

Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerinde Rampa Olayları: Türkiye Örneği

İsrafil Karadöl^{1*}, Mustafa Şekkeli²

^{1*} Elektrik ve Enerji Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis, Türkiye

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

*¹ israfilkaradol@kilis.edu.tr, ² msekkeli@ksu.edu.tr

(Geliş/Received: 29/11/2021;

Kabul/Accepted: 17/01/2022)

Öz: Yenilenebilir enerji kaynaklarının tahmin edilemeyen üretim yapısından dolayı bu kaynakların geleneksel şebeke sistemlerine entegrasyonları, şebeke esnekliği ve güvenliği açısından birçok soruna neden olmaktadır. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim değişiminin yönünü, büyüklüğünü, zamanını ve frekansını öngörebilmek amacıyla Türkiye Nehir tipi Hidroelektrik santral (NHES) üretimlerinin rampa olayları incelenmiştir. Bu amaçla, ilk olarak Türkiye’de kurulu 483 adet NHES’in 2017 ve 2018 yıllarına ait reel üretimleri elde edilmiştir. Elde edilen verilerin aylık rampa olaylarını araştırmak için NHES üretimleri, Matlab ortamında kontrol edilerek aylık zaman dilimlerine bölünmüştür. Aylık NHES üretimlerinin 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki rampa olayları, üretim değişimlerinin histogram alanlarına göre incelenmiştir. 1 saatlik periyottaki NHES üretim rampalarının istatistiksel özelliklerini değerlendirdiğimizde maksimum ve minimum rampa olaylarının oluşum zamanlarının aylık periyotlarda tahmin edilemeyeceği sonucuna ulaşılmıştır. Fakat aynı zamansal periyottaki rampaların ortalamalarını ve standart sapmalarını incelediğimizde ise en fazla rampa olaylarının kış aylarında (Aralık, Ocak, Şubat) gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre rampaların büyüklüğüne, frekansına ve zamanına göre önlemler alınması durumunda yenilenebilir enerji kaynaklarının geleneksel şebeke sistemine entegrasyon sorunlarının en aza indirilebileceği öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Rampa Olayları, Yenilenebilir Enerji, Nehir Tipi Hidroelektrik Santralleri, Histogram Alan.

Ramp Events in River Type Hydroelectric Power Plants: The Case of Turkey

Abstract: Due to the unpredictable production structure of renewable energy resources, integrating these resources into traditional grid systems causes many grid flexibilities and security problems. In this study, ramp events of Turkey's river-type hydroelectric power plant (RHPP) generations were investigated to predict the direction, size, time and frequency of the generation change of renewable energy resources. For this purpose, firstly, the real production of 483 RHPP installed in Turkey for 2017 and 2018 was obtained. To investigate monthly ramp events of the data obtained, the RHPP productions were divided into monthly periods. RHPP productions were separated into monthly periods by the checkout in a Matlab environment to investigate the monthly ramp events of the obtained data. Ramp events of monthly RHPP generations in 1, 3, 6 and 9 hour periods were examined according to histogram areas of generation changes. When we evaluated the statistical properties of the RHPP generation ramps in the 1-hour period, it was concluded that the generation times of the maximum and minimum ramp events could not be predicted in monthly periods. However, when we examine the averages and standard deviations of the ramps in the same temporal period, it was precipitated that most ramp events occur in the winter months (December, January, February). According to the results obtained, it is predicted that the integration problems of renewable energy sources into the traditional grid system can be minimized if measures are taken according to the size, frequency and time of the ramps.

Keywords: Ramp Events, Renewable Energy, River Type Hydroelectric Power Plants, Histogram Field.

1. Giriş

Gelişen sanayi ve teknolojiyle beraber enerji talebi her geçen gün artmaktadır[1], [2]. Artan enerji talebinin geleneksel enerji kaynaklarından karşılanması küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi birçok soruna neden olmaktadır[3], [4]. Bu nedenlerle, devletler son yıllarda artan enerji talebini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaya yönelmişlerdir. 2010 yılında dünya genelindeki yenilenebilir enerji santrallerinin (YES) toplam kurulu gücü 1226,85 GW iken, 2020 yılında 2536,85 GW olmuştur[5]. 2012 ve sonrasındaki yıllarda dünya genelinde kurulan enerji santrallerinin %50’sini YES’ler oluşturmaktadır. Bu oran zamanla paralel olarak artış göstermiş ve 2020 yılında yeni kurulan tesislerin %83’ünü YES’ler oluşturmuştur[6].

* Sorumlu yazar: israfilkaradol@kilis.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: *¹ 0000-0002-9239-0565, ² 0000-0002-1641-3243

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları açısından gelişimini incelediğimizde 2010 yılındaki YES kümülatif gücü 17369 MW iken 2020 yılında bu güç 48537 MW olmuştur. 2020 yılı sonunda Türkiye kümülatif gücünün %51,2'sini yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmuştur[7]. Fakat yenilenebilir enerji kaynak kullanımındaki hızlı büyüme sistem operatörleri için büyük zorluklar (arz-talep ilişkisinin minimum maliyetlerle karşılanması) oluşturmaktadır[8]–[10]. Çünkü nehir tipi hidroelektrik, rüzgâr ve güneş santralleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının belirsiz ve tahmin edilemeyen üretim karakteristiği bu kaynakların şebeke entegrasyonunu olumsuz etkilemektedir. Yapılan bu çalışmada NHES üretimlerinin aylık olarak 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki rampa olayları (üretim değişimleri) incelenmiştir. NHES üretim kısıtlamalarının ve şebeke işletim sorunlarının üstesinden gelmek amacıyla enerji üretimindeki pozitif ve negatif yönlü ani değişimlerin (rampa) hesaplanması büyük önem arz etmektedir. Çünkü enerji üretimlerinde görülen negatif yönlü rampalar sonucunda, işletim sistemindeki enerji açığını kapatmak amacıyla oluşan rampanın büyüklüğüne ve süresine göre ya çevrim içi santral üretimleri artırılmakta ya da çevrim dışı santraller devre alınmaktadır[11]. Enerji üretimlerinde pozitif yönlü rampalar oluşması durumunda ise ya çevrim içi santral üretimleri azaltılmakta ya da tesislerin yük atması veya kapatılması sağlanmaktadır[12]–[14]. Bu nedenlerle NHES üretimlerindeki rampa olaylarının büyüklüğünün, zamanın ve süresinin önceden bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Almanya 2016'da toplam YES gücünün %2,3'nü ve İrlanda 2018 yılında rüzgâr enerjisinin %6'sının kullanımını kısıtlamıştır[15], [16]. Çin'de ise 2009-2017 yılları arasındaki yıllık toplam rüzgâr enerjisinin %8'den fazlası kısıtlanmıştır[17], [18].

Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki üretim rampalamasına ait literatür taraması incelendiğinde; Misha ve ark. hareketli bir ortalama filtresi kullanarak rüzgâr enerjisi rampalarının ön işleme tekniğini araştıran, gürültü çıkarımı ve güç salınımlarını ayıran veri analizi odaklı bir yaklaşım önermişlerdir[19]. Zheng ve Kusiak yaptıkları çalışmada bir rüzgâr çiftliğinin güç rampa oranlarını tahmin etmek için çok değişkenli zaman serisi modelleri oluşturmuşlardır[20]. Zhao ve Du yaptıkları çalışmada rüzgâr enerjisi rampa özelliklerini incelemek için aşırı değer teorisi uygulanmışlardır[21]. Dihiman ve arkadaşları yaptıkları çalışmada destek vektör regresyonu ve dalgacık dönüşümü değişkenlerine dayanan rüzgâr tahmin modeli önermişlerdir. Bu modelle ayrıca rüzgâr rampalarının büyüklüklerini ve sıklıklarını incelemişlerdir[22].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde rampa olaylarını inceleyen çalışmaların rüzgâr enerjisi odaklı olduğu görülmüştür. Yapılan literatür taramasında nehir tipi hidroelektrik santral üretimlerindeki rampaların incelenmesi konusundaki eksiklikler fark edilmiştir. Literatürdeki bu eksikliği gidermek amacıyla yapılan çalışmada NHES üretimlerindeki rampalar incelenmiştir.

Bu çalışmayı ilgili alanda yapılmış diğer çalışmalardan farklı kılan en belirgin özellikler;

- İlk defa NHES üretim rampaları incelenmiştir.
- NHES üretim rampa analizleri Türkiye ölçeğinde incelenmiş ve tamamen reel veriler kullanılmıştır.
- Farklı zamansal periyotlardaki (1, 3, 6 ve 9 saatlik), aylık NHES üretim rampaları hesaplanmıştır.

Aylık periyotlardaki rampaların karakteristik özellikleri (süresi, büyüklüğü, yönü ve oluşum zamanı) incelenmiştir.

Yapılan çalışma 4 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Türkiye ve Dünya ölçeğinde yenilenebilir enerji santrallerinin kümülatif güçleri hakkında genel bilgiler verilmiş. Ayrıca bu bölümde NHES rampa olayları tanımlanmış ve rampa olayları hakkındaki literatür taraması verilmiştir. İkinci bölümde Türkiye'deki NHES hakkında genel bilgiler, kurulu güç haritası ve 2017-2018 saatlik toplam üretimler verilmiştir. Üçüncü bölümde NHES üretimlerine ait rampa olaylarını hesaplamak için kullanılan yamuk kuralı açıklanmıştır. Dördüncü bölümde NHES üretim rampalarına ait istatistiksel özellikler ve rampaları gösteren histogram grafikleri verilmiştir. Beşinci bölümde, bulgular bölümünde elde edilen tablolar ve grafikler yorumlanmıştır.

