

TÜRKİYE’NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ 2030 YILINA KADAR TAHMİNİ¹

Mustafa GÜLLÜ

Doktora Öğrencisi

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İktisat Anabilim Dalı

mustafagullu@hotmail.com

ORCID: 0000-0001-7546-2400

Prof. Dr. Zeki KARTAL

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

İktisat Bölümü

zkartal@ogu.edu.tr

ORCID: 0000-0001-9739-0858

Öz

Yenilenebilir enerji teknolojisindeki gelişmeler, yenilenebilir enerjiyi konvansiyonel enerji ile rekabet edecek hale getirmiştir. Türkiye’nin Paris Anlaşmasında sunduğu Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanında sera gazı azaltım; güneş, rüzgar ve hidrolik gibi yenilenebilir enerjiden elde edilecek elektrik üretim hedefleri bulunmaktadır. Bu hedefler ve Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma hedefleri için kritik yıl 2030 olarak belirlendiği için çalışmada tahmin yılı 2030 olarak seçilmiştir. Makalede yenilenebilir enerji türlerinin ayrı ayrı kurulu güçlerinin tahmini Box-Jenkins ARIMA metodolojisi kullanılarak yapılmış, istihdam tahmini ise elektronik tablo tabanlı bir model olan JEDI modeli (İstihdam ve Ekonomik Kalkınma Etkisi) ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak Türkiye’nin Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanında hidrolik enerji ve güneş enerjisi hedefine ulaşacağı ve rüzgar enerjisi hedefine de çok yaklaşılabileceği öngörülmüş olup hedefe ulaşabilmesi için rüzgar enerjisi yatırımlarının ve teşviklerinin biraz

¹ Çalışma, Mustafa Güllü, “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, İstihdam ve Ekonomik Büyüme İlişkisi”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora tezinin bir bölümünden üretilmiştir

daha artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte Türkiye'de tüm yenilenebilir enerji türlerinin kurulu güçlerinin zamanla artış göstereceği ve 2030 yılında yenilenebilir enerji santralleri içinde en çok istihdam yaratacağı tahmin edilen enerji türünün Hidrolik enerji, ikinci sırada güneş enerjisi ve üçüncü sırada ise rüzgar enerjisi olacağı öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Öngörü, ARIMA*

JEL Kodu: *Q42, Q47, C53*

FORECASTING OF TURKEY'S RENEWABLE ENERGY SOURCES UP TO YEAR 2030

Abstract

Developments in renewable energy technology have made renewable energy competitive with conventional energy. Under the Paris Agreement offered by Turkey's Intended National Contribution of Statement greenhouse gas reduction and electricity generation from renewable energy such as solar, wind and hydraulics targets are located. Since the critical year for these stated goals and the United Nations Sustainable Development Goals was determined as 2030, the forecast year was chosen as 2030 in the study. In this paper, the estimation of the installed power of each renewable energy types was made using the Box-Jenkins ARIMA methodology, and the employment estimation was made with the JEDI model (Jobs and Economic Development Impact). As a result; Turkey's hydroelectric power and solar energy will reach Intended National Determined Contribution's target and wind energy is expected to be much closer. In addition, it was concluded that wind energy investments and incentives should be increased a little more in order to reach the target. However, the installed capacity is expected to increase over time of all types of renewable energy in Turkey. It is predicted that the energy types that are expected to create the most employment among renewable energy plants in 2030 will be hydraulic energy, solar energy and wind energy, respectively.

Keywords: *Renewable Energy Sources, Forecasting, ARIMA*

JEL Code: *Q42, Q47, C53*

GİRİŞ

Yenilenebilir enerjinin geleceği ve gelecekte ne kadar istihdam yaratacağı konusu son yıllarda literatürde sıklıkla yer alan bir konu haline gelmiştir. Dünyada enerjiye talebin sürekli artması, fosil kaynakların rezervlerinin azalması, teknolojisindeki gelişmeler ile yenilenebilir enerjinin konvansiyonel enerji ile rekabet edecek hale gelmesi ve önemli bir istihdam kaynağı olması gibi sebepler yenilenebilir enerjinin önemini artırmaktadır.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) tarafından Dünya Bankası (World Bank) ve Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) gibi kuruluşlarla birlikte hazırlanan IRENA (2014) REmap 2030 raporuna göre, daha fazla yenilenebilir enerji kullanıldıkça, geleneksel enerji tüketiminin azalacağı; fosil ve nükleer endüstrilerde istihdam azalsa da yenilenebilir enerji endüstrilerinde yaratılan istihdamın fosil yakıt ve nükleer sektörlerde kaybedilen istihdamı aşip olumlu bir net etkiye sahip olacağı öne sürülmüştür. Raporda ayrıca Türkiye için önümüzdeki yirmi yıl içinde

bina stokunun önemli bir kısmının yenileneceği, bunun da yenilenebilir enerjilerin entegrasyonu için büyük bir potansiyel yaratacağı ve yenilenebilir enerji politikalarına ağırlık verileceği ifade edilmektedir (IRENA, 2014:136). Gelecek yıllarda yenilenebilir enerjinin ne seviyede olacağı sorusunu inceleyen çalışmalar ve raporlardan bir bölümü üretim ve kurulu güç yönüyle, diğer kısmı ise tüketim boyutu ile konuyu ele almışlardır.

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun 9. ve 20. Maddeleri bağlamında 07.05.2016 tarihli ve 29705 sayılı Resmi Gazete 'de yayınlanan Elektrik Piyasası Talep Tahminleri Yönetmeliğine uygun olacak biçimde, dağıtım şirketlerinden topladıkları raporlara göre, her yıl haziran ayının sonuna kadar 10 yıllık elektrik enerjisi talep tahminlerini Enerji Piyasası Düzenleme Kurumuna (EPDK) sunarak düşük, baz ve yüksek tüketim senaryolarına uygun rapor hazırlamaktadır. TEİAŞ (2019a) raporuna göre 2028 yılı brüt elektrik tüketim beklentileri düşük senaryoya göre 428.971 GWh, baz(referans) senaryoya göre 451.729 GWh ve yüksek senaryoya göre 477.553 GWh olarak gerçekleşmiştir.

“Gelecek yirmi yılı kapsayan Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu, her iki yılda bir Kalkınma Bakanlığı ve Kurum görüşleri alınmak suretiyle Bakanlık tarafından hazırlanır ve yayımlanır” hükmüne dayanılarak hazırlanan rapor ekonomik büyüme oranı, nüfus, hane halkı sayısı, ulaştırma sektörünün elektrik tüketimine katkısı, iç tüketim ve şebeke kayıpları, verimlilik ve enerji verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Rapor hazırlanırken ekonometrik model, ARIMA modeli, karşılaştırma modeli, regresyon modeli ve esneklik modeli kullanılmış; düşük senaryo, referans senaryo ve yüksek senaryo ile toplamda 15 farklı talep serisi üzerinde çalışılmıştır. ETKB (2019) raporuna göre, 2019-2039 döneminde Türkiye elektrik enerjisi talep projeksiyonu sonuçlarının yıllık bazda talep ve değişim oranları tablosuna göre 2030 yılında Türkiye'nin elektrik enerjisi talebi Senaryo 1'e göre 453 TWh, Senaryo 2'ye 481,7 TWh ve Senaryo 3'e göre 515,4 TWh olarak projeksiyonu gerçekleştirilmiştir. 2039 yılı için ise Türkiye elektrik enerjisi talebi Senaryo 1'e göre 556,3 TWh, Senaryo 2'ye 613,4 TWh ve Senaryo 3'e göre 679,9 TWh olarak projeksiyonu gerçekleştirilmiştir. Türkiye'nin bu elektrik enerjisi ithal kömür, doğalgaz, taş kömürü, linyit gibi fosil kaynakların yanı sıra hidroelektrik, rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından da sağlanmaktadır. Fosil kaynak rezervlerinin gün geçtikçe azalmasından dolayı yenilenebilir enerjiye ihtiyaç duyulmakta ve çalışmada 2030 yılında yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki yeri incelenmektedir.

1. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Gelecek kuşakların ihtiyaçlarından taviz vermeden günümüzün kuşaklarının ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde oluşturulan bir kalkınma modeli olan “**2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri**” 25-27 Eylül 2015 tarihinde Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesinde 193 ülkenin imzası ile kabul edilmiştir. 17 sürdürülebilir kalkınma hedefi ve 169 alt başlığı olan kalkınma hedeflerinin arasında yoksulluğun ve açlığın bitirilmesi, gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarımın sağlanması, sağlığa, eğitime, adalete, enerjiye erişimi artırmak, istihdamı, sanayileşmeyi ve yenilikçiliği geliştirmek, sürdürülebilir üretim ve tüketimi desteklemek ve iklim değişikliği ile mücadele etmek gibi hedefler bulunmaktadır (UNDP Türkiye). Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma hedeflerinde önemli hedeflerden bir tanesi 7 numaralı hedef

olan “Erişilebilir ve Temiz Enerji” hedefidir. Hedefin alt başlığında ise enerji verimliliği, enerjiye ulaşım ve yenilenebilir enerji bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji, iklim hedeflerine ulaşmak ve hava kalitesinin artırılması, özellikle kırsal ve uzak bölgelerde enerjiye erişimi olmayanların off-grid enerjiye ulaşabilmeleri, enerjide suya bağımlılığı ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak gibi yönlerden çok önemlidir. Ayrıca yenilenebilir enerji teknolojileri ve tedarik sistemlerine yapılan yatırımlar yeni istihdamlar ve yeni ekonomik fırsatlar yaratacaktır. 2014 yılında, yenilenebilir enerji kaynaklarından dünya çapında doğrudan ve dolaylı 7,7 milyon istihdam yarattığı 2030 yılına kadar potansiyel olarak 24 milyon istihdama ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Sonuç olarak 7 numaralı hedef olan erişilebilir ve temiz enerji hedefi, hedeflere ulaşmak için ve sürdürülebilir enerjinin sürdürülebilir kalkınma sağlayacağından dolayı kritik öneme sahiptir (UNDP, 2016:3).

Sürdürülebilir kalkınma kavramı ile yenilenebilir enerji arasında; kaynakların etkin ve verimli kullanılması, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını kendi kendine sağlaması ve enerji üretim teknolojisinin kolay erişilebilirliği, bulunabilirliği ile sera gazı emisyonu azaltımı gibi avantajları olması yönünden sıkı bir ilişki bulunmaktadır (Onat, 2018:2). Fosil yakıtların tüketimi ile iklim değişikliği ve enerji tüketimi de birbirine yakından ilişkili kavramlardır. 2013 yılında fosil yakıt bazlı termik enerji, küresel elektrik üretiminin %67,1'ini oluşturmuş ve böylece küresel sera gazı emisyonlarının artmasına sebep olmuştur (Melikoglu, 2016:8). Dolayısıyla iklim değişikliği gibi küresel çevre sorununu ulusal ve küresel düzeyde ele almanın en etkili yolu, çevresel açıdan sürdürülebilir teknolojilere geçerek, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, orman ekosistemlerinin korunması, gıda üretimi ve su tasarrufu gibi konularda sürdürülebilir kalkınmaya öncelik vermek olacaktır.

