelleme üzerinde incelenmiş olmasıdır. Heide vd., (2011) çalışmasında, rüzgâr ve güneş enerji sistemlerinin optimal kurulumları için bir çok senaryo uygulanmıştır. Bu senaryolar da elde edilen verilerden yararlanarak, iklim koşullarına bağlı ani aşırı yükleri depolayabilmek için farklı depolama sistemleri belirlenmiştir. Bu depolama sistemleri sayesinde yük talebinin daha düzenli bir şekilde karşılanması planlanmıştır. Literatürde yer alan bu çalışmalar incelendiğinde, YEK üretimleri arasındaki zamansal tamamlamadan faydalandığında tesis üretimlerinin daha kararlı hale geldiği görülmüştür. Bu sayede iklim koşullarına bağlı olarak üretimleri ani değişiklik gösteren YEK'lerin, geleneksel şebeke sistemlerine yüksek oranlarda dahil edilebilmesini kolaylaştırmıştır.

Yapılan literatür taramalarında Türkiye'deki YEK'lerin zamansal tamamlayıcılıklarının analizi konusunda herhangi bir çalışmanın yapılmadığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmada literatürdeki bu eksikliği gidermek amacıyla Kahramanmaraş, Adıyaman ve Malatya illerinde işletilen HES üretimleri arasındaki zamansal tamamlayıcılıklar incelenmiştir. Tesisler arasındaki ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü belirlemek için üretimler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Korelasyon analizleri sonucunda elde edilen korelasyon katsayıları yorumlanarak tesis üretimlerinin kendi aralarındaki ve iller arasındaki zamansal tamamlayıcılık durumları belirlenmiştir.

Bu çalışmanın literatüre katkısı, ilk defa Türkiye'de kurulu çok sayıda (27 adet) HES üretimlerinin zamansal tamamlayıcılık açısından analizinin yapılması olmuştur.

Bu makale 5 bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1'de konu ile ilgili genel bilgiler, literatür taraması ve yapılan araştırmanın ana hatları belirtilmiştir. Bölüm 2'de çalışmada incelenen HES tesisleri tanıtılmıştır. Bölüm 3'te HES tesis üretimleri arasındaki zamansal tamamlamayı belirlemek için kullanılan korelasyon analizi tanıtılmıştır. Bölüm 4'te hesaplamalar sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Bölüm 5'te HES üretimleri arasındaki ilişkinin büyüklüğü ve dereceleri hakkında bilgiler verilerek hangi illerdeki hangi santraller arasında zamansal tamamlama olduğu gösterilmiştir.

2. Hidroelektrik Santraller

Bu çalışmada HES tesisleri üzerinde incelemeler yapıldığından öncelikle HES'lerin genel özellikleri ve nehir tipi HES'lerin yapısı kısaca açıklanmıştır. Ayrıca santrallerde kullanılan türbin özellikleri, hidroelektrik enerjinin matematiksel denklemi ve yapılan hesaplamalarda kullanılan HES üretim verileri de bu bölümde özetlenmiştir.

2.1. Hidroelektrik Santrallerin Özellikleri

(HES), suyun konumundan dolayı sahip olduğu potansiyel enerjiyi veya hızından dolayı sahip olduğu kinetik enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştüren tesislerdir. Bu tesislerde suyun sahip olduğu enerji ilk olarak türbinler yardımıyla mekanik enerjiye daha sonra ise türbinlerdeki mekanik enerji, jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Oral vd., 2017).

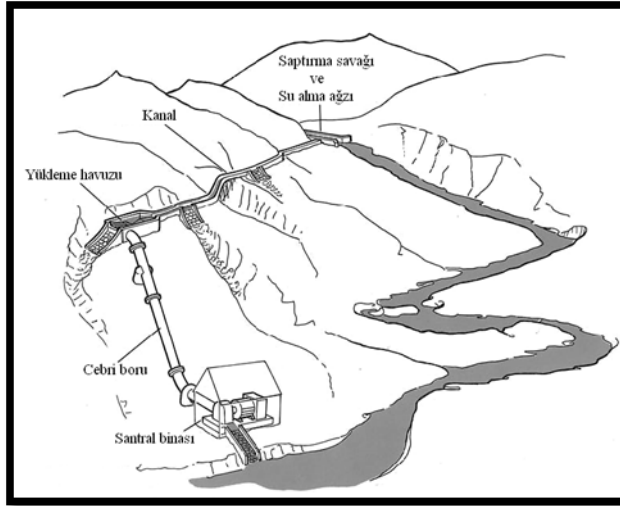
HES'lerin sınıflandırılmaları ise düşü yüksekliğine, baraj gövde tipine, santral binasının konumuna ve depolama durumuna göre yapılmaktadır.