2. Türkiye Nehir Tipi Hidroelektrik Santralleri

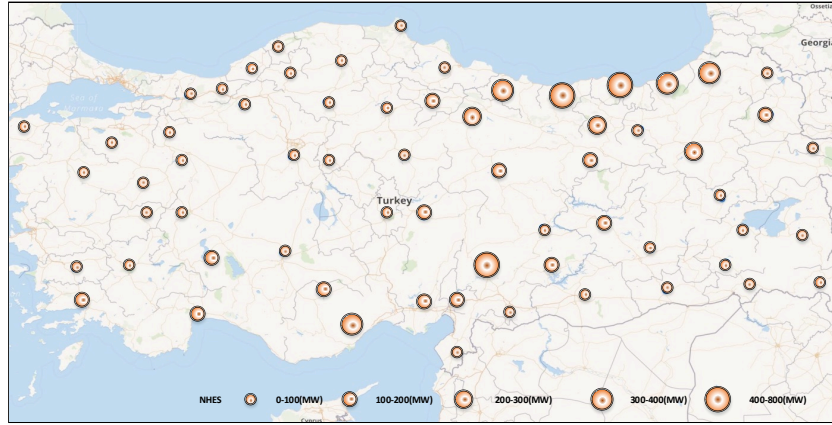
Dünya genelinde enerji üretim ve tüketimi arasındaki, arz-talep ilişkisi karşılamak amacıyla devletler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir[23], [24]. Yenilenebilir enerji alanındaki son yıllardaki HES kapasite genişlemesi dikkat çekmektedir. 2010 yılında dünyanın HES kümülatif gücü 926,38 MW iken, 2020 yılında 1211,69 MW olmuştur[25]. 10 yıllık periyotta dünyanın kümülatif gücü %30,8 genişlemiştir. Aynı zamansal periyotlardaki Türkiye'nin HES kümülatif gelişimini incelediğimizde ise 10 periyotta %51,09 büyüdüğü görülmüştür. Türkiye'nin bu alanda göstermiş olduğu bu gelişim aynı zamanda şebeke işletim sorunlarını da artırmıştır. Şebeke işletimlerinde görülen başlıca sorun ise NHES üretimlerinden kaynaklanan rampalama olaylarıdır.

NHES üretimlerine ait rampalama olaylarının süresini, büyüklüğünü, yönünü ve oluşum zamanını incelemek amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan tesis üretim verileri Türkiye Elektrik İletim AŞ. (TEİAŞ)'den elde edilmiştir. Üretim verileri 2017 ve 2019 tarihleri arasında ve 1'er saatlik periyotlardadır. Ayrıca bu veriler Türkiye'de kurulmuş ve çalışmakta olan 483 tesise aittir. Çalışmada kullanılan verilerin bazı genel ve istatistiksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. NHES üretimlerinin istatistiksel ve genel özellikleri

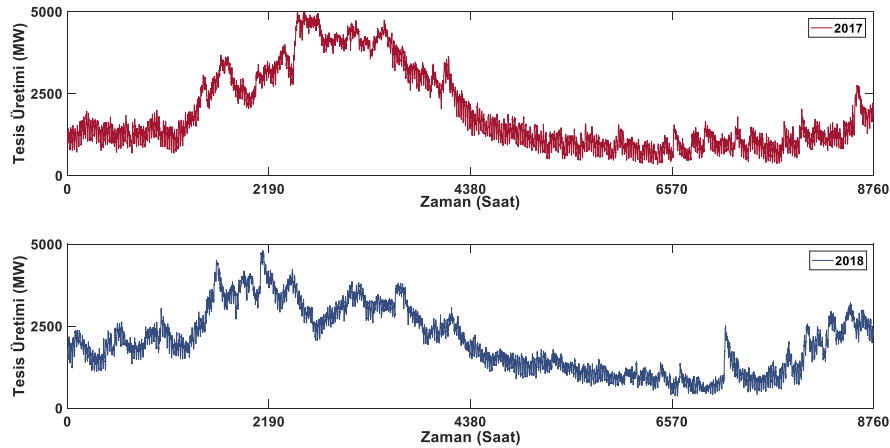
Özellikler	Değerler
Tesis Sayısı	483
Toplam Veri Sayısı	17520x483
Tesis Üretim Zaman Aralığı	01/01/2017-01/01/2019
Toplam Kurulu Güç (MW)	7026,28
Ortalama üretim (MW)	3943,46
Standart sapma (MW)	2072,60

Kurulmuş ve aktif olarak çalışan tesislerin illere göre kurulu güç dağılımları Şekil 1'de verilmiştir. İllerdeki toplam kurulu güç 5 farklı yarıçapa sahip daire ile gösterilmiştir. Daire yarıçapları küçükten büyüğe göre 0-100, 100-200, 200-300, 300-400 ve 400-800 MW'lık büyüklükleri tanımlamaktadır.



Şekil.1. İllere göre NHES toplam güçleri

Ayrıca çalışmada kullanılan 483 adet tesisin, 2017 ve 2018 yıllarına saatlik toplam üretim profilleri Şekil 2 de verilmiştir. 2017 ve 2018 yıllarına ait saatlik toplam NHES üretimleri sırasıyla bordo ve lacivert renkler ile gösterilmiştir.



Şekil 2. Yıllara göre saatlik toplam NHES üretimi

3. Histogram alan hesaplaması

Yapılan çalışmada, tesis üretim değişimlerini görebilmek amacıyla 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki histogram grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler ile x ekseninde kalan alanı bulmak amacıyla yamuk kuralı kullanılmıştır. Yamuk kuralı, matematikte alan hesaplamaları için kullanılan sayısal entegrasyon metodudur[26]. Bu metod, fonksiyon ile x-ekseni arasında kalan alanı daha kolay hesaplanabilir alanlara sahip yamuklara bölerek, bir aralık üzerinden entegrasyona yaklaşmaktadır[27]–[29]. Bir başka ifadeyle x-ekseni ile fonksiyon arasında kalan alanın, yamuk alanlarına bölünerek yaklaşık olarak hesaplanması yöntemidir. Yamuk kuralının matematiksel ifadesi Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 de verilmiştir.

$$\int_z^y f(x)dx \quad (1)$$

$$\int_z^y f(x)dx \approx \frac{y-z}{2} \{f(y) + f(z)\} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de verilen z ve y, f(x) fonksiyonunun integral alan sınırlarıdır. y ve z integral sınırlandırma değerleri Eşitlik 3’te ayrıntılı olarak verilmiştir. Eşitlik 2’de verilen matematiksel denklem tek bir yamuk alanını hesaplamak için kullanılmaktadır. f(x) fonksiyonu ile x-ekseni arasında kalan alanı hesaplamak için birden çok yamuk kullanılması durumunda kullanılan matematiksel ifade Eşitlik 4’te verilmiştir.

$$[y z] = \{z = x_{k-1} < x_k < \dots < x_{K-1} < x_K = y\} \quad (3)$$

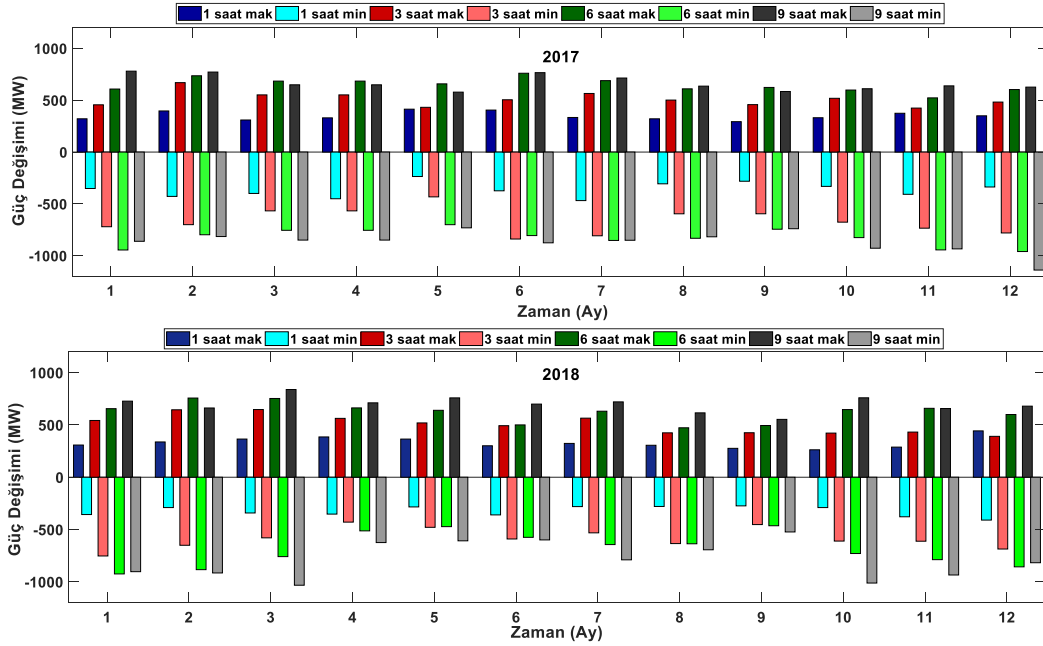
$$\int_z^y f(x)dx \approx \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K (x_k - x_{k-1}) [f(x_k) + f(x_{k-1})] \quad (4)$$

Eşitlik 4’te verilen matematiksel ifade kullanılarak aylık NHES üretim değişimlerinin histogram grafik alanları hesaplanmıştır.