Atmosferdeki sera gazının iklim üzerindeki insan kaynaklı tehlikeli etkilerini önlemek amacıyla 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) imzalanmış ve tarafların azaltım yükümlülükleri tanımlanmıştır. Türkiye ise sözleşme imzalandığında EK-I ve EK-II listelerinde olmasına rağmen 5386 Sayılı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolüne Katılmamızın Uygun Bulduğuna Dair Kanun ve 13 Mayıs 2009 tarih ve 2009/14979 Sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile 26 Ağustos 2009 tarihinde Kyoto Protokolü'ne Taraf olmuş ve azaltım yükümlülüklerinin tanımlandığı Protokol EK-B listesine girmeyerek 2008-2012 dönemi ve 2012-2020 döneminde herhangi bir sınırlama ve azaltım yükümlüğü bulunmamaktadır. 2020 yılında Kyoto Protokolü'nün sona ereceğinden dolayı Fransa'nın Paris kentinde COP21 toplantısı gerçekleşmiş ve 2020'den sonra geçerli olacak Paris Anlaşması kabul edilmiştir. Türkiye, Paris Anlaşmasına taraf olmamıştır ancak Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanını 30 Eylül 2015 tarihinde sunarak 2021-2030 döneminde referans senaryoya göre sera gazı emisyonlarını %21 oranında azaltacağını, güneş enerjisinden elektrik üretiminin 2030 yılında 10 GW kapasiteye ulaşacağını, rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin 2030 yılında 16 GW kapasiteye ulaşacağını, hidrolik kapasitesinin tamamının kullanılacağını ve 2030 yılına kadar 1 adet nükleer santralin devreye gireceğini beyan etmiştir.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin 9/CP.16 kararı ve 2/CP.17 ile tekrar teyit edilmesi ile ulusal koşulların, sera gazı emisyonu ve yutak envanterinin ve genel

iklim değişikliği ile ilgili politika ve önlemlerin yer aldığı Ulusal Bildirimlerin birincisi 2007 yılında hazırlanmış ve yedincisi 2018 yılında Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanmıştır. 7. Ulusal Bildiriminde sera gazını azaltmada yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi hedeflerine daha fazla yer verilmiş olup Türkiye'nin Enerji Politikasının ithalat bağımlılığını azaltıcı, arz güvenliğini iyileştirici, Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanlarına İlişkin Yönetmelik (YEKA) ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destek Mekanizması (YEKDEM) ile yenilenebilir enerji kaynakları yatırımların hızlanmasına ve yenilenebilir enerjiden azami ölçüde yararlanması yönüne dikkat çekilmiştir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018:20).

Bu makale, Türkiye özelinde ve hidrolik, güneş, rüzgar, biyoyakıt ve jeotermal enerjiden oluşan yenilenebilir enerji alt kaynakları ile sınırlandırılmış olup Türkiye için yenilenebilir enerjinin geleceği ve 2030 yılında ne kadar kurulu güce sahip olacağı ve ne kadar istihdam yaratacağı konusu bu bölümünün konusunu oluşturmaktadır.

2. İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde gelecek tahmini ve öngörü için Box-Jenkins ARIMA metodolojisi de dahil olmak üzere pek çok yöntem kullanılmıştır. ARIMA modellemesi kullanılarak yapılan çalışmalardan Jamil (2020:7)'nin çalışmasında Pakistan'ın 53 yıllık geçmiş verileri ile 2030 yılına kadar hidroelektrik tüketimi tahmin edilmiş ve hidroelektrik tüketiminin yıllık ortalama %1,65 artış ile %23,4 kümülatif artış göstereceğini öngörmüştür. Malezya'nın 1973'ten 2013'e kadar 40 yıllık geçmiş verileri ile ARIMA yaklaşımını kullanarak, 2053 yılına kadar toplam elektrik üretiminin tahminini gerçekleştiren Haiges vd. (2017:3476), kurulu veri kapasitesi, talep ve elektrik üretimi için yıllık büyüme oranını %8,78 olarak tespit etmiştir. Finlandiya'da hane halkları için elektrik enerjisi tüketimini 2018-2030 dönemi için ARIMA modeli ile tahmin eden Räsänen vd. (2019:4), sonuçları analiz ederken dikkate alınması gereken birçok belirsizlik kaynağı bulunduğunu; bununla birlikte 2030 yılında elektrik enerjisi tüketiminin de azalacağını tahmin etmiştir.

Dünyanın en büyük net petrol ithalatçısı olan Çin'in ithal petrol bağımlılığını; 2017 ile 2030 dönemi için doğrusal olmayan metabolik gri model ve ARIMA modelini birleştirerek NMG-ARIMA modeli ile uygulayan Wang vd. (2018:165), Çin'in yabancı petrol bağımlılığı seviyesinin 2030'da %80'in üzerine çıkacağı sonucuna ulaşmıştır. Hindistan'da 2030 yılına kadar kömür tüketimini 1995-2017 dönemi verileri ile, MGM-ARIMA (Metabolik Gri Model-ARIMA) ve BP-ARIMA (Geri Yayılma Ağı-ARIMA) modelleri ile tahmin eden Li vd. (2019:7), Hindistan'ın kömür tüketiminin yıllık ortalama %2,5 oranında büyümeye devam edeceği bulgusuna ulaşmışlardır. Vietnam'ın sanayi ve inşaat sektörlerinin elektrik tüketimini 2030 yılı için Cobb Douglas üretim fonksiyonu ile tahmin eden Vo (2019:514), Vietnam'ın sanayi ve inşaat sektörlerinin elektrik tüketiminin 2020'ye kıyasla iki katına ve 2016 tüketimine kıyasla üç katına çıkacağı sonucuna varmıştır.

Bazı literatür çalışmaları ise ARIMA modeli ile birlikte başka modelleri de kullanarak tahminlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalardan rüzgar enerjisinden elektrik enerjisinin Romanya'da Mart 2018 döneminde bir aylık üretimini tahmin etmek için iki farklı model

kullanan Dumitru ve Gligor (2019:416), elektrik enerjisi üretimi dışında rüzgar hızı ve hava durumu gibi hiçbir değişken dikkate almadan ARIMA modelini ve İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağını (FFANN) kullanarak tahminlerini gerçekleştirmişlerdir. Almanya'da yenilenebilir enerjinin ekonomik etkilerini 2030 yılına kadar Sektörel Enerji-Ekonomik Ekonometrik Modeli (SEEEM) ile analiz eden Blazejczak vd (2014:1076), yenilenebilir enerji genişlemesinin ekonomik büyüme ve istihdam üzerindeki net etkilerinin pozitif olacağını ortaya koymaktadır.

Kanada, Fransa, İtalya, Japonya, Brezilya, Meksika ve Türkiye için aylık toplam elektrik enerjisi tüketimi (GWh) verilerine ARIMA ve üstel yumuşatma yöntemleri uygulayarak tahmin eden Oliveira ve Oliveira (2018:785), toplam tüketimin endüstriyel, ticari, konut ve diğer sektörler gibi her bir alt sistemi için torbalama yöntemlerinin uygulanması ve daha sonra sonuçların tek bir çıktıda toplanmasının toplam elektrik enerjisi tüketimi için tahminlerin doğruluğunu daha da artırabileceğini savunmuşlardır.

Chen vd. (2019:1214), ABD'nin 1983 ile 2017 döneminde güneş enerjisi tüketim verileri üzerinde Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN) türü olan Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ile ARIMA modelini karşılaştırmıştır. Güneş enerjisi tüketimindeki değişiklikleri etkileyen dört faktör olan enerji yapısı etkisi, enerji yoğunluğu etkisi, ekonomik faaliyet etkisi ve nüfus etkisini veri olarak kullanan Chen vd. (2019:1218), sonuçların Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) yöntemi ile karşılaştırıldığında LSTM yaklaşımının daha iyi fizibiliteye sahip olduğu bulgularına ulaşmışlardır.

ARIMA ile Yapay Sinir Ağları (ANN) modellerini birleştiren hibrit bir metodolojinin uygulanabileceğini ifade eden Zhang (2003:174), iki modelinde her tahmin durumunda ayırım gözetmeden kullanılacak evrensel en iyi model olmadığını, doğrusal ARIMA modeli ile doğrusal olmayan ANN modelinin birleşimi olan hibrit modelin hem doğrusal hem de doğrusal olmayan korelasyon yapılarına sahip karmaşık problemler için tahmin performansını iyileştireceğini vurgulamışlardır.

Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Meksika'daki 53 kasaba ve şehir üzerinde 2050 yılına kadar tüm enerji sektörlerinde %100 rüzgar, su ve güneş ışığına geçiş yol haritası geliştiren Jacobson vd. (2018:26), tüm elektrik ve ısının rüzgar, su ve güneş ile elde edilmesi durumunda hava kirliliği dolayısıyla ölüm oranının azalacağını, küresel iklim maliyetlerinin azalacağını, kaybedilen istihdamdan daha fazla istihdam yaratılacağı sonuçlarına ulaşmışlardır. Ayrıca bu çalışmada net istihdam hesaplanmasında JEDI modeli kullanılarak MW başına düşen istihdam hesaplanmıştır.

Literatürde Türkiye'yi konu alan ve özellikle elektrik, enerji ve yenilenebilir enerji konularında tahmin yapan çalışmalar da bulunmaktadır. Türkiye'nin 2020 yılına kadar sektörler bazında net elektrik enerjisi tüketiminin tahmini Yapay Sinir Ağları (YSA) ile gerçekleştiren Hamzaçebi (2007:13), 2020 yılına kadar yıllık ortalama net elektrik tüketimi artışı sanayi sektörü için %45,67; konut sektörü için %49,90; tarım sektörü için %3,65 ve ulaştırma sektörü için %0,755 olarak hesaplamış ve YSA ile yapılan projeksiyonun resmi olarak Türkiye elektrik enerjisi tüketimi için yapılan projeksiyonlardan daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Türkiye'deki enerji talebini 1979-2005 dönemi arasındaki verilerin yardımıyla, 2006-2025 dönemindeki enerji talebini Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) ile tahmin eden Toksarı (2007:3989), nüfus, GSYİH, ithalat ve ihracat verileri kullanarak hesaplamalarını yaptığı modelin tahmin hatalarının düşük düzeyde olduğu sonucuna ulaşmıştır. Türkiye'nin 2006-2015 dönemi için elektrik talebini Yuvarlanma Mekanizmalı Gri Tahmin (GPRM) metodu ile toplam ve sanayi sektörü için gelecek projeksiyonları gerçekleştiren Akay ve Atak (2007:1674), GPRM model sonuçlarının ETKB'nin resmi sonuçlarından daha iyi sonuç verdiğini ve gelecekteki elektrik projeksiyonları için güvenle kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Demografik ve sosyoekonomik ve değişkenleri kullanarak Türkiye'nin enerji tüketimini Yapay Sinir Ağı (YSA) ile modelleyen Kankal vd. (2011:1938), Türkiye'nin 2008-2014 dönemini tahmin ederek enerji tüketiminin 2014 yılında 117,0 ile 175,4 Mtoe arasında değişeceği bulgusuna ulaşmıştır. Türkiye'nin hidrolik dahil yenilenebilir enerji potansiyelini ayrı ayrı alt kategorilerine göre hesaplayan ve Türkiye'nin ihtiyaç duyduğu enerjiyi kendi kaynakları ile elde edilip edilemeyeceği sorusuna yanıt arayan Kurucu (2017:18), yenilenebilir enerji potansiyelini 4307 TWh/Yıl olarak hesaplamış olup bu rakam Türkiye'nin enerji tüketimi olan 930 TWh elektrik enerjisinin yaklaşık 5 katına karşılık gelmektedir.

Türkiye'nin hidrolik enerji üretimini, Yapay Sinir Ağı (YSA) modelini Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritması ile uygulayarak tahmin eden Uzlu vd. (2014:643), Türkiye'nin 2021'deki hidroelektrik üretiminin 69,1 ila 76,5 TWh arasında olacağını ve toplam yıllık elektrik talebine hidroelektrik oranlarının %14,8 ile %18,0 arasında değişeceğini, bu sonuçların Vizyon 2023 hedeflerine ulaşmak için hidroelektrik yatırımlarının yeniden gözden geçirilmesi ve artırılması gerektiğini ifade etmiştir. Türkiye'de Vizyon 2023 enerji hedeflerine dayalı olarak yenilenebilir enerji yatırımlarının maliyetini 61 milyar dolar olarak hesaplayan Melikoglu (2016:10), Türkiye'nin enerji yatırımlarının yaklaşık yarısının Vizyon 2023 hedeflerine ulaşmak için harcanması gerektiğini ifade etmiştir. Bu sırada toplam kurulu gücü yaklaşık 10.000 MW olan iki nükleer santrale yaklaşık 50 milyar dolar harcayacağı tahmin edilmiş ve Vizyon 2023 enerji hedeflerinde hafif bir gecikme beklenebileceğini ifade etmiştir.