HES'ler düşü yüksekliklerine göre; alçak (0-10 m), orta (10-50 m) ve yüksek (50 m ve üzeri) düşülü olarak sınıflandırılmaktadır (Gökdemir vd., 2012). Santraller baraj gövdesine göre sınıflandırılırken baraj gövdesi yapı malzemesi dikkate alınmaktadır; ağırlıklı beton gövdeli, beton kemer gövdeli, kaya dolgu gövdeli ve toprak dolgu gövdeli olarak sınıflandırılmaktadır. Santral binasının konumuna göre sınıflandırılma ise yer altı, yer üstü ve yarı gömülü HES'ler olarak sınıflandırılmaktadır (Oral vd., 2017). HES'ler ayrıca depolama durumlarına göre; pompaj depolamalı, rezervuarlı (baraj gölü vs.) ve rezervuarsız (nehir tipi) olarak sınıflandırılmaktadır (Yurtseven, 2011).

Rezervuarlı santraller isminden de anlaşılacağı gibi suyun akış yönü kapatılarak baraj gölleri oluşturulur. Baraj göllerindeki elektrik üretimleri yağış rejimlerinden bağımsızdır. Çünkü kurak mevsimlerde barajda önceden biriktirilmiş sulardan faydalanılarak elektrik üretimleri gerçekleştirilebilir. Bu durum şebeke güç sistemindeki enerjinin kontrolünde kolaylıklar sağlamaktadır (Gökdemir vd., 2012).

Rezervuarsız (nehir tipi) HES üretimleri ise santrallerin beslenmesi kısmında herhangi bir su depolama ünitesi olmadığından iklimsel olarak değişkenlik göstermektedir. Bu durum geleneksel şebeke sistemindeki güç-frekans dengesini olumsuz etkilemektedir (Karadöl vd., 2018).

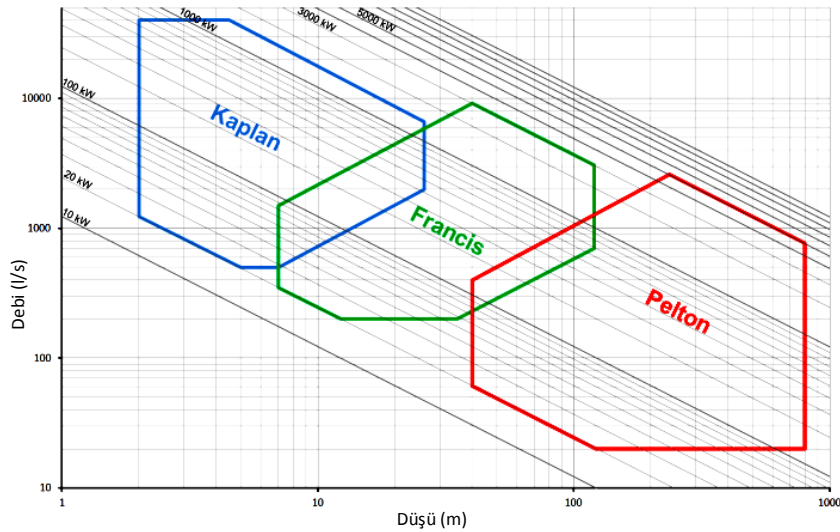
Nehir tipi HES'ler regülatör, çökeltim havuzu, su iletim kanalı, yükleme havuzu, cebri boru, santral ve kuyruk kısımlarından oluşmaktadır (Şekil 1). Nehir tipi HES'lerin çalışması da ilk olarak su alma işlemi regülatör yardımıyla gerçekleşmektedir daha sonra çökeltim havuzunda bekletilen su iletim kanalları yardımıyla yükleme havuzuna taşınmaktadır. Yüklem havuzundaki su cebri borular yardımıyla düşü sağlanarak türbinlere iletilir. Türbinlerdeki mekanik enerji jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Son olarak türbinlerden çıkan su kuyruk kısmından dışarı atılır.



Şekil 1. Nehir Tipi HES (River Type HEPP)(Özdemir vd., 2011)

2.2. Hidrolik Türbinler

Türbinler, herhangi bir akışkanın hidrolik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir. En basit ifadeyle yapı olarak bir mil ve mil üzerinde bulunan kanatçıklardan meydana gelmektedir. Türbinlerin genel olarak çalışma prensipleri, akışkanların kanatla çarparak milde bir hareket enerjisi oluşturmasıdır. Mildeki hareket enerjisi jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Sonuç olarak akışkanın potansiyel veya kinetik enerjisi, türbin ve jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Hidrolik türbinleri kullanım alanlarına, üretildikleri güce ve düşü aralığına göre birçok şekilde sınıflandırılmaktadır (Özdemir vd., 2011). Türbinlerin düşü ve debi değerlerine göre seçim aralıkları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Türbin seçim grafiği (Turbine selection graphic)(Andritz Hydro, 2015)