4. Bulgular

Rampa olayı, NHES üretimlerinin zamansal periyotlardaki üretim değişimleridir. Diğer bir ifadeyle rampa olayları, art arda iki saat arasındaki güç değişimi olarak tanımlanmaktadır. Enerji üretimlerinde görülen değişimlerin, saniyelik veya dakikalık periyotlar da olması durumunda şebeke işletim operatörleri bu üretim değişimlerini dengeleyebilmektedir. Fakat bir saat ve üzerindeki rampa olaylarının dengelenebilmesi şebeke işletim operatörleri için zorluk olarak kabul edilmektedir[30]–[34]. Şebeke işletim operasyonlarında, günlük yük profillerine uyacak şekilde farklı üretim birimleri planlanarak ve taahhüt edilmektedir. Fakat iklimsel etkilerden dolayı NHES üretimleri, planlanarak ve taahhüt edilen günlük yük profilleriyle büyük farklılıklar gösterebilmektedir. NHES üretimlerinin de görülen uzun süreli ve büyük rampaların şebeke üzerindeki etkisinin dengelenebilmesi bazı durumlarda çok zaman almaktadır. Çünkü bazı üretim tesislerinin devreye alınmasından, yük ile senkronizasyona kadar uzun zamana ihtiyaç duyulmaktadır.

Tüm bu sonuçlar NHES üretim değişkenliğinin sistem operasyonlarını etkilediği göstermektedir. NHES üretimlerinin 1, 3, 6 ve 9 saatlik adım değişimlerinin istatistiksel özellikleri (standart sapma, ortalama, maksimum ve minimum değerler) rampa olaylarının birinci derecede göstergesi olarak kabul edilmektedir[11], [12]. Bu nedenle yapılan çalışmada 2017 ve 2018 aylık NHES üretimlerinin 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki değişimleri (rampa olayları) incelenmiştir. Saatlik toplam üretime ait rampa olaylarının maksimum ve minimum değerleri Şekil 3’te verilmiştir. Şekil 3’te verilen koyu mavi, koyu kırmızı, koyu yeşil ve koyu gri renkleri sırasıyla 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki maksimum rampa büyüklüklerini göstermektedir. Açık mavi, açık kırmızı, açık yeşil ve açık gri renkleri ise sırasıyla 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki minimum rampa büyüklüklerini göstermektedir.



Şekil 3. 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki aylık minimum ve maksimum rampa büyüklükleri

Oluşan maksimum ve minimum rampaların tesis kurulu güce oranla yüzdesel büyüklükleri Tablo 2’de verilmiştir. 2017 yılında oluşan en büyük (maksimum) rampa %11,11 ile 9 saatlik zamansal periyotta Ocak ayında görülmüştür. En küçük (minimum) rampa olayı ise %-16,20 ile 9 saatlik zamansal periyotta Aralık ayında gerçekleşmiştir. 2018 yılına baktığımızda ise oluşan en büyük ve en küçük rampa olayları sırasıyla %11,93 ve %-14,69 ile 9 saatlik zamansal periyotta Mart ayında gerçekleşmiştir.

Tablo 2. Toplam güce oranla rampaların yüzdesel büyüklükleri

	1 Saat		3 Saat		6 Saat		9 Saat		
	maks.	min.	maks.	min.	maks.	min.	maks.	min.	
2017	Ocak	4,57%	-5,00%	6,49%	-10,25%	8,66%	-13,44%	11,11%	-12,25%
	Şubat	5,65%	-6,09%	9,53%	-9,97%	10,47%	-11,35%	10,99%	-11,60%
	Mart	4,40%	-5,68%	7,85%	-8,07%	9,74%	-10,74%	9,24%	-12,08%
	Nisan	4,70%	-6,41%	7,85%	-8,07%	9,74%	-10,74%	9,24%	-12,08%
	Mayıs	5,89%	-3,36%	6,14%	%-6,15%	9,36%	-9,97%	8,23%	-10,40%
	Haziran	5,77%	-5,32%	7,18%	-11,94%	10,82%	-11,47%	10,90%	-12,46%
	Temmuz	4,75%	-6,66%	8,05%	-11,49%	9,81%	-12,13%	10,17%	-12,11%
	Ağustos	4,57%	-4,36%	7,14%	-8,48%	8,68%	-11,84%	9,05%	-11,63%
	Eylül	4,17%	-4,01%	6,50%	-8,47%	8,88%	-10,59%	8,32%	-10,52%
	Ekim	4,71%	-4,71%	7,38%	-9,62%	8,52%	-11,74%	8,70%	-13,20%
	Kasım	5,33%	-5,80%	6,04%	-10,45%	7,44%	-13,43%	9,09%	-13,29%
	Aralık	4,98%	-4,79%	6,87%	-11,11%	8,58%	-13,66%	8,92%	-16,20%
2018	Ocak	4,38%	-5,08%	7,72%	-10,71%	9,33%	-13,16%	10,35%	-12,85%
	Şubat	4,80%	-4,13%	9,18%	-9,26%	10,78%	-12,57%	9,42%	-13,02%
	Mart	5,20%	-4,86%	9,21%	-8,25%	10,72%	-10,80%	11,93%	-14,69%
	Nisan	5,48%	-5,02%	8,01%	-6,11%	9,43%	-7,30%	10,12%	-8,89%
	Mayıs	5,19%	-4,04%	7,39%	-6,81%	9,11%	-6,72%	10,80%	-8,65%
	Haziran	4,28%	-5,12%	7,01%	-8,40%	7,12%	-8,18%	9,95%	-8,53%
	Temmuz	4,60%	-4,00%	8,04%	-7,57%	8,98%	-9,16%	10,25%	-11,24%
	Ağustos	4,35%	-3,98%	6,04%	-9,03%	6,73%	-9,05%	8,76%	-9,87%
	Eylül	3,93%	-3,89%	6,05%	-6,44%	7,04%	-6,60%	7,87%	-7,44%
	Ekim	3,73%	-4,13%	6,01%	-8,69%	9,21%	-10,38%	10,81%	-14,40%
	Kasım	4,10%	-5,38%	6,15%	-8,70%	9,38%	-11,21%	9,35%	-13,30%
	Aralık	6,31%	-5,83%	5,56%	-9,77%	8,53%	-12,19%	9,67%	-11,63%

NHES rampaları pozitif ve negatif yönlü olmasından dolayı aylık rampa olaylarının ortalama değeri sıfır (veya küçük bir değer) olma eğilimindedir. Bu nedenle tesis üretim rampalarının ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanırken rampa büyüklüklerinin mutlak değeri alınmıştır. Bu sayede negatif ve pozitif rampaların ortalama ve standart sapma hesaplamalarında sıfır (veya küçük bir değer) olma ihtimalinin önüne geçilmiştir. Ayrıca tesis üretimlerine ait rampaların standart sapmaları ve ortalamaları hesaplanırken tüm değişimler dikkate alınmıştır. Bir başka ifadeyle kurulu güce oranla %5 ve altındaki değişimler bu hesaplamalara dahil edilmiştir. Reel uygulamalar da geleneksel şebeke sistemlerinde %5 ve üzerindeki değişimler rampa olarak tanımlanmaktadır. Çünkü geleneksel şebeke sistemlerinde kontrol edilebilir enerji üretim kaynakları (Termik santraller ve barajlar vs.) bulunmaktadır. Aylık NHES üretimlerindeki rampaların 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki ortalama güçleri ve kurulu güce oranla yüzdesel büyüklükleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. NHES üretimlerinin 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki rampa olaylarının ortalama güçleri ve kurulu güce oranla yüzdesel büyüklükleri

