

ELEKTRİK TALEP-ÜRETİM SÜREKLİLİK EĞRİLERİ YARDIMI İLE TAHMİNİ ELEKTRİK ÜRETİM MALİYETİ HESABI - BİR ÖRNEK DURUM ÇALIŞMASI

Muhammed Akif Ülker^{1*}

¹Uppsala Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Uppsala, 75237, İsveç

Geliş Tarihi/Received Date: 27.09.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 28.12.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.1001274

ÖZET

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı her geçen gün artmaktadır. Doğaları gereği süreksiz olan bu kaynaklar, elektrik fiyatlarında dalgalanmalara neden olabilmektedir. Bu durum da elektrik güç sistemlerindeki teknik, ekonomik ve yasal kısıtlar altında, enerji kaynaklarının etkili bir şekilde planlandığı ve elektrik üretimi ve talebindeki değişkenliğin doğru bir şekilde ele alındığı yöntemlerin kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu çalışmada, elektrik üretim ve talep süreklilik eğrilerinin gelecek şebeke planlamalarında nasıl kullanılabilirliği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Burada, olasılıksal bir yaklaşım benimsenmiş ve elektrik üretim ve talep değerlerinin var olma olasılıkları, yapılan çalışmayla, gelecek şebeke planlamaları için önemli olan bazı parametrelerin hesabında kullanılmıştır. Makalede, şebekeden bağımsız çalışan bir ada sistemi üzerinde yapılan benzetim çalışmasının sonuçları sunulmuştur. Hesaplamaların sonucunda örnek durum çalışması yapılan sistemdeki tahmin edilen elektrik enerjisi üretim maliyeti 309 \$/saat, elektrik enerjisi açığı miktarı 100.4 kWh ve tahmin edilen elektrik enerjisi açığı riski %4.9 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Elektrik piyasası belirsizlikleri, Süreklilik eğrileri, Tahmini elektrik üretim maliyeti

PROBABILISTIC ELECTRICITY GENERATION COST CALCULATION VIA DEMAND-GENERATION DURATION CURVES - A CASE STUDY

ABSTRACT

Renewable energy share in electricity generation is expected to increase significantly with each passing day. Due to nature of renewables, electricity generation from renewables contains uncertainties which affect the energy prices in the electricity markets. New simulations are needed for efficient planning process for the resources in the power systems to address the uncertainties in demand and generation under the economical, technical and legal limitations. In this study, duration curves of the generation and demand sides are investigated as a tool to estimate forecasted values of the future grid planning key parameters with the approach of probabilistic meaning of the planning and probability of the availability of demand and generation sides. The method is applied to an island case study, the parameters are calculated under the stated assumptions and the results are presented. For the island case study system, the expected total operation cost, the expected energy not served and risk of power deficit grid planning parameters are calculated as 309 \$/hour, 100.4 kWh and 4.9% respectively.

Keywords: Renewable energy, Electricity market uncertainties, Duration curves, Probabilistic electricity generation cost calculation

1. Giriş

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı her geçen gün artmaktadır [1]. Ülkeler, elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını arttırmak için resmi hedefler koymuş [2-3] ve bu hedefleri tutturabilmek için hızla ilave yenilenebilir enerji santralleri, özellikle rüzgâr santralleri

* e-posta: muhammed.ulker@angstrom.uu.se

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4523-3855>

kurulmuş ve kurulmaya devam edilmektedir. Yüklerden uzakta kurulan bu santraller bölgeler arası üretim-talep dengesizliklerine neden olabilmektedir. Bu dengesizlikler de elektrik şebekelerinde ani frekans değişimlerine, aşırı yüklenme problemlerine ve sonuç olarak da pahalıya mâl olabilecek elektrik kesintilerine sebep olabilmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının doğaları gereği süresiz bir yapıya sahip olması ve elektrik talebinin de saatlik, günlük, sezonluk değişmesi, aynı şekilde elektrik fiyatlarını da değişken bir yapıya sokmaktadır. Bu koşullar, hem pik elektrik talebini hem de yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrik talebindeki belirsiz yapıyı dengeleyebilecek bir elektrik üretimi planlamasını gerekli kılmaktadır [4]. Bunu başarabilmek için de eldeki kaynakların önceki kısımlarda ifade edilen kısıtlar ve belirsizlikler altında verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacak güvenilir planlama yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuda grafik temelli bir çalışma L. L. Garver tarafından yayınlanmıştır [5]. Bu alanda başka bir çalışma ABD PJM şebeke sistemi kapasite piyasası için talep eğrileri kullanılarak yapılmıştır [6]. Olasılıksal bir yaklaşımla süreklilik eğrileri kullanılarak garanti edilen kapasite konsepti hesabının yapıldığı üretime odaklı bir çalışma da Almanya'da rüzgâr santrallerinin şebeke entegrasyonu planlaması için uygulanmıştır [7]. Bunun dışında, yenilenebilir enerji santrallerinin kapasite hesaplarının farklı uygulamaları için yine bu alanda yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur [8-11].