2.3. Hidroelektrik Enerji Hesabı

Hidroelektrik santralleri tarafından üretilen güç ifadesi Eşitlik 1’de verilen Bernoulli denkleminde çıkarılmaktadır (François, Borga, vd., 2016).

$$P = \rho \cdot H \cdot \eta \cdot Q \cdot g \quad (1)$$

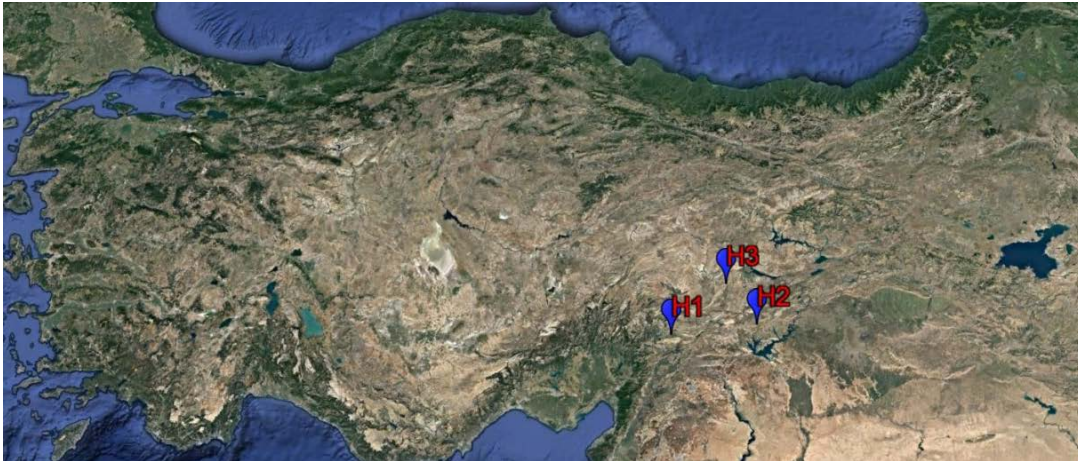
Denklemden kullanılan P(Watt) ifadesi hidroelektrik santralin gücünü, ρ (1kg/litre) suyun yoğunluğunu, H(metre) su girişi ile türbin su çıkışı arası yüksekliği ifade etmektedir. Q(m³/s) birim alandan birim zamanda geçen su miktarı, g(9,81m/s²) ise yer çekimi kuvvetini ve η ise santralin genel verimini yüzdelik olarak ifade etmektedir. Tüm bu değerler Bernoulli güç denkleminde yerleştirildiği zaman, herhangi bir hidroelektrik santralin kurulu gücü hesaplanabilmektedir.

2.4. İncelenen Hidroelektrik Santralin Üretim Verileri

Yapılan çalışmada kullanılan HES verilerine ilişkin genel özellikler Tablo1’de özetlenmiştir ve bu santrallerin kurulu olduğu iller Şekil 3’teki harita üzerinde gösterilmiştir. Haritada gösterilen H1, H2 ve H3 sırasıyla Kahramanmaraş, Adıyaman ve Malatya illerini ifade etmektedir.

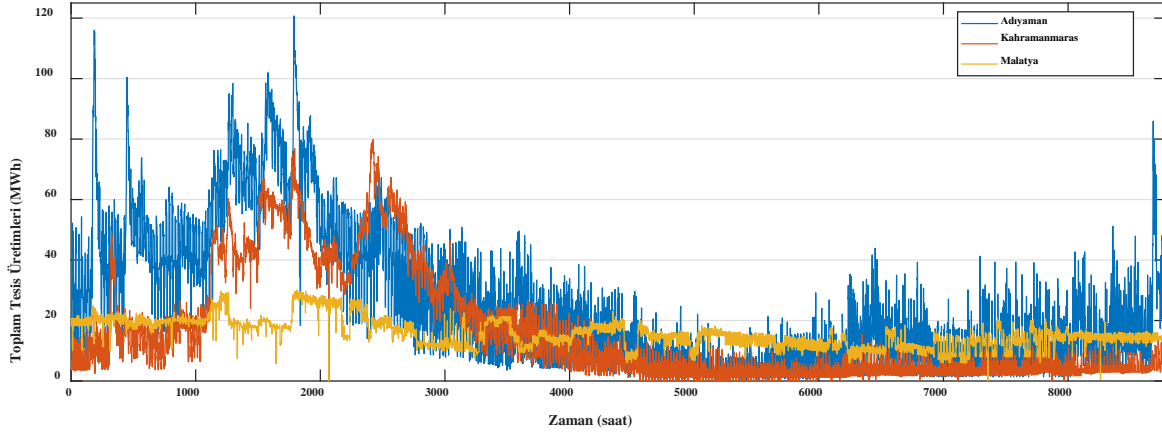
Tablo 1. İllere göre, HES kurulu güç dağılımı (By provinces, HEPP installed power distribution)

| İl | Santral Sayısı | Kurulu Güç (MW) |
|---------------|----------------|-----------------|
| Kahramanmaraş | 13 | 114 |
| Malatya | 5 | 40 |
| Adıyaman | 9 | 151 |
| Toplam | 27 | 305 |