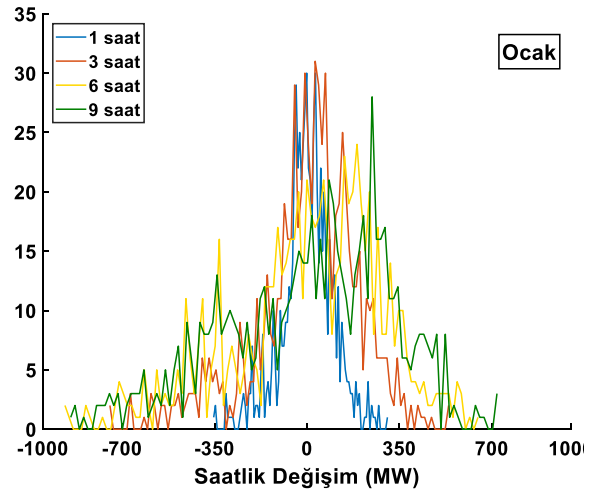
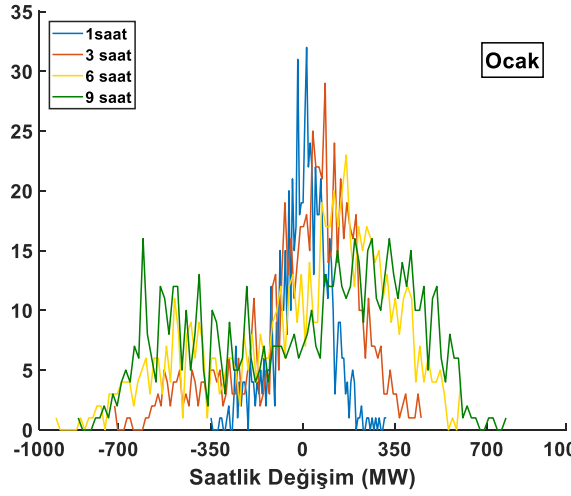
	1 Saat		3 saat		6 Saat		9 Saat		
	Ortalama (MW)	Yüzdesel Pay	Ortalama (MW)	Yüzdesel Pay	Ortalama (MW)	Yüzdesel Pay	Ortalama (MW)	Yüzdesel Pay	
2017	Ocak	78,75	1,12%	168,5	2,40%	269,14	3,83%	329,66	4,69%
	Şubat	79,19	1,13%	170,93	2,43%	262,86	3,74%	296,74	4,22%
	Mart	73,27	1,04%	140,62	2,00%	202,47	2,88%	235,05	3,35%
	Nisan	71,86	1,02%	136,58	1,94%	183,99	2,62%	207,56	2,95%
	Mayıs	62,53	0,89%	105,05	1,50%	140,24	2,00%	158,3	2,25%
	Haziran	77,36	1,10%	162,4	2,31%	246,35	3,51%	296,98	4,23%
	Temmuz	78,05	1,11%	165,75	2,36%	278,23	3,96%	352,48	5,02%
	Ağustos	71,9	1,02%	156,12	2,22%	248,63	3,54%	307,63	4,38%
	Eylül	64,59	0,92%	133,46	1,90%	220,49	3,14%	283,89	4,04%
	Ekim	67,19	0,96%	134,9	1,92%	205,15	2,92%	237,71	3,38%
	Kasım	78,96	1,12%	164,6	2,34%	249,09	3,55%	301,01	4,28%
	Aralık	82,02	1,17%	155,18	2,21%	226,05	3,22%	275,35	3,92%
2018	Ocak	72,87	1,04%	149,1	2,12%	226,42	3,22%	259,04	3,69%
	Şubat	74,12	1,05%	156,09	2,22%	217,39	3,09%	243,74	3,47%
	Mart	68,74	0,98%	134,21	1,91%	200,27	2,85%	239,39	3,41%
	Nisan	68,35	0,97%	134,83	1,92%	204,46	2,91%	236,14	3,36%
	Mayıs	65,26	0,93%	127,76	1,82%	196,19	2,79%	240,96	3,43%
	Haziran	66,42	0,95%	119,14	1,70%	157,35	2,24%	185,73	2,64%
	Temmuz	63,17	0,90%	127,14	1,81%	213,65	3,04%	274,09	3,90%
	Ağustos	62,14	0,88%	118,93	1,69%	178,56	2,54%	224,68	3,20%
	Eylül	54,52	0,78%	102,2	1,45%	157,33	2,24%	197,05	2,80%
	Ekim	58,64	0,83%	115,87	1,65%	168,99	2,41%	190,67	2,71%
	Kasım	67,76	0,96%	143,17	2,04%	234,71	3,34%	296,24	4,22%
	Aralık	69,76	0,99%	138,93	1,98%	196,15	2,79%	245,04	3,49%

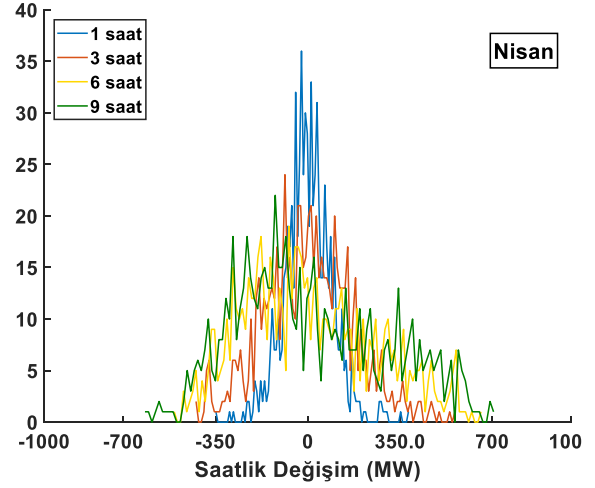
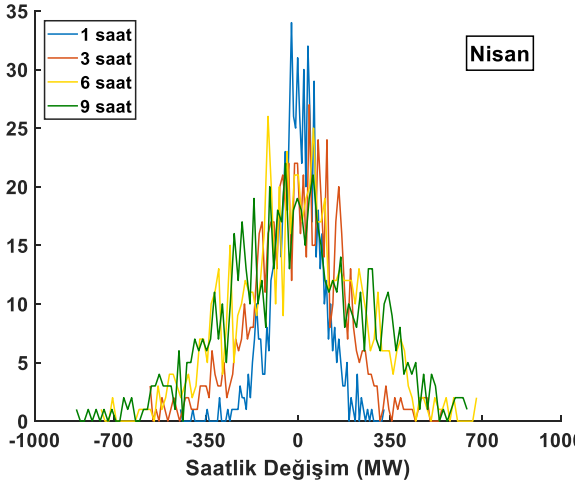
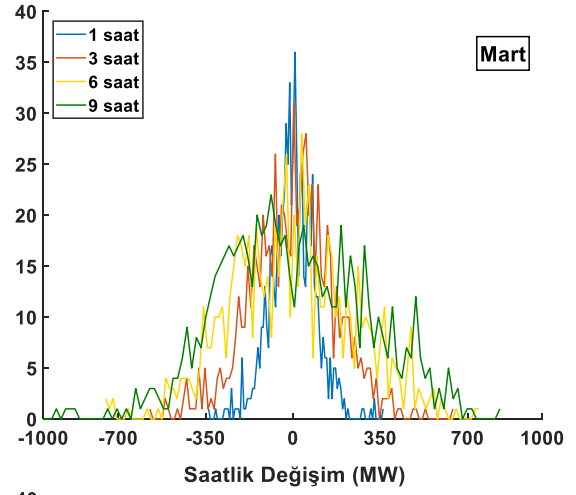
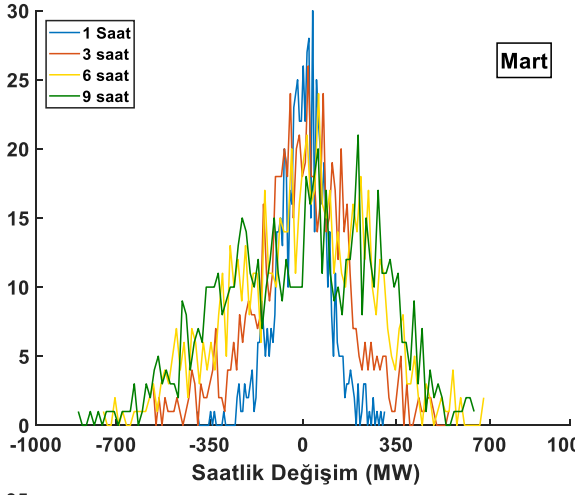
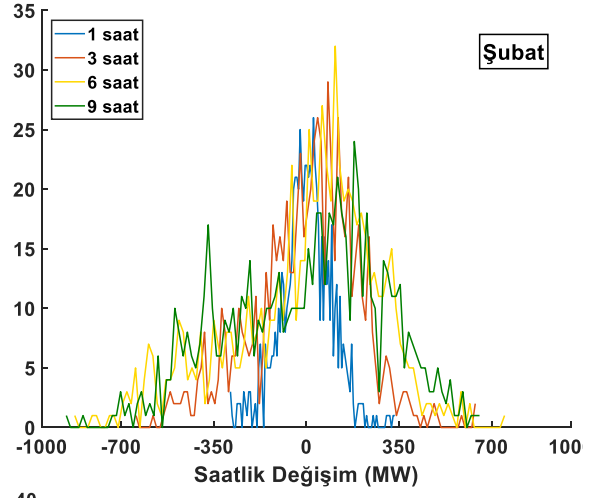
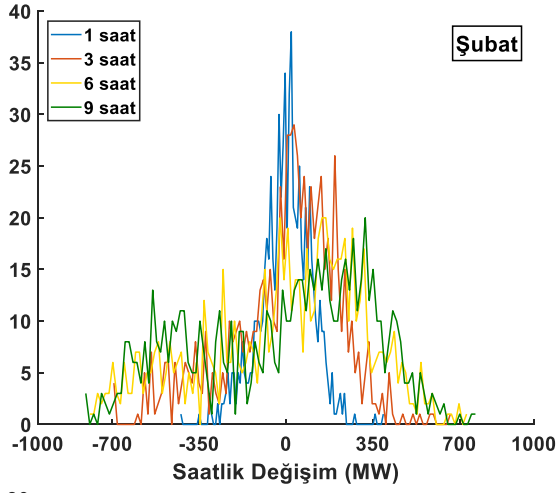
NHES üretim rampalarının farklı zamansal periyotlardaki standart sapmaları Tablo 4'te verilmiştir. Zaman periyotların büyümesiyle paralel olarak rampa olaylarının standart sapmaları da büyümüştür. 2017 yılında en küçük standart sapma Mayıs ayında görülmüştür. Mayıs ayının 1 ve 9 saatlik periyotlardaki standart sapmaları sırasıyla 49,46 MW ve 120,21 MW olarak hesaplanmıştır. Bu değişimi yüzdesel olarak değerlendirdiğimizde ise 9 saatlik periyotta, 1 saatlik periyota kıyasla rampaların standart sapmaları %1,01 artmıştır. 2018 yılı üretimlerini incelediğimizde rampaların standart sapmaları en küçük Eylül ayında görülmüştür. Eylül ayında 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki rampaların standart sapmaları sırasıyla 47,47 MW, 81,49 MW, 108,37 MW ve 121,56 MW hesaplanmıştır.