Elektrik üretiminden kaynaklı sera gazı emisyonlarını Türkiye özelinde yakıt türlerine göre tahminini TEİAŞ'ın 2013-2017 dönemi 5 yıllık elektrik üretim kapasitesi projeksiyonu yardımıyla gerçekleştiren Özcan (2016:836), elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonların 2013-2017 dönemi için artan bir eğilim içinde olması beklendiği öngörüsünde bulunmuştur. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin mevcut durumunu ve gelecek beklentilerini uluslararası kuruluşların resmi raporları ve verilerinin karşılaştırmalı analizlerini gerçekleştiren Onat (2018:16), yenilenebilir enerji kurulu gücünün dünya ortalamasının altında olduğunu ifade etmiştir. Türkiye'nin yenilenebilir enerjideki kurulu gücü, potansiyeli ve geleceğini bazı istatistik ve oranlar yardımı ile inceleyen Yılmaz ve Özçik (2018:533), Türkiye'nin 2023 yılına kadar hedef olarak %1'lik yenilenebilir enerji artış oranının düşük olduğunu ve yenilenebilir enerjinin daha fazla yaygınlaştırılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Türkiye'nin 1970-2000 dönemi elektrik enerjisi talebi verileri ile En Küçük Kareler (EKK) ve hata düzeltme yöntemi kullanılarak talep esneklikleri ile ilgili 2001-2005 dönemi projeksiyonu yapan Akan ve Tak (2003:29), ekonomik büyüme ve üretim artışı ile ilgili dönemde elektriğe olan talebin yüksek oranlarda artacağı sonucunu elde etmişlerdir.

Türkiye'nin 2007-2016 yılları arasındaki biyoetanol üretim, tüketim ve kayıp verileri kullanılarak 2017-2030 yılları arasındaki buğday, mısır, pirinç ve patates üretimi ve tüketim tahminlerini doğrusal olarak ve yarı deneysel modelleme metodolojilerine dayanarak elde eden Melikoğlu ve Türkmen (2019), 2030 yılında Türkiye'nin buğday, mısır, pirinç ve patates üretim ve tüketim kayıplarından ne kadar biyoetanol üretilebileceğini tahmin etmişlerdir. Türkiye'nin 2015-2023 dönemi için yıllık brüt elektrik tüketimini Box-Jenkins Otoregresif Hareketli Ortalama (ARMA) modeli ile tahmin yapan Mahmutoglu ve Öztürk (2015), herhangi bir ekonomik kriz olmayacağı varsayımı altında 2023 yılında elektrik tüketim öngörüsünün 486.471 GWh olacağını tahmin etmişlerdir.

Türkiye'deki hidroelektrik enerjisinin üretim tahminini bir hidroelektrik tesis üzerinde, 2007-2014 döneminde ortalama aylık yağış, nem ve debi verilerini Yapay Sinir Ağları (YSA) ile 12 aylık olarak gerçekleştiren Makas ve Karaatlı (2016:762) çalışmanın diğer tüm hidroelektrik santrallere yüksek doğrulukla uygulanabileceğini göstermiştir. Türkiye'de uzun vadeli elektrik enerjisi talebini öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) ile Sinir Ağı Yaklaşımını (YSA) kullanarak modelleyen ve tahmin eden Kankal ve Uzun (2017:742) Türkiye'deki elektrik enerjisi talebini 2018 yılında 268,37 TWh ve 287,77 TWh arasında değişeceğini, aynı dönem için resmi tahminlerin 352,01 TWh ve 376,35 TWh olacağını, analiz edilen tüm senaryoların resmi tahminlerden daha düşük elektrik enerjisi talebi tahminleri verdiğini belirlemiştir.

Türkiye'nin aylık elektrik talebini 2015-2018 dönemi için dört farklı Yapay Sinir Ağları (YSA) ile öngörüsünü gerçekleştiren ve modelini mevsimsel ARIMA (SARIMA) ile karşılaştıran Hamzaçebi vd. (2017) en yüksek elektrik talebinin 2018 yılının Temmuz ayında 24.684 GWh, en düşük elektrik enerjisi talebinin ise 2018 yılının Nisan ayında 20.550 GWh olarak gerçekleşeceği bulgularına ulaşmıştır. Türkiye'nin 2005 ile 2020 döneminde birincil enerji talebini tahmin etmek için ARIMA ve mevsimsel ARIMA (SARIMA) yöntemlerini kullanan Ediger ve Akar (2007:1706), enerji talebindeki azalmanın ekonomik büyümeyi yavaşlatacağı, fosil yakıtlar içinde petrolün yerini doğalgazın %41,2 oran ile alacağı sonuçlarına ulaşmışlardır.

Türkiye'nin 1970-2015 dönemi kömür, petrol, doğal gaz, yenilenebilir ve toplam enerji tüketimi verileri ile 2016-2040 yılları arasındaki tüketimini Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modeli kullanarak tahmin eden Öztürk ve Öztürk (2018:56), Türkiye'nin kömür, petrol, doğal gaz, yenilenebilir enerji ihtiyacının sürekli arttığını tespit etmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre yenilenebilir enerjinin %4,39 ortalama ile ve toplam enerji tüketiminin %4,20 ortalama ile arttığını; 2015'ten 2040'a yenilenebilir enerjinin %51, toplam enerji tüketiminin %180 oranında artacağı tahmin edilmiştir.

Türkiye'nin 2030 yılındaki enerji geleceğini muhafazakar ve proaktif senaryo olacak şekilde iki senaryo olarak inceleyen TENVA (2015)'e göre Türkiye'nin enerji talebinin 2030 yılında iki katına çıkacağı ve fosil yakıtların payının azalarak yenilenebilir ve nükleer enerjinin artacağı

tahmin edilmiştir. Enerji talebinin iki katına çıkacağı öngörüsü ile bu talebi karşılamak için yaklaşık mevcut miktar kadar yeni elektrik üretim kapasitesinin gerektiği ifade edilen TENVA (2015)'e göre hidroelektrik enerjinin toplam kurulu gücünün 36.000 MW olacağı, rüzgar enerjisinin 12.000 MW olacağı, güneş enerjisinin 3.500 MW olacağı ve jeotermal enerjinin 900 MW olacağı öngörülürken yenilenebilir enerjinin mevcut kurulu gücünün muazzam bir artış göstereceği ifade edilmiştir.

Türkiye'nin ekonomik büyümesine paralel olarak artan güç talebini karşılamasını hem çevresel sürdürülebilirliğin hem de daha temiz bir enerji karışımı ile sağlanıp sağlanamayacağını araştıran dünyanın en eski ve en önde gelen bağımsız doğa koruma organizasyonlarından olan Dünya Çapında Doğa Fonu (World Wide Fund for Nature), Bloomberg Yeni Enerji Finansmanı ve Avrupa İklim Vakfı ile yaptığı analizde 2030'a kadar Türkiye, enerji talebinin yaklaşık %50'sini çoğunluğu güneş, rüzgar ve hidroelektrik olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayabileceği sonucuna varmıştır. Raporu göre 5000 MW yeni hidroelektrik kapasitesinin 2022'den önce gerçekleşeceği ve gelecek on yılın geri kalanında hiçbir ekleme yapılmayacağı, dört nükleer reaktörden 2025 yılına kadar 4,8 GW kapasiteli bir tesisin devreye alınacağı, 2030 yılına kadar her yıl 800 MW rüzgar ve 650 MW güneş enerji kapasitesi ekleyeceği öngörülmüştür (WWF Turkey, 2014). Literatür taramasına göre elektrik tüketimi ya da enerji konusunda gelecek öngörüsü yapılan çalışmalar literatürde bulunmakta olup literatürde yenilenebilir enerji kaynaklarının ayrı ayrı gelecek öngörüsü yapılmadığı ve bu anlamda bir boşluk olduğu görülmektedir. Bununla birlikte çalışmada kullanılan ARIMA modelinin de literatürde sıklıkla kullanıldığı da görülmüştür.

3. VERİ, MODEL VE TEORİK ÇERÇEVE

Geçmişte olan deneyim ve gerçekleştirmeleri dayanak alarak geçmişin gerçekleştirmelerinin gelecekte de süreceği varsayımından hareketle geleceği görmeye veya tahmin etmeye önraporlama (forecasting) adı verilir. Önraporlama nicel ve nitel yöntemler olarak iki bölüme ayrılabilen olup nicel yöntemler ise basit projeksiyon, zaman serisi yöntemler ve nedensel yöntemler olarak ele alınabilmektedir (Sevüktekin, 2017:6). Zaman serisi yöntemlerinde basit düzgünleştirme, üstel düzgünleştirme, mevsimsel düzgünleştirme, zaman dizisi ayrışımı, uygulamalı filtreleme ve Box-Jenkins ARIMA yöntemleri bulunmaktadır. Bu makalede de Box-Jenkins ARIMA metodolojisi kullanılmıştır.

Makalede kullanılan yenilenebilir enerji verileri; hidrolik, jeotermal, rüzgar, biyokütle ve güneş enerjilerinin kurulu güç verileri 4982 sayılı Bilgi Edinme Hakkı Kanunu uygulaması ile TEİAŞ'ın Türkiye Aylık Kaynak Bazlı Toplam Kurulu Güç Değerleri tablosundan 2011 Ocak ayı ile 2020 Ocak ayı arasındaki 109 gözlemden oluşmakta olup, 2030 Ocak ayına kadar tahmin analizleri Eviews 9.0 programı ile gerçekleştirilmiştir. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma hedeflerinin 2030 yılı için belirlenmesi ve Türkiye'nin 30 Eylül 2015 tarihinde Paris Anlaşmasına sunduğu ve 2021-2030 dönemini içeren Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanında sera gazı azaltım, güneş, rüzgar ve hidrolik gibi yenilenebilir enerjiden elde edilecek elektrik üretimleri hedefleri olduğu için 2030 yılı kritik bir yıl olarak görüldüğünden makalede tahmin yılı olarak 2030 yılı seçilmiştir.

Makalenin bu bölümünde yenilenebilir enerjilerin ayrı ayrı kurulu güçlerinin 2030 yılı tahmini, Jacobson vd. (2018)'in çalışmasında olduğu gibi hem gelecek tahminlemesi yapılmış hem de JEDI modeli kullanılarak istihdam hesaplanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kurulu güç tahmini Box-Jenkins ARIMA metodolojisi kullanılarak yapılmış olup 2030 yılı istihdam tahmini ise elektronik tablo tabanlı bir model olan JEDI modeli (İstihdam ve Ekonomik Kalkınma Etkisi) ile gerçekleştirilmiştir.

3.1. Box-Jenkins Metodolojisi

Zaman serisi verilerinin gelecek öngörüsü yapılmasında tek denklemlerli regresyon modelleri, çok denklemlerli regresyon modelleri, vektör otoregresif (VAR) modelleri ve entegre olmuş otoregresif hareketli ortalama ARIMA modelleri kullanılmakta olup ARIMA modeli aynı zamanda Box-Jenkins öngörü modelleri olarak da isimlendirilmektedir (Dikmen, 2009:313). Bu yöntem trend ve mevsimsel faktörler için iteratif bir süreç olan otoregresif bütünlük hareketli ortalama modeli olup George E. Box ve Gwilym M. Jenkins tarafından geliştirilmiştir (Sevüktekin, 2017:32). Box ve Jenkins'in "Time Series Analysis: Forecasting and Control" kitabının yayımlanması ile BJ metodolojisi ya da teknik adıyla ARIMA yöntemi yaygınlaşmış ve denklemlerli modellerinin kurulması ile değil de "bırakın da veriler konuşsun" felsefesiyle zaman serilerinin olasılık çözümlenmeleri vurgulanmıştır. ARIMA modellerinde zaman serisi kendi gecikmeli değerleri ve olasılıklı hata terimleriyle açıklanabilmekte olduğu için kuramsız modeller olarak da ifade edilmektedir (Gujarati ve Porter, 2018:774).