Şekil 3. HES tesislerinin konumları (HEPP facilities locations)

Çalışmada kullanılan HES üretim verileri toplam 27 adet tesisten alınmıştır. Her tesisten alınan veriler bir yıllık, saatlik gerçek verilerdir. İllerde bulunan tüm HES santrallerine ait aylık üretim değerleri Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. İllere ait aylık HES üretimleri (By provinces, monthly HEPP production)

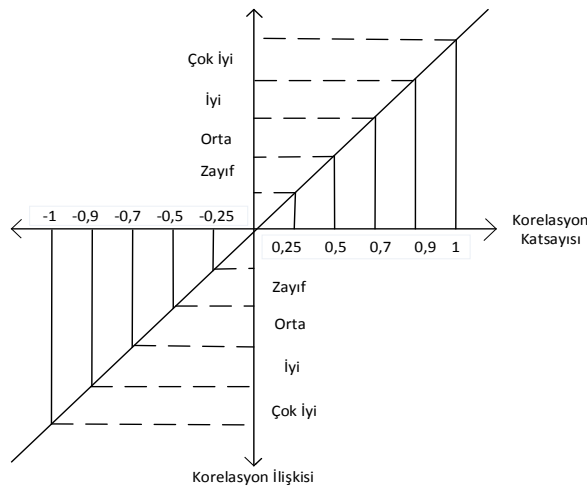
3. Korelasyon Analizi

Korelasyon analizi, bir değişkenin iki ya da daha fazla değişkenle olan ilişkisini belirlemek için kullanılan analiz yöntemidir (Karadöl vd., 2018). Korelasyon analizi yardımıyla iki değişken arasındaki ilişkinin yönü ve bu ilişkinin büyüklüğü belirlenmektedir (Louie ve Slughter, 2014; Schmidt, Cancellla ve Junior, 2014). Korelasyon analizinin amacı; bağımsız bir α değeri değiştiği zaman, bağımlı bir β değerinin ne yönde ve ne kadar büyüklükte değiştiğini belirlemektir (Rosa vd., 2017).

Korelasyon analizi sonucunda elde edilen korelasyon kat sayısı c harfi ile gösterilmektedir. c değer aralığı -1 ile 1 arasında değişiklik göstermektedir. Yapılan korelasyon analizi sonucunda c negatif bir değer ise α ve β değişkenleri aynı zaman dilimlerinde zıt yönde hareketler gerçekleştiriyor demektir (Karadöl vd., 2018). Fakat c değeri pozitif ise α ve β değişkenleri aynı zaman dilimlerinde paralel olarak hareket ediyor demektir. c değerinin 0 olması durumunda ise iki değişken arasında herhangi bir ilişki olmadığını göstermektedir (Meza vd. 2017).

$$c = \frac{\sum \alpha\beta - (\sum \alpha \sum \beta) / n}{\sqrt{[\sum \alpha^2 - (\sum \alpha)^2 / n][\sum \beta^2 - (\sum \beta)^2 / n]}} \quad (2)$$

c'yi veren matematiksel denklem Eşitlik 2'de verilmiştir. Denklemde kullanılan α ve β değerleri değişkenleri, n ise α ve β değerlerindeki değişken sayısını ifade etmektedir. Korelasyon analizindeki c katsayısının sayısal değeri ile α ve β değişkenleri arasındaki ilişki Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Korelasyon katsayısı ilişki grafiği (Correlation coefficient relationship graph)

Çalışmada yapılan korelasyon analizi için ilk olarak α ve β değerlerine, tesislere ait saatlik üretimler (8760 adet) yerleştirilmektedir. Denklem (2) de α ve β değerleri yerleştirildikten sonra her bir tesisin diğer tesislerle olan

ilişkinini yönünün ve büyüklüğünün belirlenmesi amacıyla c hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar tüm tesis üretimleri arasında tek tek yapılmaktadır.

4. Bulgular

Yapılan çalışmada Kahramanmaraş, Adıyaman ve Malatya illerinde bulunan HES'in kendi aralarındaki tamamlama durumlarını inceleyebilmek için bu santral üretimlerinin korelasyon katsayısı incelenmiştir. Yapılan korelasyon analizinde Kahramanmaraş'taki 13, Adıyaman'daki 9 ve Malatya'daki 5 HES'in saatlik gerçek verileri kullanılmıştır. Korelasyon analizi yapılırken ilk olarak illerde bulunan HES'in kendi aralarındaki korelasyon katsayıları incelenmiştir. Daha sonra ise HES'in farklı illerle olan korelasyon analizleri incelenmiştir.