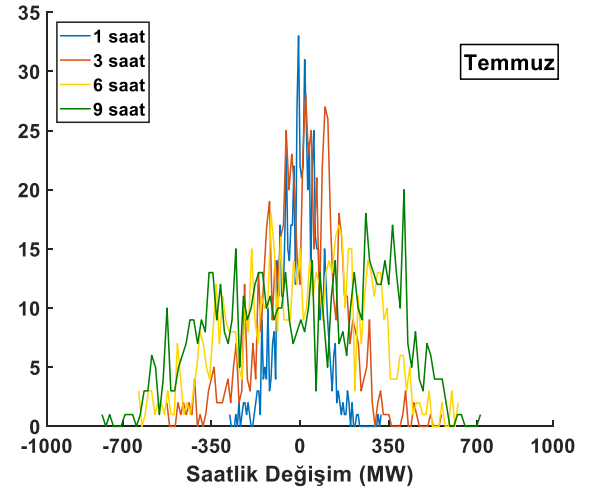
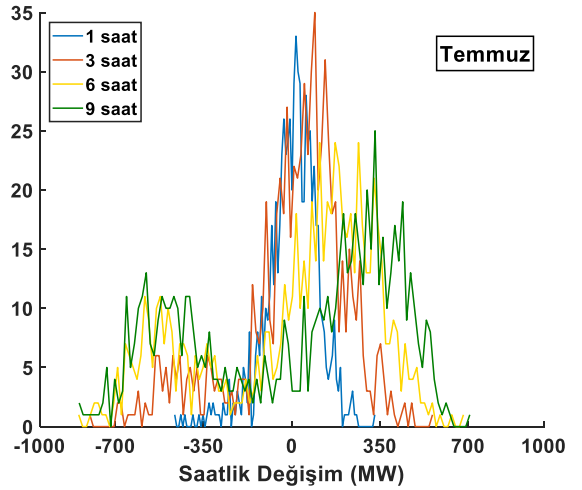
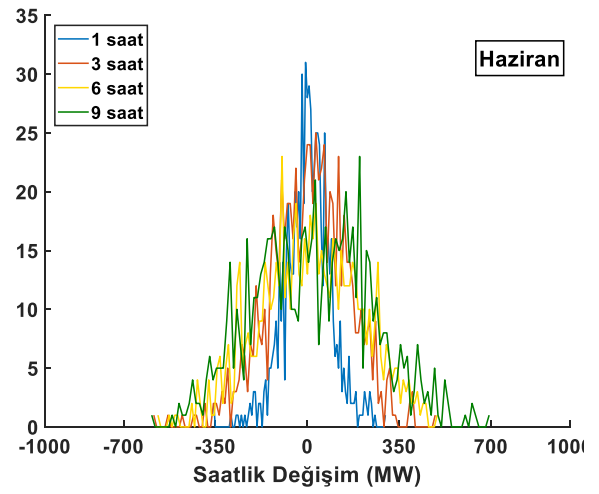
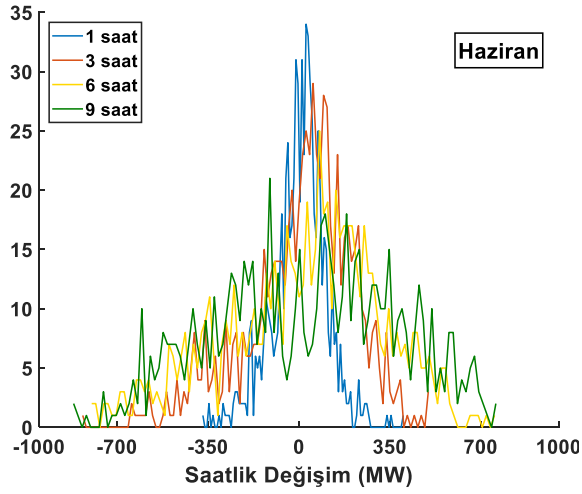
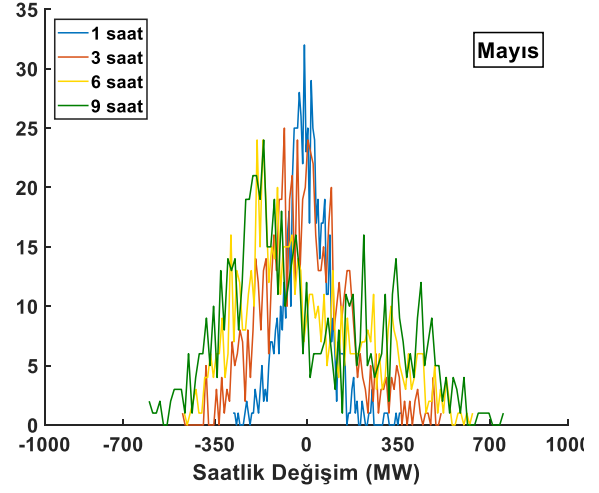
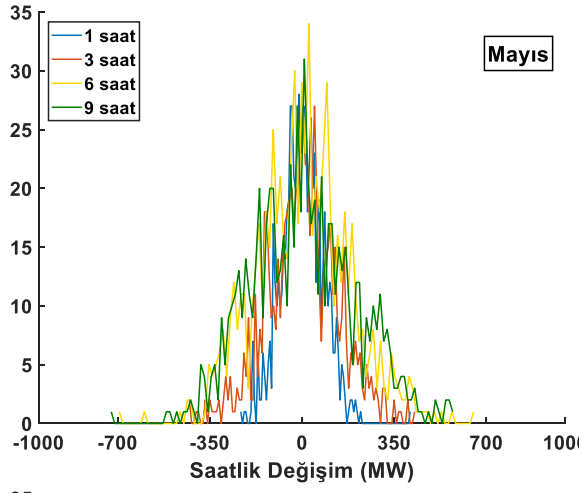
NHES üretim rampalarının aylık frekansları ve büyüklükleri Şekil 3'te verilmiştir. Şekillerin x-ekseni; oluşan rampa büyüklüklerini (saatlik değişimi), y-ekseni; rampaların sayılarını göstermektedir. Şekil 3'te verilen mavi, kırmızı, sarı ve yeşil renkler ise sırasıyla 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki rampaları tanımlamaktadır. Ayrıca verilen şeklin sol ve sağ sütunları sırasıyla 2017 ve 2018 yıllarına NHES üretimlerindeki rampaları göstermektedir.

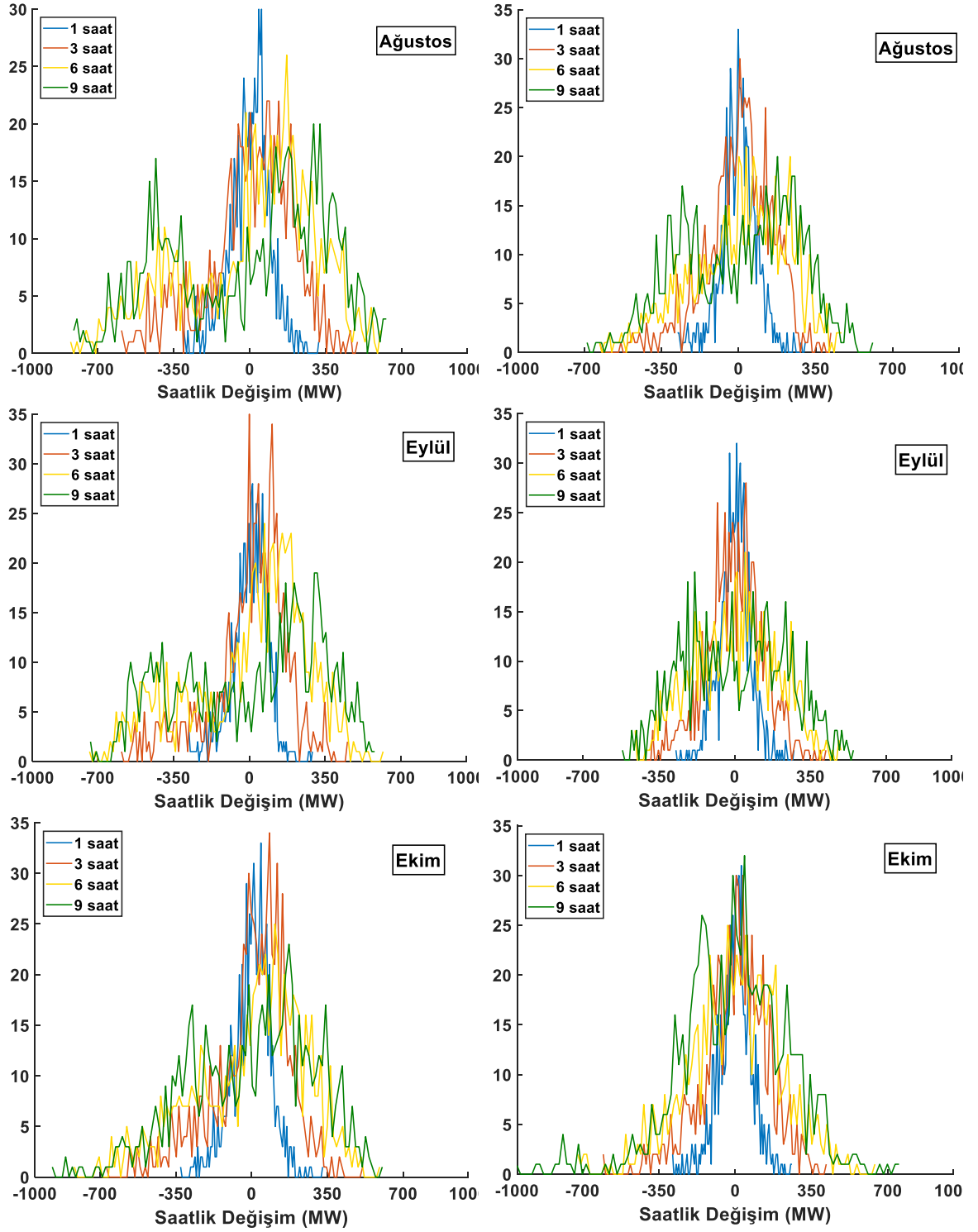
Tablo 4. NHES üretim rampalarının farklı zamansal periyotlardaki standart sapmaları ve standart sapmaların yüzdesel büyüklükleri