3.2. Otoregresif Modeller (AR)

Zaman serilerinin modellenmesi sürecinde bir ekonomik değişkenin gelecek değerlerinin önraporlanması yapılırken geçmiş değerlerindeki bilgi çok büyük önem taşımaktadır. Bu tarz bir ilişkiyi gösteren istatistiksel model otoregresif (Autoregressive) bir süreç olarak tanımlanabilmekte olup ortalama, varyans ve kovaryans hesaplanması analizin önemli adımlarındandır (Sevüktekin ve Çınar, 2017:148). Otoregresif yani ardışık bağımlı süreçte p'ninci dereceden sahip bir y_t serisi, p dönem geriye giden y_t değerlerinin ağırlıklı ortalaması ile bozucu terimin toplamına eşit olup (1) numaralı denklemdeki gibi yazılabilir.

$$y_t = m + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + u_t \quad (1)$$

(1) numaralı denklemde m, stokastik sürecin ortalaması ile ilgili bir sabit olup otoregresif süreç durağan ise ortalama zamandan bağımsız olarak sabit olur. Ortalama μ ile gösterilirse,

$$\begin{cases} E(y_t) = E(y_{t-1}) = E(y_{t-2}) = \dots = \mu \\ \mu = \alpha_1 \mu + \alpha_2 \mu + \dots + \alpha_p \mu + m \end{cases} \quad (2)$$

(2)'deki denklemler yazılırsa, (3) numaralı denklem elde edilir.

$$\mu = \frac{m}{1 - \alpha_1 - \alpha_2 - \dots - \alpha_p} \quad (3)$$

AR sürecinin durağan olabilmesi için ortalama sonlu olması gerekmektedir. Eğer durağan değilse seri başlangıç noktasından gittikçe artan bir trendle uzaklaşmış olur. Durağan olması için zorunlu ancak yeterli olmayan koşul $1 - \alpha_1 - \alpha_2 - \dots - \alpha_p$ ifadesinin 1'den küçük

olmasıdır (Kutlar, 2005:259). Herhangi bir AR(p) sürecinde PACF (Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu)'de büyük çıkışlar ile ACF (Otokorelasyon Fonksiyonu)'de geometrik bir azalma varsa, AR modelinin gecikme seviyesi olarak p gecikmede istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenebilmektedir (Bozkurt, 2013:54).

3.3. Hareketli Ortalama Modeller (MA)

Hareketli Ortalama (Moving Average) sürece q mertebesinde sahip olan modelde her gözlenen y_t , q değerine kadar gecikmesi olan hata terimlerinin ağırlıklı ortalamasından oluşmaktadır.

$$y_t = \mu + u_t - \theta_1 u_{t-1} - \theta_2 u_{t-2} - \dots - \theta_q u_{t-q} \quad (4)$$

(4) numaralı denklemde parametreler negatif veya pozitif olabilecek ve zaman serisi boyunca hata terimleri beyaz gürültü sürecini oluşturabileceklerdir. Yani hata terimlerinin kovaryansları sıfır olup normal dağılım, sıfır ortalama ve sabit varyans özelliklerine sahiptirler. Hareketli ortalamanın varyansı γ_0 ile ifade edilirse (5) denklemdeki sonuca ulaşılır.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Var}(y_t) = \gamma_0 = E(y_t - \mu)^2 \\ = E(u_1^2 + \theta_1^2 u_{t-1}^2 + \dots + \theta_q^2 u_{t-q}^2 - 2\theta_1 u_t u_{t-1} - \dots) \\ = \sigma_u^2 + \theta_1^2 \sigma_u^2 + \dots + \theta_q^2 \sigma_u^2 \\ = \sigma_u^2 (1 + \theta_1^2 + \theta_1^2 + \dots + \theta_q^2) \end{array} \right. \quad (5)$$

(5) numaralı denklemde hata terimlerin kovaryansları sıfır olduğu için kesişen terimler de sıfır olmuştur. Ayrıca herhangi bir t dönemindeki stokastik sürecin başlangıç noktasından sapmaması için y_t 'nin varyansı sonlu olduğu kabul edilmiştir. y_t serisi durağan olduğu durum için $\theta_1^2 + \theta_1^2 + \dots + \theta_q^2 < \infty$ olması gerekmektedir. Çünkü sonlu θ_i değerlerinin kareler toplamı da sonlu olacaktır (Kutlar, 2005:262). MA sürecinde PACF'de geometrik azalma ile ACF'de anlamlı çıkışların gözlemlenmesiyle q gecikme sayısı belirlenebilmektedir (Bozkurt, 2013:55).

3.4. Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama Modeli (ARIMA)

Literatürde sıkça zaman serisi analizinde tahmin yapma amacıyla kullanılan Box Jenkins metodolojisinde Otoregresif (AR), Hareketli Ortalamalar (MA) ve bu iki durumun birleşmesi ile oluşan ARMA sürecinden oluşan üç durum bulunmaktadır. Eğer seri durağan değilse ve fark almak gerekirse o zaman; I, bütünleşme derecesini göstermek üzere, ARMA süreci ARIMA sürecine dönüşmüş olur. Farkı alınmış ve durağanlaştırılmış otoregresif hareketli ortalama süreci ARIMA olarak tanımlanmaktadır (Bozkurt, 2013:53). Seri d. mertebeden durağanlaştırılması sonucunda serinin AR(p), I(d) ve MA(q) öğeleri bir araya getirilerek ARIMA(p,d,q) modeli oluşturulmaktadır. p, d ve q değerlerinin seçiminde tutumluluk (cimrilik) prensibine dayanan Box-Jenkins yöntemi uygulanmaktadır (Dikmen, 2009:315). Box-Jenkins yönteminde genel olarak modelin belirlenmesi, uygun modelin tahmin edilmesi, bulunan modelin yeterliliğinin sınanması ve gelecek tahmininin yapılması adımları takip edilmektedir. Uygun p,d,q değerlerinin bulunması ustalık gerektirmekle birlikte bilimden çok

sanat olup, yöntemde sürekli sınıma ve kalıntıların beyaz gürültü olup olmadığına bakma, uyuşma yoksa başa dönmeyi gerektiren yinelemeli bir süreçtir (Gujarati ve Porter, 2018:777).

ARIMA modelinde d'yi belirlemek için öncelikle serinin durağan olup olmadığı incelenir. Durağan değilse farkı alınıp durağan oluncaya kadar d kez tekrarlanır. d belirlendikten sonra p ile q değerlerinin belirlenmesi için ACF ve PACF değerleri hesaplanır. AR(p) sürecinde p gecikme sonrasında anlamlı kısmi otokorelasyon bulunmayıp ACF'nin kesilme noktası için $\pm 2/\sqrt{T}$ değeri ile karşılaştırılması gerekmektedir. MA(q) sürecinde q gecikme sonrasında anlamlı otokorelasyon bulunmayıp PACF'nin kesilme noktası için $\pm 2/\sqrt{T}$ değeri ile karşılaştırılması gerekmektedir (Sevüktekin ve Çınar, 2017:510).

Durağan olmayan zaman serisinin d sayısı kadar farkı alınıp, p ve q değerlerinin tespit edilmesinin ardından AR süreci için durağanlık şartı olan ve MA süreci için çevrilebilirlik şartı olan köklerin sınanması ve birim çember dışına düşüp düşmediğinin incelenmesi gerekmektedir. AR(p) sürecinde p tane kök olacağı ve bu köklerin toplamlarının bire eşitliği veya en az birinin mutlak değerce bire eşit olması durağanlık koşulunun zarar görmesi anlamına gelmekte olacağı için sağlıklı bir tahmin için çevrilebilirlik koşulları incelenmelidir (Bozkurt, 2013:58).

ARIMA modeli belirlemenin en önemli araçları otokorelasyon (ACF) ve kısmi otokorelasyon (PACF) fonksiyonlarıdır. ACF'nin tipik örüntüleri üstel azalma veya azalan sinüs şeklinde, q gecikmeleri boyunca sivrilikler veya üstel azalma şeklinde olurken PACF'nin tipik örüntüleri sırasıyla p gecikmesi boyunca sivrilikler veya üstel azalma şeklinde gerçekleşmektedir. Tahmin edilen serinin ACF ve PACF değerleri teorik karşılıklarına tam olarak uymasa da yakın değerlerde bulunması ve doğru yolu göstermesi açısından önem taşımaktadır. Bu aşamalardan farklı olarak ARIMA modelinde mevsimsel davranış gösteren veriler varsa mevsimsel etki giderildikten sonra hangi ARIMA modeli kullanılacağına karar verilmelidir (Gujarati ve Porter, 2018:781).

Tahmin değerlerinin gerçek değerleri ne derece iyi yakaladığının karşılaştırılması için kullanılan önemli kriterlerden birisi Theil Eşitsizlik Katsayısı (Theil Inequality Coefficient)'dir. P_i ile tahmin değerini, A_i ile gerçek değerini ve N gözlem sayısını göstermek üzere U Theil Katsayısı (6) numaralı denklem ile gösterilmektedir.

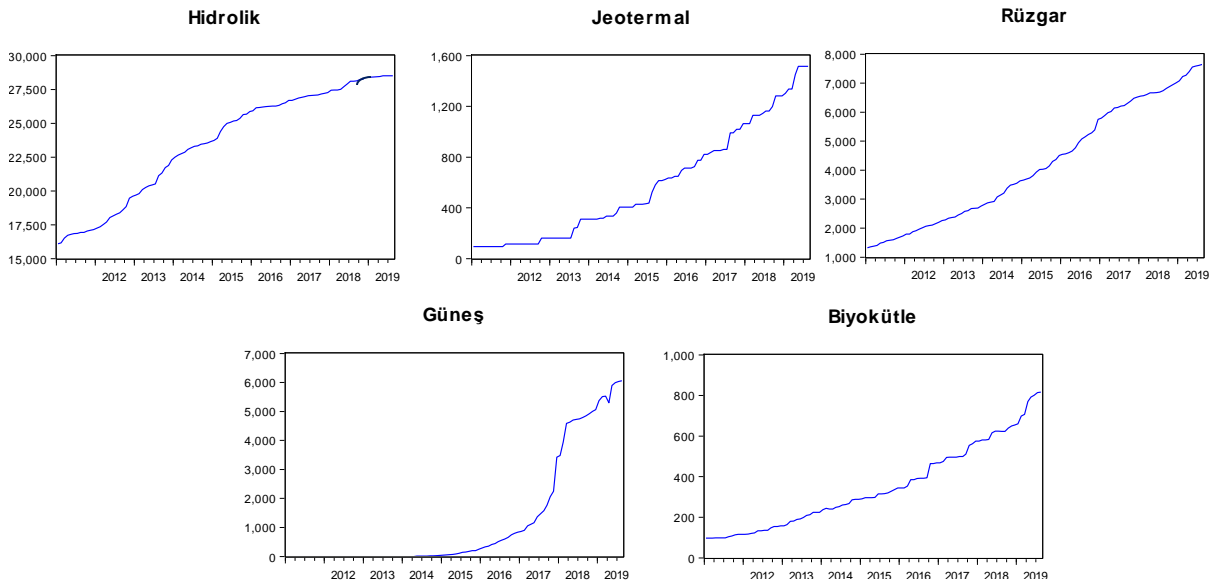
$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - A_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i)^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i)^2}} \quad (6)$$

U Theil katsayısının değeri 0 ile 1 arası değer almakta olup eğer U değeri 0'a yakın ise gerçek değer ile tahmin değerleri arasında yüksek bir uyum olduğu, U değeri 1'e yakın ise modelin tahmin başarısının iyi olmadığı sonucuna varılmaktadır (Altan ve Ediz, 2009:86). Bu kısma kadar teorik çerçevesi çizilen ARIMA modeli ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç ve istihdam verilerinin 2030 yılı tahmini gerçekleştirilmiş ve hesaplamaları yapılmıştır.