Elde edilen korelasyon katsayıları Tablo 2'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Tabloda verilen kurulu güçler illere göre gruplandırılmıştır. Elde edilen korelasyon katsayıları köşegen matris olduğundan dolayı Tablo 2'nin sol alt köşesi boş bırakılmıştır. Tablo 2 de yer alan kurulu güçlerin bulunduğu satır ve sütunların kesişim notları bu kurulu güçlere sahip santraller arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir.

Tablo 2 de yer alan korelasyon katsayılarının negatif olması bu tesis üretimleri arasında zamansal tamamlama olduğunu göstermektedir. Yani tesis üretimleri aynı zaman dilimlerinde zıt yönde üretimler gerçekleştirdiğini ifade etmektedir. Bu durum, bir tesis üretimi azalırken diğer tesis üretiminin arttığını belirtmektedir. Korelasyon katsayısının pozitif işaretli olması ise tesis üretimleri arasında herhangi bir tamamlama olmadığını ifade etmektedir. Yani, tesis üretimlerinin aynı zaman dilimlerin de paralel hareket ederek aynı anda artışlar ve azalmalar gösterdiğini ifade etmektedir.

Tablo 2. HES Üretimleri arasındaki korelasyon katsayıları (HEPP productions correlation coefficients as between)

| | KURULU GÜÇ | KAHRAMANMARAŞ | | | | | | | | | | | | | ADİYAMAN | | | | | | | | | | MALATYA | | | | |
|---------------|------------|---------------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|----------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|--|
| | | 5MW | 4MW | 5MW | 4MW | 10MW | 1MW | 8MW | 1MW | 7MW | 15MW | 9MW | 27MW | 18MW | 3MW | 4MW | 30MW | 21MW | 27MW | 8MW | 7MW | 36MW | 15MW | 6MW | 5MW | 9MW | 13MW | 7MW | |
| KAHRAMANMARAŞ | 5MW | 1,00 | 0,85 | 0,22 | 0,12 | 0,10 | 0,40 | -0,13 | 0,76 | 0,20 | 0,13 | 0,15 | 0,65 | 0,67 | 0,35 | 0,28 | 0,01 | -0,74 | 0,00 | -0,09 | 0,22 | 0,01 | -0,09 | 0,18 | 0,04 | -0,03 | -0,27 | 0,29 | |
| | 4MW | | 1,00 | 0,11 | 0,01 | -0,01 | 0,21 | -0,20 | 0,61 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,29 | 0,30 | 0,27 | 0,16 | -0,07 | -0,07 | -0,05 | -0,17 | 0,70 | -0,07 | -0,13 | 0,08 | 0,15 | 0,15 | -0,34 | 0,15 | |
| | 5MW | | | 1,00 | 0,70 | 0,66 | 0,80 | 0,52 | 0,60 | 0,81 | 0,75 | 0,77 | 0,53 | 0,52 | 0,44 | 0,76 | 0,58 | 0,54 | 0,36 | 0,60 | 0,78 | 0,59 | 0,58 | 0,78 | -0,06 | -0,39 | 0,52 | 0,07 | |
| | 4MW | | | | 1,00 | 0,67 | 0,70 | 0,53 | 0,48 | 0,71 | 0,69 | 0,70 | 0,47 | 0,46 | 0,38 | 0,67 | 0,56 | 0,53 | 0,41 | 0,58 | 0,71 | 0,58 | 0,59 | 0,70 | -0,07 | -0,36 | 0,53 | 0,08 | |
| | 10MW | | | | | 1,00 | 0,71 | 0,53 | 0,46 | 0,75 | 0,75 | 0,72 | 0,47 | 0,45 | 0,39 | 0,66 | 0,55 | 0,49 | 0,38 | 0,61 | 0,71 | 0,57 | 0,63 | 0,70 | -0,06 | -0,34 | 0,53 | 0,05 | |
| | 1MW | | | | | | 1,00 | 0,46 | 0,77 | 0,90 | 0,80 | 0,83 | 0,78 | 0,77 | 0,51 | 0,81 | 0,57 | 0,51 | 0,32 | 0,57 | 0,82 | 0,57 | 0,53 | 0,80 | -0,02 | -0,38 | 0,48 | 0,10 | |
| | 8MW | | | | | | | 1,00 | 0,22 | 0,51 | 0,58 | 0,57 | 0,23 | 0,22 | 0,36 | 0,59 | 0,62 | 0,55 | 0,38 | 0,66 | 0,67 | 0,64 | 0,59 | 0,55 | -0,46 | -0,66 | 0,76 | 0,34 | |
| | 1MW | | | | | | | | 1,00 | 0,62 | 0,53 | 0,57 | 0,75 | 0,75 | 0,53 | 0,64 | 0,30 | 0,27 | 0,17 | 0,23 | 0,59 | 0,31 | 0,24 | 0,58 | 0,03 | -0,20 | 0,07 | 0,21 | |
| | 7MW | | | | | | | | | 1,00 | 0,84 | 0,84 | 0,61 | 0,60 | 0,44 | 0,79 | 0,60 | 0,54 | 0,34 | 0,63 | 0,82 | 0,60 | 0,59 | 0,81 | 0,03 | -0,33 | 0,55 | 0,02 | |
| | 15MW | | | | | | | | | | 1,00 | 0,79 | 0,51 | 0,50 | 0,42 | 0,78 | 0,64 | 0,59 | 0,38 | 0,68 | 0,81 | 0,66 | 0,59 | 0,77 | -0,05 | -0,36 | 0,57 | 0,11 | |
| | 9MW | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,55 | 0,54 | 0,42 | 0,75 | 0,62 | 0,55 | 0,35 | 0,67 | 0,81 | 0,62 | 0,60 | 0,80 | -0,05 | -0,37 | 0,58 | 0,06 | |
| | 27MW | | | | | | | | | | | | 1,00 | 1,00 | 0,42 | 0,57 | 0,34 | 0,29 | 0,20 | 0,31 | 0,59 | 0,33 | 0,24 | 0,53 | -0,08 | -0,32 | 0,19 | 0,28 | |
| 18MW | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,42 | 0,56 | 0,33 | 0,28 | 0,20 | 0,29 | 0,58 | 0,32 | 0,22 | 0,51 | -0,08 | -0,32 | 0,17 | 0,28 | | |
| ADİYAMAN | 3MW | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,51 | 0,35 | 0,33 | 0,19 | 0,32 | 0,48 | 0,36 | 0,31 | 0,41 | -0,28 | -0,43 | 0,29 | 0,28 | |
| | 4MW | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,67 | 0,59 | 0,38 | 0,66 | 0,82 | 0,67 | 0,60 | 0,80 | -0,13 | -0,45 | 0,57 | 0,17 | |
| | 30MW | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,64 | 0,37 | 0,73 | 0,68 | 0,63 | 0,59 | 0,63 | -0,21 | -0,44 | 0,61 | 0,17 | |
| | 21MW | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,16 | 0,66 | 0,61 | 0,78 | 0,54 | 0,56 | -0,15 | -0,38 | 0,55 | 0,14 | |
| | 27MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,39 | 0,40 | 0,39 | 0,38 | 0,37 | -0,11 | -0,27 | 0,36 | 0,11 | |
| | 8MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,72 | 0,71 | 0,65 | 0,65 | -0,20 | -0,45 | 0,68 | 0,13 | |
| | 7MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,69 | 0,64 | 0,80 | -0,19 | -0,51 | 0,66 | 0,26 | |
| | 36MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,61 | 0,63 | -0,22 | -0,47 | 0,62 | 0,18 | |
| | 15MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,64 | -0,13 | -0,39 | 0,63 | 0,01 | |
| MALATYA | 6MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,02 | -0,35 | 0,55 | -0,01 | |
| | 5MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,85 | -0,42 | 0,33 | |
| | 9MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,67 | -0,57 | |
| | 13MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,25 | |
| | 7MW | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | |