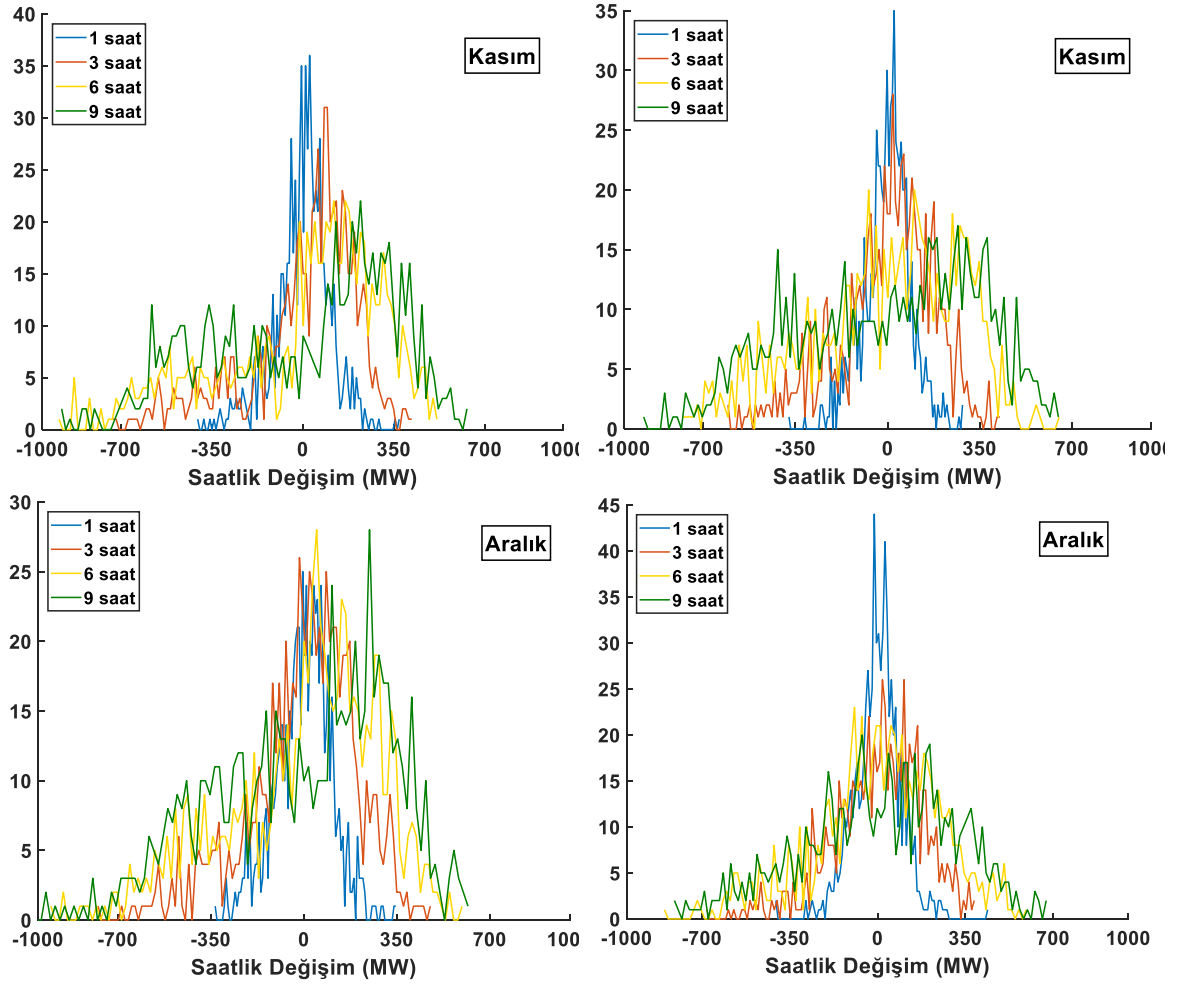
	1 Saat		3 saat		6 Saat		9 Saat		
	Standart Sapma (MW)	Yüzdesel Pay	Standart Sapma (MW)	Yüzdesel Pay	Standart Sapma (MW)	Yüzdesel Pay	Standart Sapma (MW)	Yüzdesel Pay	
2017	Ocak	66,98	0,95%	139,41	1,98%	185,75	2,64%	187,23	2,66%
	Şubat	66,69	0,95%	143,54	2,04%	190,46	2,71%	187,48	2,67%
	Mart	61,32	0,87%	117,46	1,67%	151,35	2,15%	159,38	2,27%
	Nisan	61,29	0,87%	111,71	1,59%	142,43	2,03%	158,31	2,25%
	Mayıs	49,46	0,70%	86,67	1,23%	112,09	1,60%	120,21	1,71%
	Haziran	67,57	0,96%	131,77	1,88%	178,82	2,55%	190,6	2,71%
	Temmuz	70,25	1,00%	147,22	2,10%	185,41	2,64%	178,69	2,54%
	Ağustos	59,17	0,84%	125,8	1,79%	176,35	2,51%	173,92	2,48%
	Eylül	54,92	0,78%	119,45	1,70%	159,17	2,27%	155,78	2,22%
	Ekim	56,75	0,81%	116,28	1,66%	151,04	2,15%	161,17	2,29%
	Kasım	71,25	1,01%	138,02	1,96%	185,42	2,64%	175,3	2,50%
	Aralık	66,05	0,94%	131,2	1,87%	173,75	2,47%	178,68	2,54%
2018	Ocak	65,69	0,94%	135,21	1,92%	177,94	2,53%	183,69	2,61%
	Şubat	62,51	0,89%	124,64	1,77%	170,76	2,43%	165,3	2,35%
	Mart	58,68	0,84%	107,18	1,53%	150,46	2,14%	171,82	2,45%
	Nisan	58,34	0,83%	104,32	1,48%	142,06	2,02%	157,51	2,24%
	Mayıs	57,68	0,82%	102,43	1,46%	129,62	1,84%	148,63	2,12%
	Haziran	57,5	0,82%	92,4	1,32%	112,44	1,60%	129,19	1,84%
	Temmuz	51,89	0,74%	103,56	1,47%	143,78	2,05%	159,75	2,27%
	Ağustos	55,75	0,79%	99,99	1,42%	129,07	1,84%	133,69	1,90%
	Eylül	46,47	0,66%	81,49	1,16%	108,37	1,54%	121,56	1,73%
	Ekim	51,62	0,73%	97,29	1,38%	135,02	1,92%	159,61	2,27%
	Kasım	58,09	0,83%	118,02	1,68%	167,79	2,39%	183,29	2,61%
	Aralık	61,21	0,87%	109,12	1,55%	155,41	2,21%	173,69	2,47%











Şekil 4. 2017 ve 2018 NHES üretimleri rampa olayları (sol sütun 2017 ve sağ sütun 2018) histogram grafikleri

Yapılan literatür incelemelerinde, reel şebeke işletmelerinde kurulu gücün; %5'i ve üzerindeki üretim değişimleri rampa olarak tanımlanmıştır[35]. Bu alanda yapılan reel uygulamaları incelediğimizde ise Nordic Grid Code [36] ve Porto Riko Elektrik Enerjisi Kurumu [36] toplam güç kapasitesinin %10'u ve üzerindeki varyasyonları rampa olarak tanımlamışlardır. Bu nedenle yapılan çalışmada tüm üretim değişimlerinin incelenmesine ek olarak Türkiye NHES toplam güç kapasitesinin %5'i ve %10'nun üzerindeki rampa olayları incelenmiştir. Bu sayede NHES üretimlerindeki rampa olayları her açıdan değerlendirilmiştir.

Şekil 4'te verilen NHES üretimlerinin 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki üretimlere ait aylık rampa histogram grafiklerini incelediğimizde negatif yönlü değişimlerin pozitif yönlü değişimlere oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca 1 saatlik periyotlarda oluşan rampalar genel olarak kurulu gücün %5'ini geçememiştir. Bu nedenle 1 saatlik periyotlardaki üretim değişimleri rampa olarak tanımlanamamaktadır. NHES üretimlerinin reel uygulamalardaki aylık rampa olaylarının daha net görülebilmesi amacıyla yapılan çalışmada histogram grafiklerinin alanları incelenmiştir. Şekil 4'te verilen histogram grafiklerindeki 350 MW ve üzerindeki değişimler rampa olarak tanımlanmıştır. NHES üretimlerinde görülen rampa büyüklüklerinin frekanslara göre daha net görülebilmesi amacıyla 350 MW ve 700 MW üzerindeki kümülatif histogram alanları hesaplanmıştır.

2017 ve 2018 yıllarındaki aylık NHES üretimlerinin 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki histogram grafik alanları sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6 verilmiştir. Tablolarda verilen %5 ve %10 yüzdelik dilimler sırasıyla 350 MW ve 700 MW üzerindeki rampa histogram alanlarını göstermektedir. Burada yer alan Negatif ifadesi, üretim azalmalarıyla oluşan rampaları tanımlarken pozitif ifadesi ise üretim artmalarıyla oluşan rampaları tanımlamaktadır.