4. AMPİRİK YÖNTEM VE BULGULAR

Makalenin bu bölümünde yenilenebilir enerji kaynaklarının MW cinsinden aylık kurulu güç verileri ayrı ayrı; hidrolik, jeotermal, rüzgar ve biyokütle enerjisinin 2011M01-2020M01 arasındaki 109 gözlemi ve güneş enerjisinin 2014M06-2020M01 arasındaki 44 gözleminde yararlanılarak 2020M01-2030M01 dönemindeki kurulu gücü (1),(2),(3),(4) ve (5) numaralı denklemlerde ifade edilen ARIMA modeli ile tahmin edilmiştir. Hidrolik, jeotermal, rüzgar, biyoyakıt ve güneş enerjilerinin 2011M01-2019M08 döneminin kurulu güçlerine ait düzey grafikleri Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1. Kurulu Güç Değişkenlerine Ait Düzey Grafikleri (MW)



Şekil 1'e göre 2011 yılında hidroelektrik enerjinin kurulu gücünün 16.000 MW seviyesinde iken 2020 yılında 28.500 MW seviyesine çıktığı, 2011 yılında jeotermal enerjinin kurulu gücünün 94 MW seviyesinde iken 2020 yılında 1.510 MW seviyesine çıktığı, 2011 yılında rüzgar enerjinin kurulu gücünün 1.320 MW seviyesinde iken 2020 yılında 7.600 MW seviyesine çıktığı ve 2011 yılında biyokütle enerjinin kurulu gücünün 97 MW seviyesinde iken 2020 yılında 810 MW seviyesine çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisi kurulu gücü ilk kez 2014 yılında başlamış ve büyük bir artış ile 2020 yılına gelindiğinde 6030 MW seviyesine kadar çıkmıştır. Serilerde zaman içerisinde genel bir artış eğilimi ve stokastik bir trendin olduğu ve durağan olmayan bir yapıda olduğu gözlemlendiği için serilerin farkı alınmıştır.

ARIMA tahmin sürecinde ilgili zaman serilerinin durağan olup olmadığı, seri durağan değilse durağan oluncaya kadar d kez farkının alınıp d sayısının tespit edilmesi ve Box-Jenkins metodolojisindeki durağanlık koşulunun sağlanması gerekmektedir. Dolayısı ile serilerin durağan olup olmadıklarının tespit edilmesi amacıyla serilere Augmented Dickey Fuller (ADF) ve Phillips ve Perron (PP) birim kök testleri düzeyde ve birinci farklarında uygulanmış, düzeyde durağan ise I(0), düzeyde durağan değil ve birinci farklarında durağan ise I(1) olarak sonuçlar sunulmuştur.

Tablo 1. Kurulu Güç Değişkenleri İçin ADF ve PP Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	ADF Birim Kök Testi Sonuçları				PP Birim Kök Testi Sonuçları				
	Düzy		Birinci Farklar		Düzy		Birinci Farklar		Sonu
	t-ist.	Olasılı	t-ist.	Olasılı	t-ist.	Olasılı	t-ist.	Olasılı	
Hidrolik	0.506(0)	0.996	-	0,000	0.02	0.995	-6.92	0,000	I(1)
Jeotermal	2.09 (0)	0.999	-9.9	0.000	-1.98	0.606	-11.1	0,000	I(1)
Rüzgar	-1.3 (0)	0,868	-8.4	0,000	-1.35	0,866	-8.42	0,000	I(1)
Güneş	-0.0 (9)	0.992	-9.3	0,000	3.60	0.999	-6.82	0,000	I(1)
Biyokütle	-1.4 (0)	0.825	-9.4	0,000	-1.0	0.932	-13.0	0,000	I(1)

Not: ADF testi için parantez içindeki gecikme uzunlukları Schwarz Bilgi Kriterine göre belirlenmiş olup, kritik değerler MacKinnon'dan (1996) alınmıştır. Maksimum gecikme uzunluğu 12 olarak alınmıştır.

Augmented Dickey Fuller (ADF) ve Phillips Perron (PP) birim kök testlerine göre, hidrolik, jeotermal, rüzgar, güneş ve biyokütle kurulu güç verilerinin hiç birisi düzeyde durağan değildir. Ancak serilerin birinci farkları alındığında durağan olduğu görülmektedir. Bu nedenle ARIMA modelde durağanlık seviyelerinin tüm değişkenler için $d=1$ olduğu ve ARIMA(p,1q) şeklinde olduğu görülmüştür. Bundan sonraki aşamada her bir seri için ayrı ayrı Box-Jenkins metodolojisi takip edilmiş olup her bir yenilenebilir enerji türü için sırasıyla jeotermal, rüzgar, biyokütle, hidrolik ve güneş enerjilerine ait ARIMA modelleri belirlenmiş ve tahminleri gerçekleştirilmiştir.

Mevcut jeotermal, hidrolik, rüzgar, güneş ve biyokütle enerjilerinden elektrik üretiminin 2030 yılına kadarki dönemin tahmini için model seçiminde bilgi kriterlerine bakılarak tespit edilmiştir. Bilgi kriterlerine göre her bir değişken için en iyi 20 model arasından en uygun olan model seçilmiş ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Tüm Yenilenebilir Enerji Değişkenleri İçin Bilgi Kriterleri Yardımıyla ARIMA Model Tespiti

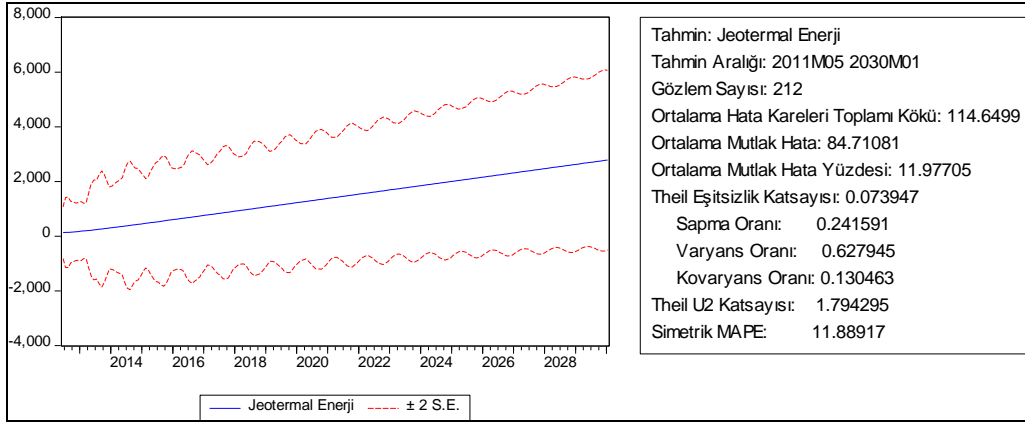
Değişkenler	Model	LogL	Akaike Bilgi Kriteri (AIC)	Bayes Bilgi Kriteri (BIC)	Hannan-Quinn Kriteri
Jeotermal	(3,3)(0,0)	-471.463651	4.261899	4.383360	4.310921
Rüzgar	(1,1)(0,0)	279.275146	-2.404150	-2.344172	-2.379953
Biyokütle	(2,2)(0,0)	232.698658	-2.024095	-1.932712	-1.987208
Hidrolik	(1,2)(0,0)	-1515.909854	13.283055	13.358028	13.313301
Güneş	(1,0)(0,0)	54.677495	-0.539122	-0.470262	-0.511223

20 model içinden en küçük Akaike bilgi kriteri, Bayes bilgi kriteri ve Hannan-Quinn kriterlerine göre 1.farklarında jeotermal için AR(3) MA(3) modeli, yani en uygun ARIMA modeli ARIMA(3,1,3) olarak; rüzgar için AR(1) MA(1) modeli, yani ARIMA(1,1,1) olarak; biyokütle için AR(2) MA(2) modeli, yani ARIMA(2,1,2) olarak; hidrolik için AR(1) MA(2) modeli, yani ARIMA(1,1,2) olarak ve güneş enerjisi için AR(1) MA(0) modeli, yani ARIMA(1,1,0) olarak tespit edilmiştir. Kurulan ARIMA modeline göre tahmin sonuçlarının katsayıları, standart sapma ve olasılık değerlerinin anlamlı olduğu ve hata terimlerinin beyaz gürültü özelliği göstermesi nedeniyle modelin uygun olduğu tespit edilmiş ve tahmin etme işlemine geçilmiştir.

4.1. Jeotermal Modeli Tahmin Sonuçları

Jeotermal enerji için en uygun ARIMA modeli ARIMA(3,1,3)'e göre kurulan modele göre jeotermal enerjinin kurulu gücünün 2030 yılı tahmin sonuçları Şekil 2'de sunulmuştur.

Şekil 2. Jeotermal Enerjinin 2030 Kurulu Güç Tahmini (MW)



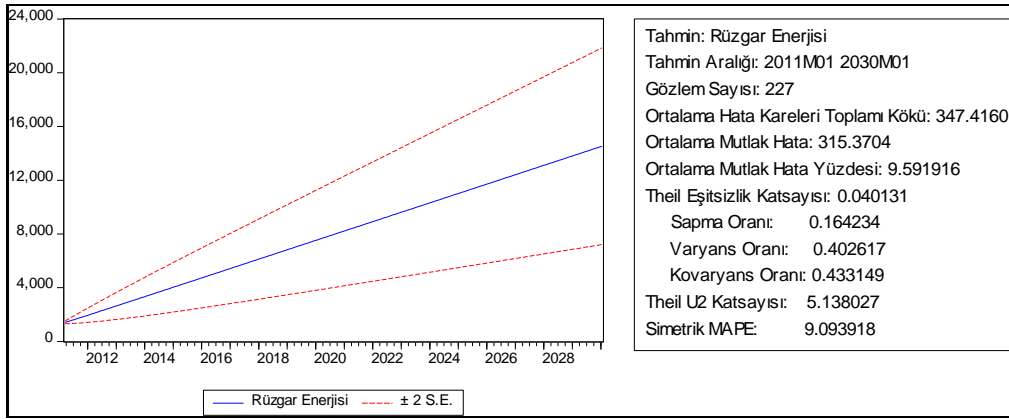
Jeotermal enerjinin kurulu güç kapasitesinin tahmin sonuçlarına göre 2030 Ocak ayında 3.055 MW kurulu güce ulaşacağı beklenmektedir. Ayrıca modelin tahmini ile gerçekleşen durum arasındaki fark için Theil Eşitsizlik Katsayısına bakılıp değer 0'a yakın olması durumunda modelin tahmini ile gerçekleşen arasında güçlü ve yakın bir ilişki olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Modelin tahmin sonucunda Theil Eşitsizlik Katsayısı 0,073947 çıktığı için gerçekleşen değer ile ARIMA(3,1,3) modelinin tahmini arasında güçlü bir ilişki bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Türkiye'de jeotermal kurulu güç kapasitesi ARIMA (3,1,3) modeli ile 2030 yılının Ocak ayında 3.055 MW olarak tahmin edilmiş ve JEDI modeline göre Türkiye'de jeotermal santrallerin kurulum sürecinde 18.025 doğrudan, 11.059 dolaylı ve 4.827 uyarılmış istihdam olmak üzere toplam 33.911 istihdam yaratılacağı tahmin sonuçlarına ulaşılmıştır. Jeotermal tesislerin işletilmesi sürecinde ise 1.161 doğrudan, 489 dolaylı ve 428 uyarılmış olmak üzere 2.078 istihdam yaratılacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla Türkiye'de 2030 yılında jeotermal santrallerin kurulumu sırasında ve işletme sürecinde 35.989 tam zamanlı istihdam sağlanacağı tahmin edilmiştir.