5. Sonuç

Yapılan korelasyon analizleri sonucunda Kahramanmaraş'taki HES üretimleri arasındaki korelasyon katsayılarının genel ortalaması 0,583 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar Kahramanmaraş'ta yer alan HES üretimlerinin birbirleri ile aynı anda artıp aynı anda azaldığını göstermektedir. Bu yüzden Kahramanmaraş'ta bulunan HES üretimleri arasında herhangi bir zamansal tamamlama söz konusu değildir. Bu durum Kahramanmaraş'ta bulunana HES üretimlerinin şebeke esnekliği ve güvenliği açısından olumsuz etkilere neden olduğunu göstermektedir. Adıyaman ilindeki HES üretimleri arasındaki korelasyon katsayılarının tamamı pozitif işaretli ve tesis üretimleri arasındaki genel korelasyon ortalama değeri 0,562'dir. Bu değerler Adıyaman'daki HES üretimlerinin paralel olarak artıp-azaldığı görülmektedir. Bu sebeple Adıyaman'da bulunan HES üretimleri arasında herhangi bir zamansal tamamlama söz konusu değildir. Bu sonuçlar Adıyaman ilindeki HES üretimlerinin geleneksel şebeke sistemi üzerinde bozucu bir etkiye sahip olduğunu net bir şekilde göstermektedir. Malatya iline ait korelasyon katsayılarını incelediğimizde korelasyon katsayılarının genel ortalaması -0,018 olduğu görülmüştür. Korelasyon katsayısının negatif işaretli olması bu ilde yer alan tesis üretimlerinin farklı zaman dilimlerinde artıp azaldığını göstermektedir. Yani bir tesisin üretimi arttığı zaman diğer tesisin üretimi azalmaktadır. Bu durum tesis üretimleri arasında zamansal tamamlamanın olduğunu göstermektedir. Fakat bu zamansal tamamlamada çok düşük seviyelerdedir. Bu sonuçlar Malatya ilinde yer alan HES üretimlerinin Kahramanmaraş ve Adıyaman da yer alan HES üretimlerine oranla geleneksel şebeke üzerinde daha az bozucu etkisinin olduğunu göstermektedir. Tüm illerin korelasyon katsayısını gelen olarak değerlendirdiğimizde ise Kahramanmaraş'taki 5 MW ile Adıyaman'daki 21 MW HES üretimleri arasında zamansal tamamlamanın maksimum olduğu ($c=-0,74$) görülmektedir. Tesis üretimlerini iller bazında değerlendirdiğimizde ise Malatya ilinde yer alan 9MW tesis üretimi ile 22 tesis arasında ve 5MW tesis üretimi ile 19 tesis üretimi arasındaki korelasyon katsayısının negatif olduğu görülmektedir. Malatya ilindeki bu iki tesis üretiminin genel olarak bölgedeki diğer tesis üretimleri üzerinde zamansal tamamlayıcılığının olduğunu ve aynı zamanda bu tesis üretiminin şebeke sistemi üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Kaynakça