Tablo 5. 2017 yılı rampa olayları kümülatif histogram grafik alanları

		1 saat		3 saat		6 saat		9 saat	
		%5	%10	%5	%10	%5	%10	%5	%10
Ocak	Negatif	0,0	0,0	764,6	11,7	2080,8	232,9	2831,5	155,9
	Pozitif	0,0	0,0	164,6	0,0	1358,7	0,0	2363,7	32,8
Şubat	Negatif	8,2	0,0	972,6	0,0	1909,4	168,7	2522,9	126,9
	Pozitif	12,4	0,0	226,0	0,0	1173,2	7,7	1634,3	31,7
Mart	Negatif	7,0	0,0	307,6	0,0	1029,1	21,5	1295,8	74,8
	Pozitif	0,0	0,0	223,7	0,0	597,3	0,0	898,7	0,0
Nisan	Negatif	11,1	0,0	246,1	0,0	690,8	21,5	958,7	59,9
	Pozitif	0,0	0,0	184,6	0,0	575,7	0,0	868,8	0,0
Mayıs	Negatif	0,0	0,0	51,8	0,0	135,8	0,0	236,6	6,5
	Pozitif	3,3	0,0	38,8	0,0	319,2	0,0	353,4	0,0
Haziran	Negatif	3,8	0,0	698,5	6,7	1542,5	133,1	1928,8	123,1
	Pozitif	7,7	0,0	201,5	0,0	1323,3	23,4	2134,0	49,2
Temmuz	Negatif	36,0	0,0	974,7	6,8	2327,8	131,0	3083,5	234,7
	Pozitif	0,0	0,0	247,1	0,0	1083,8	0,0	2386,9	0,0
Ağustos	Negatif	0,0	0,0	576,0	0,0	1773,1	93,7	1449,1	138,0
	Pozitif	0,0	0,0	137,1	0,0	1037,9	0,0	1715,1	0,0
Eylül	Negatif	0,0	0,0	468,5	0,0	1477,4	13,6	1827,0	19,8
	Pozitif	0,0	0,0	42,1	0,0	581,3	0,0	1271,0	0,0
Ekim	Negatif	0,0	0,0	424,1	0,0	1081,9	35,5	1369,3	107,6
	Pozitif	0,0	0,0	65,2	0,0	484,0	0,0	976,0	0,0
Kasım	Negatif	19,5	0,0	758,9	17,3	1745,0	241,9	2311,7	172,9
	Pozitif	11,7	0,0	63,7	0,0	843,2	0,0	1596,2	0,0
Aralık	Negatif	0,0	0,0	625,0	6,3	1648,6	164,0	2259,1	229,4
	Pozitif	0,0	0,0	107,3	0,0	656,3	0,0	1535,5	0,0

2017 yılı NHES üretimlerinin histogram rampa alanlarını incelediğimizde 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlarda 350MW (%5) ve üzerindeki toplam alanlar sırasıyla 121, 8570, 27477 ve 39808 olarak hesaplanmıştır. 2017 yılının 700MW (%10) ve üzerindeki rampaların 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki toplam alanları ise 0, 49, 1289,14 ve 1563,9'dur. 2017 yılında 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki %5 ve üzerindeki negatif ve pozitif yönlü rampaların toplam alanı sırasıyla 46471,5 ve 29506,2 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca %10 ve üzerindeki tüm zamansal periyotlardaki negatif ve pozitif yönlü rampaların toplam alanları ise sırasıyla 2757,1 ve 144,5 olarak bulunmuştur.

Tablo 6. 2018 yılı rampa olayları kümülatif histogram grafik alanları

		1 saat		3 saat		6 saat		9 saat	
		5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
Ocak	Negatif	0,0	0,0	673,6	0,0	1445,6	158,0	1777,0	160,9
	Pozitif	0,0	0,0	155,4	0,0	813,6	0,0	1230,9	24,5
Şubat	Negatif	0,0	0,0	544,0	0,0	1607,9	73,8	1821,7	78,9
	Pozitif	0,0	0,0	233,1	0,0	656,2	8,2	1096,2	0,0
Mart	Negatif	0,0	0,0	269,8	0,0	703,0	60,4	1178,7	112,3
	Pozitif	3,5	0,0	165,6	0,0	975,1	22,7	1637,1	18,9
Nisan	Negatif	0,0	0,0	153,7	0,0	470,2	0,0	781,5	0,0
	Pozitif	7,4	0,0	182,5	0,0	934,6	0,0	1462,7	0,0
Mayıs	Negatif	0,0	0,0	54,9	0,0	272,5	0,0	806,2	0,0
	Pozitif	6,4	0,0	184,6	0,0	723,0	0,0	1380,2	6,4
Haziran	Negatif	6,6	0,0	81,2	0,0	182,7	0,0	307,1	0,0
	Pozitif	0,0	0,0	59,6	0,0	263,3	0,0	675,1	0,0
Temmuz	Negatif	0,0	0,0	230,3	0,0	822,4	0,0	1661,1	22,7
	Pozitif	0,0	0,0	89,7	0,0	586,5	0,0	1849,8	0,0
Ağustos	Negatif	0,0	0,0	195,9	0,0	593,2	0,0	870,4	0,0
	Pozitif	0,0	0,0	37,1	0,0	232,9	0,0	582,5	0,0
Eylül	Negatif	0,0	0,0	35,1	0,0	139,0	0,0	387,8	0,0
	Pozitif	0,0	0,0	31,9	0,0	153,3	0,0	505,8	0,0
Ekim	Negatif	0,0	0,0	154,9	0,0	619,3	20,6	770,3	239,0
	Pozitif	0,0	0,0	25,8	0,0	481,7	0,0	770,3	26,6
Kasım	Negatif	3,3	0,0	401,7	0,0	1504,8	79,6	2419,0	222,8
	Pozitif	0,0	0,0	73,0	0,0	665,6	0,0	1718,7	0,0
Aralık	Negatif	8,5	0,0	301,6	0,0	997,6	58,5	1399,7	112,3
	Pozitif	4,3	0,0	70,0	0,0	633,5	0,0	1294,9	0,0

2018 yılı NHES üretim rampalarına ait histogram grafik alanlarını incelediğimizde 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki 350MW (%5) ve üzerindeki kümülatif alanlar sırasıyla 39, 4404, 16477 ve 28384 olarak hesaplanmıştır. 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlarda 700 MW (%10) ve üzerindeki kümülatif alanlar ise sırasıyla 0, 0, 481 ve 1024 bulunmuştur. 1 ve 3 saatlik periyotlar da 700 MW ve üzerindeki alanların 0 olması bu zamansal periyotlarda 700 MW ve üzerinde negatif veya pozitif yönlü herhangi bir rampanın meydana gelmediğini göstermektedir. 2018 yılında 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyotlardaki %5 ve üzerindeki negatif ve pozitif yönlü rampaların toplam alanı sırasıyla 22653,2 ve 226653,7 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca %10 ve üzerindeki tüm zamansal periyotlardaki negatif ve pozitif yönlü rampaların toplam alanları ise sırasıyla 107,16 ve 1399,63 olarak bulunmuştur.

5. Sonuç

Dünyadaki, teknoloji ve sanayi alandaki büyümeyle beraber enerji talebi de paralel olarak artış göstermektedir. Artan enerji talebinin, küresel ısınma ve çevresel sorunlardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması bu yüzyılda büyük önem kazanmıştır. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının tahmin edilemeyen üretim yapısından dolayı bu kaynakların geleneksel şebeke sistemlerine entegrasyonları şebeke esnekliği ve güvenliği açısından birçok soruna neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim değişiminin yönünü, büyüklüğünü, zamanını ve frekansını öngörebilmek amacıyla Türkiye NHES üretimlerinin rampa olayları incelenmiştir. İncelemeler sonucunda 2017-2018 yıllarına ait aylık NHES toplam üretimlerinin 1, 3, 6 ve 9 saatlik periyottaki rampa olaylarının ortalaması, standart sapması, maksimum ve minimum değerleri elde edilmiştir. Ayrıca farklı zamansal periyotlardaki bu değerler, kurulu toplam kapasiteye göre aylık olarak değerlendirilmiştir. 2017 yılında 1 saatlik periyottaki rampaların oluşum zamanlarına göre en yüksek standart sapma, ortalama, maksimum ve minimum değerleri sırasıyla Ocak 66,98MW, Aralık 82,02 MW, Mayıs 4138,31 MW ve Temmuz 4679,82 MW olarak hesaplanmıştır. 2018 yılında 1 saatlik periyottaki rampaların oluşum zamanlarına göre en yüksek standart sapma, ortalama, maksimum ve minimum değerleri ise sırasıyla Ocak 65,69 MW, Aralık 69,76 MW, Aralık 4433,67 MW ve Aralık 4096,15 MW olarak hesaplanmıştır. 1 saatlik periyottaki NHES üretim rampalarının istatistiksel özelliklerini değerlendirdiğimizde maksimum ve minimum rampa olaylarının aylık olarak oluşum zamanlarının tahmin edilemeyeceği sonucuna ulaşılmıştır. Fakat aynı zamansal periyottaki rampaların ortalamalarını ve standart sapmalarını incelediğimizde en fazla rampa olaylarının kış aylarında (Aralık, Ocak, Şubat) gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca farklı zamansal periyotlardaki rampa olaylarını değerlendirdiğimizde rampa olaylarının yoğunluk gösterdiği zamanlar çok fazla değişkenlik göstermediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlardan istisna olarak 2017 ve 2018 NHES üretim rampaların Temmuz aylarında yükseldiği görülmüştür. Bu durum küresel ısınmaya bağlı olarak artan buharlaşma ve tarımsal amaçlı su kullanımlarından kaynaklanmaktadır[37]–[39].