4.2. Rüzgar Modeli Tahmin Sonuçları

Yenilenebilir, çevre dostu, enerji üretiminde herhangi bir gaz salımı olmayan ve sınırsız bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisinin Avrupa Birliğindeki kapasite senaryolarını her iki yılda bir 2030'a güncelleyerek raporlayan ve bu sayede en son pazar ve politika gelişmelerini yansıtan WindEurope (2017) raporuna göre Avrupa Birliğinde 2030 yılında 323 GW toplam rüzgar enerjisi kapasitesi ile AB'nin güç talebinin %30'una eşdeğer 888 TWh elektrik üreteceği ve 569.000 kişiye istihdam sağlayacağı öngörülmüştür. Ayrıca Türkiye'nin 2030 yılındaki rüzgar enerjisi kurulu gücünün düşük senaryoya göre 16.000 MW olacağı, orta senaryoya göre 24.000 MW olacağı ve yüksek senaryoya göre 28.000 MW olacağı bulgularına ulaşılmıştır. Türkiye'de rüzgar enerjisinden elektrik üretimi için en uygun ARIMA modeli ARIMA(1,1,1)'e göre kurulan modele göre rüzgar enerjinin kurulu gücünün 2030 yılı tahmin sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3. Rüzgar Enerjisinin 2030 Kurulu Güç Tahmini (MW)



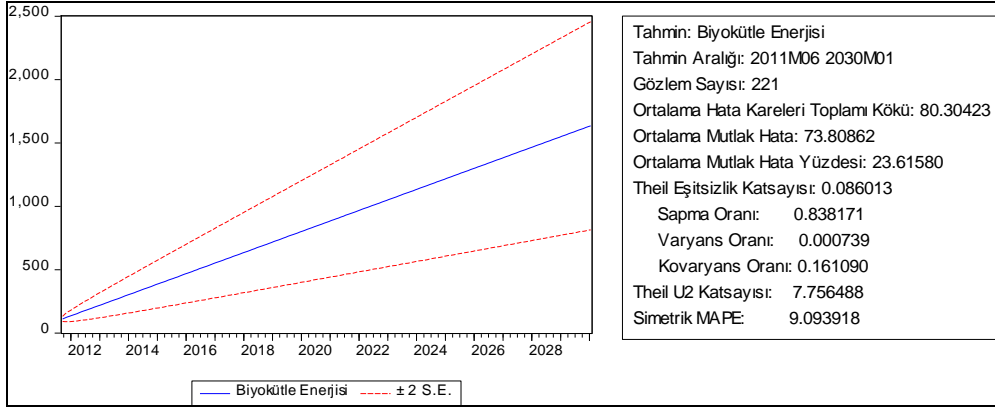
Rüzgar enerjinin kurulu güç kapasitesinin tahmin sonuçlarına göre 2030 Ocak ayında 14.531 MW kurulu güce ulaşacağı öngörülmüştür. Ayrıca modelin tahmini ile gerçekleşen durum arasındaki fark için Theil Eşitsizlik Katsayısına bakılıp değerın 0'a yakın olması durumunda modelin tahmini ile gerçekleşen arasında güçlü ve yakın bir ilişki olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Modelin tahmin sonucunda Theil Eşitsizlik Katsayısı 0,040131 çıktığı için gerçekleşen değer ile ARIMA(1,1,1) modelinin tahmini arasında güçlü bir ilişki bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Türkiye'de rüzgar enerjisi kurulu güç kapasitesi ARIMA (1,1,1) modeli ile 2030 yılının Ocak ayında 14.531 MW olarak tahmin edilmiş ve JEDI modeline göre Türkiye'de rüzgar santrallerin kurulum sürecinde 80.502 doğrudan, 136.010 dolaylı ve 78.758 uyarılmış istihdam olmak üzere toplam 295.270 istihdam yaratılacağı tahmin edilmiştir. Rüzgar tesislerin işletilmesi sürecinde ise 872 doğrudan, 3.487 dolaylı ve 1.453 uyarılmış olmak üzere 5.812 istihdam yaratılacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla Türkiye'de 2030 yılında rüzgar santrallerin kurulumu sırasında ve işletme sürecinde 301.082 tam zamanlı istihdam sağlanacağı tahmin edilmiştir.

4.3. Biyokütle Modeli Tahmin Sonuçları

Çevre kirliliğine sebep olmayan, sera etkisi oluşturmayan, yerel üretimi artıran, sürekli ve depolanabilir bir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisinden elektrik üretiminin 2030 yılına kadarki dönemin tahmini için uygun bir ARIMA model tespit edilmesi tahminin ilk adımdır. Biyokütle enerjisi için en uygun ARIMA modeli ARIMA(2,1,2)'ye göre kurulan modele göre biyokütle enerjisinin kurulu gücünün 2030 yılı tahmin sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4. Biyokütle Enerjisinin 2030 Kurulu Güç Tahmini (MW)

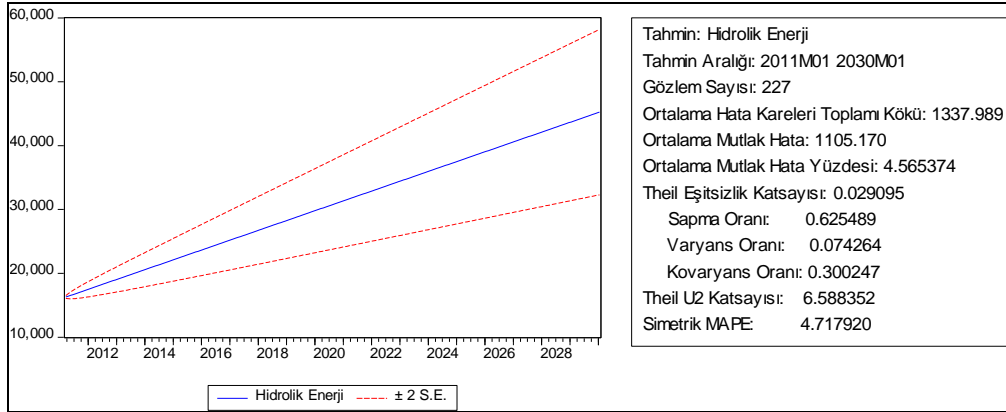


Biyokütle enerjisinin kurulu güç kapasitesi tahmin sonuçlarına göre 2030 Ocak ayında 1.635 MW kurulu güce ulaşacağı beklenmektedir. Ayrıca modelin tahmini ile gerçekleşen durum arasındaki fark için Theil Eşitsizlik Katsayısına bakılıp değerin 0'a yakın olması durumunda modelin tahmini ile gerçekleşen arasında güçlü ve yakın bir ilişki olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Modelin tahmin sonucunda Theil Eşitsizlik Katsayısı 0,086013 çıktığı için gerçekleşen değer ile ARIMA (2,1,2) modelinin tahmini arasında güçlü bir ilişki bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Türkiye'de biyokütle enerjisi kurulu güç kapasitesi ARIMA (2,1,2) modeli ile 2030 yılının Ocak ayında 1.635 MW olarak tahmin edilmiş ve JEDI modeline göre Türkiye'de biyokütle santrallerin kurulum sürecinde 5.232 doğrudan, 1.733 dolaylı ve 1.737 uyarılmış istihdam olmak üzere toplam 8.698 istihdam yaratılacağı tahmin edilmiştir. Biyokütle tesislerin işletilmesi sürecinde ise 818 doğrudan, 3.041 dolaylı ve 1.145 uyarılmış olmak üzere 5.004 istihdam yaratılacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla Türkiye'de 2030 yılında jeotermal santrallerin kurulumu sırasında ve işletme sürecinde 13.072 tam zamanlı istihdam sağlanacağı tahmin edilmiştir.

4.4. Hidrolik Modeli Tahmin Sonuçları

Su gücünden enerji elde edilmesini sağlayan hidrolik enerjisinden elektrik üretiminin 2030 yılına kadarki döneminin tahmin edilmesi için bilgi kriterlerine bakılarak model seçimi yapılmıştır. Hidrolik enerji için en uygun ARIMA modeli ARIMA(1,1,2)'ye göre kurulan modele göre rüzgar enerjisinin kurulu gücünün 2030 yılı tahmin sonuçları Şekil 5'te sunulmuştur.

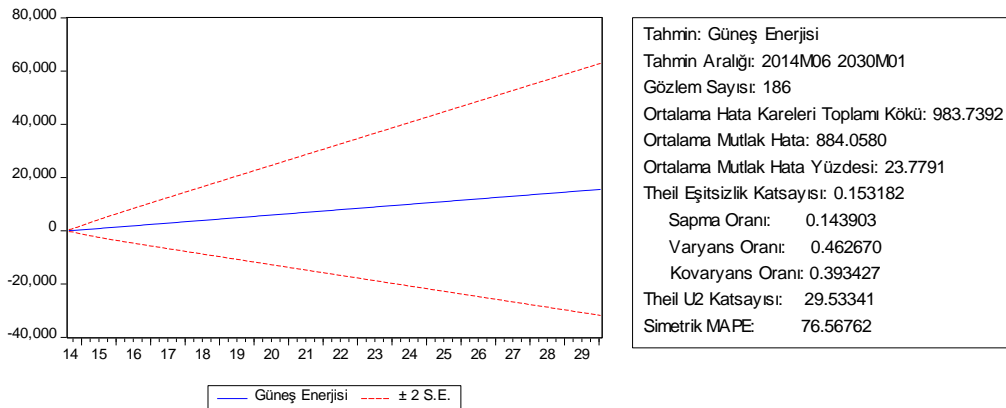
Şekil 5. Hidrolik Enerjinin 2030 Kurulu Güç Tahmini (MW)

Hidrolik enerjinin kurulu güç kapasitesinin tahmin sonuçlarına göre 2030 Ocak ayında 45.250 MW kurulu güce ulaşacağı öngörülmektedir. Ayrıca modelin tahmini ile gerçekleşen durum arasındaki fark için Theil Eşitsizlik Katsayısına bakılıp değerın 0'a yakın olması durumunda modelin tahmini ile gerçekleşen arasında güçlü ve yakın bir ilişki olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Modelin tahmin sonucunda Theil Eşitsizlik Katsayısı 0,029095 çıktığı için gerçekleşen değer ile ARIMA (1,1,2) modelinin tahmini arasında güçlü bir ilişki bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Türkiye'de hidrolik enerjisi kurulu güç kapasitesi ARIMA (1,1,2) modeli ile 2030 yılının Ocak ayında 45.250 MW olarak tahmin edilmiş ve JEDI modeline göre Türkiye'de hidrolik santrallerin kurulum sürecinde 794.590 doğrudan, 123.985 dolaylı ve 146.610 uyarılmış istihdam olmak üzere toplam 1.065.185 istihdam yaratılacağı tahmin edilmiştir. Hidrolik tesislerin işletilmesi sürecinde ise 6.335 doğrudan, 8.145 dolaylı ve 1.810 uyarılmış olmak üzere 16.290 istihdam yaratılacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla Türkiye'de 2030 yılında jeotermal santrallerin kurulumu sırasında ve işletme sürecinde 1.081.475 tam zamanlı istihdam sağlanacağı tahmin edilmiştir.