Andritz Hydro. (2015). Mini compact hydro. Retrieved from <https://www.andritz.com/resource/blob/33256/4cc3cf70a02bca500e3c8e0915b31c03/hy-mini-compact-brochure-en-data.pdf>.

Bhattacharjee, S., ve Acharya, S. (2016). Performative analysis of an eccentric solar-wind combined system for steady power yield. *Energy Conversion and Management*, 108, 219–232. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.11.023>.

Çelik, İ., Yıldız, C., ve Şekkeli, M. (2018). Rüzgâr Enerji Santrali kurulumunda rüzgâr türbinlerinin mikro yerleşimi için bir optimizasyon modeli. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(4), 1–1. <https://doi.org/10.29109/gujsc.424155>.

Chatzivasileiadis, S., Ernst, D., ve Andersson, G. (2017). Global Power Grids for Harnessing World Renewable Energy. *Renewable Energy Integration: Practical Management of Variability, Uncertainty, and Flexibility in Power Grids: Second Edition*, 161–174. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809592-8.00012-3>.

De Oliveira Costa Souza Rosa, C., Costa, K. A., da Silva Christo, E., ve Bertahone, P. B. (2017). Complementarity of hydro, photovoltaic, and wind power in Rio de Janeiro State. *Sustainability (Switzerland)*, 9(7), 1–12. <https://doi.org/10.3390/su9071130>.

Dos Anjos, P. S., Alves Da Silva, A. S., Stošić, B., ve Stošić, T. (2015). Long-term correlations and cross-correlations in wind speed and solar radiation temporal series from Fernando de Noronha Island, Brazil. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 424, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.01.003>.

François, B., Borga, M., Creutin, J. D., Hingray, B., Raynaud, D., ve Sauterleute, J. F. (2016a). Complementarity between solar and hydro power: Sensitivity study to climate characteristics in Northern-Italy. *Renewable Energy*, 86, 543–553. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.044>.

François, B., Hingray, B., Raynaud, D., Borga, M., ve Creutin, J. D. (2016b). Increasing climate-related-energy penetration by integrating run-of-the river hydropower to wind/solar mix. *Renewable Energy*, 87, 686–696. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.10.064>.