NHES üretimlerinde görülen rampa olaylarının kurulu kapasitenin %5 ve %10 sınırlarına göre değerlendirdiğimizde 2017 ve 2018 yıllarında 1 saatlik ve 3 saatlik periyotlarda %10 ve üzerinde rampa olayları histogram alanlarının çok az veya 0 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum bu 1 ve 3 saatlik zamansal periyotlarda toplam NHES üretimlerinde 700 MW ve üzerinde değişimler meydana gelmediğini göstermektedir. Ayrıca Tablo 5 ve Tablo 6 da verilen rampa olayları histogram alanları incelendiğinde negatif yönlü rampa alanlarının daha fazla olduğu görülmüştür. Tesis üretimlerinde görülen rampa olaylarının ağırlıklı olarak negatif yönlü olması, Türkiye'deki NHES rampalarının daha çok üretim azalmalarından kaynaklandığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre rampaların büyüklüğüne, frekansına ve zamanına göre önlemler alınması durumunda yenilenebilir enerji kaynaklarının geleneksel şebeke sistemine entegrasyon sorunlarının minimize edileceği ön görülmektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmalar da mevcut veriler değerlendirilerek derin öğrenme metodları kullanılarak rampa tahminlerinin yapılması veya planlamaya yönelik minimum rampa olaylarına sahip optimum tesis kümelerinin belirlenmesi alanında çalışmalar yapılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- [1] C. Yıldız ve H. Acikgoz, "A kernel extreme learning machine-based neural network to forecast very short-term power output of an on-grid photovoltaic power plant," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–18, 2020.
- [2] İ. Karadöl, C. Yıldız, H. Açıkgoz, ve M. Şekkeli, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında Sürekliliği Sağlamak için Optimum Enerji Karışımının Belirlenmesi : Kahramanmaraş Bölgesinde Bir Uygulama," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Derg.*, vol. 35, no. March, pp. 173–182, 2020.

- [3] İ. Çelik, C. Yıldız ve M. Şekkeli, “Wind Power Plant Layout Optimization Using Particle Swarm Optimization,” *Turkish J. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–6, 2021.
- [4] İ. Çelik, C. Yıldız, M. Şekkeli ve H. Y. Hasirci, “1 kW Rüzgâr Türbini için Enerji Üretim ve Gelir Hesabı : Kahramanmaraş Bölgesi Örnek Çalışması,” 2020.
- [5] Irena, “Renewable capacity statistics 2020 International Renewable Energy Agency,” 2020.
- [6] REN21, *Renewables 2021 Global Status Report*. 2021.
- [7] TMMOB, “Türkiye’de Elektrik Enerjisi İstatistikleri,” 2020.
- [8] R. P. Gallardo, A. M. Ríos ve J. S. Ramirez, “Analysis of the solar and wind energetic complementarity in Mexico,” *J. Clean. Prod.*, vol. 268, 2020.
- [9] O. Aslantürk ve G. Kıprızlı, “The role of renewable energy in ensuring energy security of supply and reducing energy-related import,” *Int. J. Energy Econ. Policy*, vol. 10, no. 2, pp. 354–359, 2020.
- [10] L. De Rosa ve R. Castro, “Forecasting and assessment of the 2030 Australian electricity mix paths towards energy transition,” *Energy*, vol. 205, p. 118020, 2020.
- [11] K. İsrail, C. Yıldız ve M. Şekkeli, “Türkiye’de RES Üretimlerindeki Rampa Olaylarının Minimize Edilmesi için Bölgesel Tesis Konumu Belirleyen Yeni Bir Optimizasyon Modeli,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.*, vol. 8, no. 4, pp. 959–971, 2020.
- [12] Y. Wan, “Analysis of Wind Power Ramping Behavior in ERCOT,” NREL, no. March, 2011.
- [13] E. Ela ve J. Kemper, “Wind Plant Ramping Behavior,” *Contract*, no. December, 2009.
- [14] J. Yan, T. Qu, S. Han, Y. Liu, X. Lei ve H. Wang, “Reviews on characteristic of renewables: Evaluating the variability and complementarity,” *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, no. September 2019, pp. 1–21, 2020.
- [15] E. SONI, “Annual Renewable Energy Constraint and Curtailment Report 2018,” no. May, 2019.
- [16] Bundeskartellamt, “Monitoring report 2017 Monitoring Report 2017,” 2017.
- [17] G. Li ve C. Gu, “Economic Dispatch of Combined Heat and Power Energy Systems Using Electric Boiler to Accommodate Wind Power,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 41288–41297, 2020.
- [18] F. Xia, X. Lu ve F. Song, “The role of feed-in tariff in the curtailment of wind power in China,” *Energy Econ.*, vol. 86, 2020.
- [19] S. Mishra, M. Leinakse ve I. Palu, “Wind power variation identification using ramping behavior analysis,” *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 565–571, 2017.
- [20] H. Zheng ve A. Kusiak, “Prediction of wind farm power ramp rates: A data-mining approach,” *J. Sol. Energy Eng. Trans. ASME*, vol. 131, no. 3, pp. 0310111–0310118, 2009.
- [21] J. Zhao, S. Abedi, M. He, P. Du, S. Sharma ve B. Blevins, “Quantifying Risk of Wind Power Ramps in ERCOT,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 32, no. 6, pp. 4970–4971, 2017.
- [22] H. S. Dhiman, D. Deb ve J. M. Guerrero, “Hybrid machine intelligent SVR variants for wind forecasting and ramp events,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 108, no. April, pp. 369–379, 2019.
- [23] M. Wierzbowski, I. Filipiak ve W. Lyzwa, “Polish energy policy 2050 – An instrument to develop a diversified and sustainable electricity generation mix in coal-based energy system,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 74, no. May 2016, pp. 51–70, 2017.
- [24] C. De Oliveira Costa Souza Rosa, K. A. Costa, E. Da Silva Christo ve P. B. Bertahone, “Complementarity of hydro, photovoltaic, and wind power in Rio de Janeiro State,” *Sustain.*, vol. 9, no. 7, pp. 1–12, 2017.
- [25] “Hydropower.” [Online]. Available: <https://www.irena.org/hydropower>. [Accessed: 01-Oct-2021].
- [26] S. Rules, “Area under a Curve : Trapezoidal and Simpson ’ s Rules Simpson ’ s rule is a method for evaluating the area under a curve from values of,” no. X, pp. 77–81, 1987.
- [27] S.-T. Yeh, “Using Trapezoidal Rule for the Area under a Curve Calculation,” *Proc. 27th Annu. SAS® User Gr. Int.*, vol. SUGI’02, pp. 1–5, 2002.
- [28] K. C. Yeh ve K. C. Kwan, “A comparison of numerical integrating algorithms by trapezoidal, Lagrange, and spline approximation,” *J. Pharmacokinet. Biopharm.*, vol. 6, no. 1, pp. 79–98, 1978.
- [29] K. Roushangar, R. Khoshkanar ve J. Shiri, “Predicting trapezoidal and rectangular side weirs discharge coefficient using machine learning methods,” *ISH J. Hydraul. Eng.*, vol. 22, no. 3, pp. 254–261, 2016.
- [30] A. Couto, P. Costa, L. Rodrigues, V. V. Lopes ve A. Estanqueiro, “Impact of Weather Regimes on the Wind Power Ramp Forecast in Portugal,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 934–942, 2015.
- [31] H. Li, J. Wang, H. Lu ve Z. Guo, “Research and application of a combined model based on variable weight for short term wind speed forecasting,” *Renew. Energy*, vol. 116, pp. 669–684, 2018.
- [32] D. Radu ve diğ., “Complementarity assessment of south Greenland katabatic flows and West Europe wind regimes,” *Energy*, vol. 175, pp. 393–401, 2019.
- [33] F. Weschenfelder ve diğ., “A review on the complementarity between grid-connected solar and wind power systems,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 257. Elsevier Ltd, 01-Jun-2020.
- [34] S. Becker ve diğ., “Features of a fully renewable US electricity system: Optimized mixes of wind and solar PV and transmission grid extensions,” *Energy*, vol. 72, pp. 443–458, 2014.
- [35] G. F. Frate, P. Cherubini, C. Tacconelli, A. Micangeli, L. Ferrari ve U. Desideri, “Ramp rate abatement for wind power plants: A techno-economic analysis,” *Appl. Energy*, vol. 254, no. August, p. 113600, 2019.
- [36] G. Vahan ve S. Booth, “Review of PREPA technical requirements for interconnecting wind and solar generation,” *Natl. Renew. Energy Lab. (NREL), Tech. Rep. NREL/TP-5D00-57089.*, no. November, p. 72, 2013.

- [37] Y. Z. Kaya, "Bulanık Mantık Yöntemi ile Mevsimsel Verilere Dayalı Buharlaşma Tahmini," 2016.
- [38] P. G. Kargı, "Ergene Havzası Yağış – Akış İlişkilerinin Hidrolojik ve Hidrolik Modelleme ile Belirlenmesi," 2019.
- [39] B. Çakmak ve Z. Gökalp, "İklim Değişikliği ve Etkin Su Kullanımı," Tarım Bilim. Araştırma Derg., vol. 4, no. 1, pp. 87–95, 2011.