4.5. Güneş Modeli Tahmin Sonuçları

Güneş enerjisi için en uygun ARIMA modeli ARIMA (1,1,0)'a göre kurulan modele göre güneş enerjisinin kurulu gücünün 2030 yılı tahmin sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6. Güneş Enerjisinin 2030 Kurulu Güç Tahmini (MW)

Güneş enerjisinin kurulu güç kapasitesinin tahmin sonuçlarına göre 2030 Ocak ayında 15.559 MW kurulu güce ulaşacağı beklenmektedir. Ayrıca modelin tahmini ile gerçekleşen durum arasındaki fark için Theil Eşitsizlik Katsayısına bakılıp değerın 0'a yakın olması durumunda modelin tahmini ile gerçekleşen arasında güçlü ve yakın bir ilişki olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Modelin tahmin sonucunda Theil Eşitsizlik Katsayısı 0,153182 çıktığı için gerçekleşen değer ile ARIMA (1,1,0) modelinin tahmini arasında yakın bir ilişki bulunduğu sonucu elde edilmiştir.

Türkiye'de güneş enerjisi kurulu güç kapasitesi ARIMA (1,1,0) modeli ile 2030 yılının Ocak ayında 15.559 MW olarak tahmin edilmiş ve JEDI modeline göre Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinin kurulum sürecinde 169.904 doğrudan, 138.786 dolaylı ve 92.732 uyarılmış istihdam olmak üzere toplam 401.422 istihdam yaratılacağı tahmin edilmiştir. Güneş enerjisi tesislerin işletilmesi sürecinde ise 9.957 doğrudan, 6.846 dolaylı ve 3.112 uyarılmış olmak üzere 19.915 istihdam yaratılacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla Türkiye'de 2030 yılında jeotermal santrallerin kurulumu sırasında ve işletme sürecinde 421.337 tam zamanlı istihdam sağlanacağı tahmin edilmiştir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal, hidrolik, biyokütle, rüzgar ve güneş enerjisinin 2011-2020 dönemi arasındaki aylık kurulu güç verilerinden yararlanılarak 2030 yılındaki kurulu güç değerleri her bir yenilenebilir enerji türü için ayrı bir ARIMA modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Tahmin sonuçları Tablo 3'deki gibidir.

Tablo 3. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kurulu Güç Değerlerinin 2020-2030 Yılları Arası Tahmini (MW)

YILLAR	JEOTERMAL	BİYOKÜTLE	HİDROLİK	RÜZGAR	GÜNEŞ
	Kurulu Güç	Kurulu Güç	Kurulu Güç	Kurulu	Kurulu
2020 Ocak*	1.514,69	805,09	28.508,06	7.609,34	6.032,07
2021 Ocak**	1.609,85	887,60	31.406,30	8.248,12	6.465,87
2022 Ocak	1.770,23	970,66	32.944,53	8.946,25	7.476,23
2023 Ocak	1.930,72	1.053,72	34.482,76	9.644,39	8.486,59
2024 Ocak	2.091,28	1.136,77	36.021,00	10.342,52	9.496,95
2025 Ocak	2.251,90	1.219,82	37.559,23	11.040,65	10.507,31
2026 Ocak	2.412,54	1.302,88	39.097,46	11.738,79	11.517,67
2027 Ocak	2.573,21	1.385,94	40.635,70	12.436,92	12.528,03
2028 Ocak	2.733,87	1.469,00	42.173,93	13.135,06	13.538,39
2029 Ocak	2.894,52	1.552,07	43.712,16	13.833,19	14.548,75
2030 Ocak	3.055,15	1.635,15	45.250,40	14.531,32	15.559,10

* 2020 Ocak ayı gerçekleşen verileri EPDK'nın 2020 Yılı Elektrik Piyasası Ocak Ayı Sektör Raporu'ndan lisanslı ve lisanssız toplam kurulu güç verilerinden oluşmaktadır.

** Tahminler aylık olarak gerçekleştirilmiş olup tabloda her yılın ocak ayı tahminlerine yer verilmiştir.

Türkiye'de 2030 yılı Ocak ayında jeotermal enerjinin 3.055,15 MW, biyokütle enerjisinin 1.635,15 MW, hidrolik enerjisinin 45.250,4 MW, rüzgar enerjisinin 14.531,32 MW ve güneş enerjisinin ise 15.559,10 MW kurulu kapasiteye sahip olacağı tahmin edilmiştir. Ayrıca 2020 yılında rüzgar enerjisi kurulu gücü güneş enerjisi kurulu gücünden fazla olmasına rağmen 2030 yılına gelindiğinde güneş enerjisi kurulu gücünün rüzgar enerjisini geçtiği görülmektedir. Bunun yanı sıra tüm yenilenebilir enerji türlerinin kurulu güçlerinin Öztürk ve Öztürk (2018)'in bulgularına paralel olacak şekilde zamanla artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Türkiye'nin yenilenebilir enerji tahmin sonuçları ile literatürdeki çalışmalar ve resmi projeksiyon sonuçları karşılaştırılmıştır. TEİAŞ (2018) raporuna göre 2022 yılında jeotermal enerjisi kurulu gücü 1.236 MW olarak tahmin edilirken bu çalışmada 1.770 MW olarak tahmin edilmiştir. Aynı raporda biyokütle enerjisi kurulu gücü 775 MW olarak tahmin edilirken bu çalışmada 970,6 MW; hidrolik enerjisi kurulu gücü 32.323,8 MW olarak tahmin edilirken bu çalışmada 32.944,53 MW; rüzgar enerjisi kurulu gücü 10.448,2 MW olarak tahmin edilirken bu çalışmada 8.946,25 MW ve son olarak güneş enerjisi kurulu gücü 8.920,7 MW olarak tahmin edilirken bu çalışmada 7.476,23 MW olarak tahmin edilmiştir.

2030 yılında hidroelektrik enerjinin toplam kurulu gücünün 36.000 MW olacağını tahmin eden TENVA (2015)'e karşın bu çalışmada 45.250,4 MW olacağı, rüzgar enerjisinin 12.000 MW olacağı tahminine karşın bu çalışmada 14.531,2 MW olacağı, güneş enerjisinin 3500 MW olacağı tahminine karşın 15.559,10 MW olacağı ve jeotermal enerjinin 900 MW olacağı tahminine karşın bu çalışmada 3.055,15 MW olacağı öngörülmüştür.

Türkiye'nin kurulu güç kapasitesinde 2030 yılına kadar her yıl rüzgar enerjisi için 800 MW ve güneş enerjisi için 650 MW kapasitesi ekleyeceği öngörüsünde bulunan WWF Turkey (2014:11)'nin öngörüsüne yakın olacak şekilde bu çalışmada rüzgar enerjisi için ortalama 700 MW ve güneş enerjisi için 1000 MW kapasite eklemesi sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca aynı WWF Turkey (2014:11) raporuna göre 2030 yılına kadar Türkiye'nin gücünün %47'sini yenilenebilir kaynaklardan üretebileceğini ve kurulu güneş enerjisini 24.000 MW, rüzgar enerjisinin 27.000 MW seviyesine çıkacağı öngörülmüştür. Bu çalışmada 2030 yılında toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü 80.031,12 MW olacağı ve TEİAŞ (2019b:3)'in aynı dönem için kurulu gücün 127.754 MW olarak gerçekleşeceği beklentisinden hareketle Türkiye'nin kurulu gücünün %62,64'ünün yenilenebilir kaynaklardan üretebileceği tahmin edilmiştir. Ayrıca 2030 yılında rüzgar enerjisinin 14.531,32 MW ve güneş enerjisinin ise 15.559,10 MW kurulu kapasiteye sahip olacağı öngörüsünde bulunulmuştur.

2030 yılındaki Türkiye'nin rüzgar enerjisi kurulu gücü tahminini gerçekleştiren WindEurope (2017) raporuna göre rüzgar enerjisi kurulu gücü düşük senaryoya göre 16.000 MW, orta senaryoya göre 24.000 MW ve yüksek senaryoya göre 28.000 MW olacağı öngörülerinde bulunulmuştur. Bu çalışmada ise 2030 yılında rüzgar enerjisi kurulu gücünün 14.531,32 MW olacağı tahmin edilirken rapordaki düşük senaryoya yakın değerini gerçekleştirdiği görülmektedir.

Türkiye'nin 2030 yılındaki enerji karışımında yenilenebilir enerji kaynaklarının yüzdesel olarak karşılığını; hidrolik %21,2, güneş yüzde 10,1, rüzgar %23,3 ve diğer yenilenebilir enerjiyi %1,2 olarak tahmin eden Demircan (2013)'in tahminine karşılık gelen kapasite

miktarları, TEİAŞ (2019b)'in aynı dönem için 127.754 MW olarak gerçekleşeceği tahmininden hareketle, hidrolik 27.083 MW, güneş enerjisi 12.903 MW, rüzgar enerjisi 29.766 MW ve diğer yenilenebilir enerji 1533 MW olarak gerçekleşmiştir. Bu çalışmada ise hidrolik 45.250,40 MW, güneş enerjisi 15.559,10 MW, rüzgar enerjisi 14.531,32 MW ve diğer yenilenebilir enerji (jeotermal + biyokütle) 4690,30 MW olarak tahmin edilmiştir.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2019-2023 Stratejik Planına göre 2023 yılında güneş enerjisi kurulu gücünün 10.000 MW, rüzgar enerjisinin 11.883 MW, hidrolik enerjisinin 32.037 MW ve jeotermal ile biyokütle enerjisi toplam kurulu gücünün 2.884 MW seviyesinde olacağı hedeflenmiştir. Bu çalışmada ise aynı dönemde güneş enerjisi kurulu gücünün 8486,59 MW, rüzgar enerjisinin 9644,39 MW, hidrolik enerjisinin 34482,76 MW ve jeotermal ile biyokütle enerjisi toplam kurulu gücünün 2.984,44 MW seviyesinde olacağı tahmin edilerek hedefler ile tahmin sonuçları arasında paralellik bulunduğu gözlenmiştir.

Türkiye'de 2030 yılında kurulu güç kapasiteleri tahmin edilen yenilenebilir enerji türlerinin JEDI modeline göre yaratabilecekleri istihdam sayıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Türkiye'de 2030 Yılında Yenilenebilir Enerji Türlerinin JEDI Modeline Göre İstihdamının Özet Gösterimi

Süreçler	İstihdam	Jeoterma	Rüzgar	Biyokütle	Hidrolik	Güneş
Malzeme	Doğrudan	18.025	80.502	5.232	794.590	169.904
Üretimi ve	Dolaylı	11.059	136.01	1.733	123.985	138.786
İnşaat/Kurulum	Uyarılmış	4.827	78.758	1.733	146.610	92.732
Tesisin	Doğrudan	1.161	872	818	6.335	9.957
İşletilmesi	Dolaylı	489	3.487	3.041	8.145	6.846
Süreci (Yıllık)	Uyarılmış	428	1.453	1.145	1.810	3.112
Toplam		35.989	301.08	13.072	1.081.47	421.337

Türkiye'de 2030 yılında yenilenebilir enerji santralleri içinde en çok istihdam yaratacağı tahmin edilen enerji türü 1.081.475 kişilik istihdam ile Hidrolik enerji olmuştur. İkinci sırada 421.337 istihdam ile güneş enerjisi, üçüncü sırada ise 301.082 istihdam ile rüzgar enerjisi gelmektedir. En az istihdam yaratacağı tahmin edilen enerji türlerinden jeotermal enerji 35.989 istihdam ve biyokütle enerjisi 13.072 istihdam yaratmışlardır. Dolayısı ile 2030 yılında Türkiye'de hidrolik dahil yenilenebilir enerjinin 1.852.955 istihdam yaratacağı, hidrolik hariç 771.480 istihdam yaratacağı tahmin edilmiştir.