- Gökdemir, M., İhsan, M., Taylan, K., ve Evcimen, U. (2012). Türkiye’de Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına. İMO Su Yapıları Kurulu, 18–26. Retrieved from http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/d8c5e9986a1c41b_ek.pdf?dergi=260.
- Heide, D., Greiner, M., von Bremen, L., ve Hoffmann, C. (2011). Reduced storage and balancing needs in a fully renewable European power system with excess wind and solar power generation. *Renewable Energy*, 36(9), 2515–2523. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.02.009>.
- Karadöl, İ., Yıldız, C., Keçecioglu, Ö. F., ve Şekkeli, M. (2018). Kararsız HES ve GES Üretimlerinin Düzenlenmesi için Optimal Enerji Karışımı Tespiti : Malatya İli Örneği Optimal. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(2), 84–90.
- Keçecioglu, Ö. F., Tekin, M., Gani, A., Açıkgoz, H., ve Gemci, A. (2015). Bir Güneş Enerji Santralinin Elektrik Şebekesindeki Güç Kalitesi Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi Investigation of A Solar Power Plant ’ s Effect over The Power Quality Parameters on Power System, 18(2), 17–24. <https://doi.org/10.17780/ksujes.41414>.
- Keçecioglu, O. F., Yıldız, C., Gani, A., Acikgoz, H., ve Tekin, M. (2017). Investigation of the effects of renewable energy sources on interconnection networks. *Pressacademia*, 5(1), 410–419. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.618>.
- Klima, K., ve Apt, J. (2015). Geographic smoothing of solar PV: Results from Gujarat Supplementary Data. *Environmental Research Letters*, 1–51.
- Kougias, I., Szabó, S., Monforti-Ferrario, F., Huld, T., ve Bódis, K. (2016). A methodology for optimization of the complementarity between small-hydropower plants and solar PV systems. *Renewable Energy*, 87, 1023–1030. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.073>.
- Louie, H., ve Slughter, J. M. (2014). Large Scale Renewable Power Generation. Springer Science. <https://doi.org/10.1007/978-981-4585-30-9>.
- Ma, T., Yang, H., Lu, L., ve Peng, J. (2015). Optimal design of an autonomous solar-wind-pumped storage power supply system. *Applied Energy*, 160, 728–736. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.11.026>.
- Meza, C. G., Amado, N. B., ve Sauer, I. L. (2017). Transforming the Nicaraguan energy mix towards 100% renewable. *Energy Procedia*, 138, 494–499. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.234>.
- Miller, B. R., President, S. V., ve Division, H. (2010). Opportunities in Pumped Storage Hydropower.
- Ming, B., Liu, P., Guo, S., Zhang, X., Feng, M., ve Wang, X. (2017). Optimizing utility-scale photovoltaic power generation for integration into a hydropower reservoir by incorporating long- and short-term operational decisions. *Applied Energy*, 204, 432–445. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.046>.
- Monforti, F., Huld, T., Bódis, K., Vitali, L., D’Isidoro, M., ve Lacal-Arántegui, R. (2014). Assessing complementarity of wind and solar resources for energy production in Italy. A Monte Carlo approach. *Renewable Energy*, 63, 576–586. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.10.028>.
- Oral, F., Behçet, R., ve Aykut, K. (2017). Hidroelektrik Santral Rezervuar Verilerinin Enerji Üretimi Amaçlı Değerlendirilmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 29–38.
- Özdemir, M. T., Orhan, A., ve Cebeci, M. (2011). Çok Küçük Hidrolik Potansiyellerin Enerji Üretim Amacı İle Yerel İmkanlarla Değerlendirilmesi. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Fırat Üniversitesi*, 5-7 Ekim, Elazığ, 371–377. Retrieved from <http://web.firat.edu.tr/feeb/kitap/C12/148.pdf>.
- Paredes, J. R., ve Ramírez, J. J. (2017). Variable Renewable Energies and Their Contribution to Energy Security: Complementarity in Colombia, 59.
- Prasad, A. A., Taylor, R. A., ve Kay, M. (2017). Assessment of solar and wind resource synergy in Australia. *Applied Energy*, 190, 354–367. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.135>.
- Rodrigues, A., Machado, D., ve Dentinho, T. (2017). Electrical energy storage systems feasibility; The case of Terceira Island. *Sustainability (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/su9071276>.

Schlachtberger, D. P., Brown, T., Schramm, S., ve Greiner, M. (2017). The benefits of cooperation in a highly renewable European electricity network. *Energy*, 134, 469–481. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.004>.

Schmidt, J., Cancelli, R., ve Junior, A. O. P. (2014). Combining windpower and hydropower to decrease seasonal and inter-annual availability of renewable energy sources in Brazil. Working Papers. Retrieved from <https://ideas.repec.org/p/sed/wpaper/562014.html> [Aftp://ftp.boku.ac.at/pub/repecftp/repecftp/RePEc/sed/wpaper/562014.pdf](http://ftp.boku.ac.at/pub/repecftp/repecftp/RePEc/sed/wpaper/562014.pdf).

Schmidt, J., Cancelli, R., ve Junior, A. O. P. (2016a). The effect of windpower on long-term variability of combined hydro-wind resources: The case of Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.159>.

Schmidt, J., Cancelli, R., ve Pereira, A. O. (2016b). An optimal mix of solar PV, wind and hydro power for a low-carbon electricity supply in Brazil. *Renewable Energy*, 85(2016), 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.010>.

Schmidt, J., Cancelli, R., ve Pereira, A. O. (2016c). The role of wind power and solar PV in reducing risks in the Brazilian hydro-thermal power system. *Energy*, 115, 1748–1757. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.059>.

Tekin, M., Keçecioglu, Ö. F., Erafşar, Ö., ve Şekkeli, M. (2016). Bir Hidroelektrik Santralin (HES) Elektrik Şebekesindeki Harmonik Oluşumuna Etkisinin İncelenmesi. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 70–77. <https://doi.org/10.1309/PH2BK79HAVTTPW13>.

Yurtseven, İ. (2011). Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerinin Havzalar Üzerindeki Ekohidrolojik Etkileri, 61(1), 55–62.