Kyoto Protokolü'nün 2020 yılında sona ermesinin ardından toplanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Taraflar Konferansı (COP21)'de Paris Anlaşmasına Türkiye taraf olmamakla birlikte Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanını sunmuştur. Bu beyanda 2021-2030 döneminde sera gazı emisyonlarını %21 oranında azaltacağı gibi beyanların yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edecek kredi, vergi azaltımı gibi kanalların geliştirilmesi, hidrolik enerji kapasitesinin tamamının kullanılması, 2030 yılında güneş enerjisinden elektrik

üretimini 10.000 MW kapasiteye ve rüzgar enerjisinden elektrik üretimini 16.000 MW kapasiteye çıkacağı beyanları bulunmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışmada 2030 yılında hidrolik enerjisinin 45.250,4 MW kapasiteye, rüzgar enerjisinin 14.531,32 MW kapasiteye ve güneş enerjisinin ise 15.559,10 MW kurulu kapasiteye sahip olacağı tahmin edildiğinden dolayı Türkiye'nin Niyet Edilen Ulusal Katkı Beyanında hidrolik enerji ve güneş enerjisi hedefine ulaşacağı ve rüzgar enerjisi hedefine de çok yaklaşacağı tespit edilmiştir. Paris Anlaşmasındaki hedeflere ulaşabilmesi için rüzgar enerjisi yatırımlarının biraz daha artırılması ve diğer yenilenebilir enerji türlerine desteğin sürdürülmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Altan, Ş. ve Ediz, A. (2009). Girdi Katsayılarının Güncellenmesi İçin RAS ve Hedef Programlama Modellerinin Kullanımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(3), 79-92.
- Akan, Y. ve Tak, S. (2003). Türkiye Elektrik Enerjisi Ekonometrik Talep Analizi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(1-2),21-49.
- Akay, D. ve Atak, M. (2007). Grey Prediction With Rolling Mechanism For Electricity Demand Forecasting of Turkey. *Energy*, 32(9), 1670-1675.
- Blazejczak, J., Braun, F. G., Edler, D., & Schill, W. P. (2014). Economic Effects of Renewable Energy Expansion: A Model-Based Analysis For Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 1070-1080.
- Bozkurt, H. Y. (2013). Zaman Serileri Analizi, Genişletilmiş 2. Baskı, *Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa*.
- Chen, J., Yu, J., Song, M. ve Valdmanis, V. (2019). Factor Decomposition and Prediction of Solar Energy Consumption in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1210-1220.
- Demircan, Z. (2013). "What Energy Mix For Turkey in 2030". T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 26 Mart 2013, Ankara, <http://events.ewea.org/events/workshops/wp-content/uploads/2013/03/EWEA-TUREB-Workshop-27-3-2013-Zafer-Demircan.pdf> (Erişim Tarihi, 25.04.2020).
- Dikmen, N. (2009). *Ekonometri Temel Kavramlar ve Uygulamalar* (1.baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Dumitru, C. D. ve Gligor, A. (2019). Wind Energy Forecasting: A Comparative Study Between A Stochastic Model (ARIMA) and a Model Based On Neural Network (FFANN). *Procedia Manufacturing*, 32, 410-417.
- Ediger, V. Ş. ve Akar, S. (2007). ARIMA Forecasting of Primary Energy Demand by Fuel in Turkey. *Energy policy*, 35(3), 1701-1708.

- EPDK (2019). “Elektrik Piyasası Sektör Raporu, Ocak 2020”, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- ETKB (2019). “Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu”, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,
<https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FE%2C4%B0GM%20Ana%20Rapor%2FT%2C3%BCrkiye%20Elektrik%20Enerjisi%20Talep%20Projeksiyonu%20Raporu.pdf> (Erişim Tarihi: 19.04.2020)
- Gujarati, D. N. ve Porter, D. C. (2018). Temel Ekonometri, 5.Basımdan Çeviri. (Çev. Ümit Şenesen, Gülay Günlük Şenesen). *İstanbul: Literatür*.
- Haiges, R., Wang, Y. D., Ghoshray, A. ve Roskilly, A. P. (2017). Forecasting Electricity Generation Capacity in Malaysia: An Auto Regressive Integrated Moving Average Approach. *Energy Procedia*, 105, 3471-3478.
- Hamzaçebi, C. (2007). Forecasting of Turkey's Net Electricity Energy Consumption On Sectoral Bases. *Energy Policy*, 35(3), 2009-2016.
- Hamzaçebi, C., Es, H. A. ve Çakmak, R. (2017). Forecasting of Turkey's Monthly Electricity Demand by Seasonal Artificial Neural Network. *Neural Computing and Applications*, 1-15.
- IRENA (2014). REmap 2030: A Renewable Energy Roadmap, June 2014. IRENA, Abu Dhabi.
- Jacobson, M. Z., Cameron, M. A., Hennessey, E. M., Petkov, I., Meyer, C. B., Gambhir, T. K., Maki, A. T., Pflieger, K., Clonts, H., McEvoy, A. L., Miccioli, M. L., Krauland, A.K.v., Fang, R.W., Delucchi, M. A. (2018). 100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight (WWS) All-sector Energy Roadmaps For 53 Towns and Cities in North America. *Sustainable Cities and Society*, 42, 22-37.
- Jamil, R. (2020). Hydroelectricity Consumption Forecast for Pakistan Using ARIMA Modeling and Supply-Demand Analysis for the Year 2030. *Renewable Energy*. 154, 1-10.
- Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M. İ. ve Özşahin, T. Ş. (2011). Modeling and Forecasting of Turkey's Energy Consumption Using Socio-economic and Demographic Variables. *Applied Energy*, 88(5), 1927-1939.
- Kankal, M. ve Uzlu, E. (2017). Neural Network Approach with Teaching–Learning-Based Optimization For Modeling And Forecasting Long-Term Electric Energy Demand in Turkey. *Neural Computing and Applications*, 28(1), 737-747.
- Kurucu, A. A. (2017). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Hesaplanması. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(1),1-22.
- Kutlar, A. (2005). Uygulamalı Ekonometri, Nobel Yayın Dağıtım, 2. Basım, Ankara.
- Li, S., Yang, X. ve Li, R. (2019). Forecasting Coal Consumption in India by 2030: Using Linear Modified Linear (MGM-ARIMA) and Linear Modified Nonlinear (BP-ARIMA) Combined Models. *Sustainability*, 11(3):695, 1-19.

- Mahmutoğlu, M. ve Öztürk, F. (2015). Türkiye Elektrik Tüketimi Öngürüsü ve Bu Kapsamda Geliştirilebilecek Politika Önerileri. In *EY International Congress on Economics II (EYC2015), November 5-6, 2015, Ankara, Turkey* (No. 239). Ekonomik Yaklaşım Association.
- Makas, Y. ve Karaatlı, M. (2016). Yapay Sinir Ağlarıyla Hidroelektrik Enerji Üretiminin Çok Dönemli Tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(3).
- Melikoglu, M. (2016). The Role of Renewables and Nuclear Energy in Turkey's Vision 2023 Energy Targets: Economic and Technical Scrutiny. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1-12.
- Melikoglu, M. ve Turkmen, B. (2019). Food Waste to Energy: Forecasting Turkey's Bioethanol Generation Potential From Wasted Crops and Cereals Till 2030. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 36, 100553.
- Oliveira, E. M. D. ve Oliveira, F. L. C. (2018). Forecasting Mid-long Term Electric Energy Consumption Through Bagging ARIMA and Exponential Smoothing Methods. *Energy*, 144, 776-788.
- Onat, N. (2018). Türkiye'de Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretimi: Mevcut Durum ve Gelecek Beklentileri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(1), 8-15.
- Özcan, M. (2016). Estimation of Turkey's GHG Emissions From Electricity Generation by Fuel Types. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 832-840.
- Öztürk, S. ve Öztürk, F. (2018). Forecasting Energy Consumption of Turkey by ARIMA Model. *Journal of Asian Scientific Research*, 8(2), 52-60.
- Räisänen, O., Haakana, J., Haapaniemi, J., Lassila, J. ve Partanen, J. (2019). Electricity Demand Forecasting 2030 by Decomposition Analysis of Open Data, 25th International Conference on Electricity Distribution, 3-6 June 2019, 1756, 1-5.
- Sevüktekin, M. (2017). "Önraporlama Geçmişe Bak Geleceği Öngör", 1.Baskı, Dora Basım Yayın, Bursa.
- Sevüktekin, M. ve Çınar, M. (2017). Ekonometrik Zaman Serileri Analizi, Eviews Uygulamalı, 5.Baskı. Bursa: Dora Yayınevi.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (Çevrimiçi). <https://iklim.csb.gov.tr/birlesmis-milletler-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-4362>, 30 Nisan 2020.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2018). "Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi". <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/yed-nc--ulusal-b-ld-r-m-20190909092640.pdf>, Erişim Tarihi: 31 Nisan 2020.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2019). "2019-2023 Stratejik Planı", http://www.sp.gov.tr/upload/xSPStratejikPlan/files/LBigi+ENERJI_VE_TABII_

- KAYNAKLAR_BAKANLIGI_2019-2023_STRATEJIK_PLANI.pdf, Erişim Tarihi: 05 Mayıs 2020.
- TEİAŞ (2018). “Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2018-2022)”, Türkiye Elektrik İletişim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Planlama ve Yatırım Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Mayıs 2018, 1-98.
- TEİAŞ (2019a). “10 Yıllık Talep Tahminleri Raporu 2019-2028”, Türkiye Elektrik İletişim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Planlama ve Yatırım Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Temmuz 2019.
- TEİAŞ (2019b). “5 ve 10 Yıllık (2024-2029) Bölgesel Bağlanabilir Kapasite Raporu”, Türkiye Elektrik İletişim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Planlama ve Yatırım Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Şubat 2019, 1-58.
- TENVA (2015). “2030'lara Doğru Türkiye'nin Enerji Görünümü”. Türkiye Enerji Vakfı, Ankara. <http://www.tenva.org/2030lara-dogru-turkiyenin-enerji-gorunumu/> (Erişim Tarihi 26.04.2020).
- Toksarı, M. D. (2007). Ant Colony Optimization Approach to Estimate Energy Demand of Turkey. *Energy Policy*, 35(8), 3984-3990.
- UEVEP (2018). “Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023”, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara. <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSayfalar%2fUlusal+Enerji+Verimlili%4%9fi+Eylem+Plan%4%b1.pdf> (Erişim Tarihi: 20.04.2020).
- UNDP (2016). “UNDP Support to the Implementation of the Sustainable Development Goals”, United Nations Development Programme, New York, USA.
- UNDP Türkiye (Çevrimiçi), <https://www.tr.undp.org/content/turkey/tr/home/sustainable-development-goals.html>, 1 Mayıs 2020.
- Uzlu, E., Akpınar, A., Öztürk, H. T., Nacar, S. ve Kankal, M. (2014). Estimates of Hydroelectric Generation Using Neural Networks with the Artificial Bee Colony Algorithm for Turkey. *Energy*, 69, 638-647.
- Yılmaz, E. A. ve Özçiç, H. C. (2018). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Gelecek Hedefleri. *ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD)*, 8(3), 525-535.
- Wang, Q., Li, S. ve Li, R. (2018). China's Dependency on Foreign Oil Will Exceed 80% by 2030: Developing a Novel NMGM-ARIMA to Forecast China's Foreign Oil Dependence from Two Dimensions. *Energy*, 163, 151-167.
- WindEurope (2017). “Wind Energy in Europe: Scenarios for 2030”, Brussels, Belgium. September 2017,1-32.

- WWF Turkey (2014). Turkey's Renewable Power: Alternative Power Supply Scenarios for Turkey.
http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/wwf_turkey___bnf___turkey_s_renewable_power___alternative_power_supply_scenarios_until_.pdf (Erişim Tarihi: 19.04.2020)
- Vo, V. C. (2019). Forecast on Electricity Demand for Industry and Construction Sectors in Vietnam by 2030. In *2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, IEEE, 501-505.
- Zhang, G. P. (2003). Time Series Forecasting Using a Hybrid ARIMA and Neural Network Model. *Neurocomputing*, 50, 159-175.