Bu çalışmada, bu planlama yöntemlerine katkıda bulunacak bazı temel parametrelerin olasılıksal bir yaklaşımla hesaplanması ele alınmıştır. Elektrik üretim-talep süreklilik eğrileri kullanılarak, şebeke gelecek planlamaları için önemli parametreler olan, tahmin edilen elektrik enerjisi üretimi miktarı (TEÜ), tahmin edilen elektrik enerjisi üretim maliyeti (TEÜM), tahmin edilen elektrik enerjisi açığı miktarı (TEÜA) ve tahmin edilen elektrik enerjisi açığı riski (TEÜAR) [12-13] parametrelerinin hesabı, şebekeden bağımsız çalışan bir ada sistemi için gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde süreklilik ve eşdeğer süreklilik eğrileri ilgili teorik bilgilerden bahsedilmiş, üçüncü bölümde çalışmada kullanılan ada sistemi ilgili bilgiler verilmiş ve son olarak dördüncü bölümde de çalışmanın sonuçları ve yorumlara yer verilmiştir.

2. Üretim-Talep Süreklilik ve Eşdeğer Süreklilik Eğrileri

Elektrik üretim-talep süreklilik ve eşdeğer süreklilik eğrileri, önceki kısımda da belirtildiği üzere şebeke planlamasındaki parametrelerin hesabında önemli bir rol oynamaktadır. Elektrik üretim-talep süreklilik eğrileri (TSE), elektrik üretim-talep eğrilerinden (TE) elde edilmekte olup, sonrasında eşdeğer talep süreklilik eğrilerinin (ETSE) oluşturulmasında kullanılmaktadır. Üretim-talep eğrileri, elektrik talep değerlerinin belirli zaman adımlarıyla gösterildiği histogramlar olarak ifade edilebilir. Üretim-talep süreklilik eğrileri ise elektrik talep verilerinin büyükten küçüğe doğru sıralandığı üretim-talep eğrilerinin farklı bir versiyonu olup, belirli bir zaman dilimi için hangi üretim-talep seviyesine ulaşıldığının gözlemlenebildiği eğrilerdir. Ayrıca, TSE eğrilerinin altındaki alan, toplam elektrik talep veya üretim miktarını da vermektedir. Her talep seviyesi için ihtiyaç duyulan kapasite ihtiyaçları TSE eğrileri üzerinden gözlemlenebilir. ETSE eğrileri ise, TSE eğrilerinin yeniden düzenlenip bir araya getirilerek, üretim birimlerinde arıza olması durumunda yerlerini alacak bir başka birimin bulunmaması halinde diğer üretim birimleri üzerine talep artışı olarak yansıtıldığı, eşdeğer üretim-talep değerlerinin ifade edildiği eğrilerdir. ETSE eğrileri,

$$E_n = D + \sum_{k=1}^n O_k \quad (1)$$

denklemleri ile ifade edilip, burada E_n [kWh], n ünitesinden sonraki üretim birimi için eşdeğer talep, D [kWh] gerçek talep ve O_k [kWh] k . üretim ünitesindeki kesinti olarak açıklanmaktadır.

Eğrilerin daha iyi anlaşılabilmesi için Çizelge 1 ve Çizelge 2'deki iki farklı duruma ait nümerik değerler kullanılarak, aşağıda belirtilen işlem adımlarının yardımıyla grafiksel olarak elde edilen TSE ve ETSE eğrileri Şekil 1 ve Şekil 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Birinci basit örneğe ait nümerik değerler.

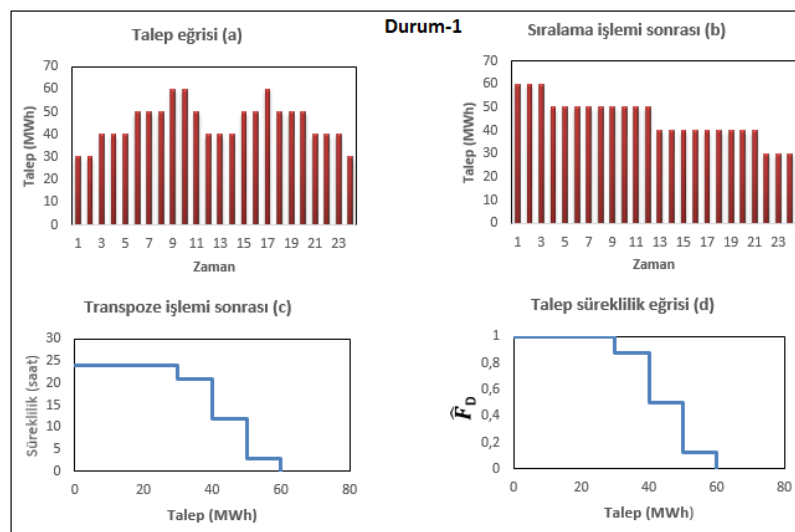
Durum-1					
Saat	Talep (MWh)	Saat	Talep (MWh)	Saat	Talep (MWh)
1	30	9	60	17	60
2	30	10	60	18	50
3	40	11	50	19	50
4	40	12	40	20	50
5	40	13	40	21	40
6	50	14	40	22	40
7	50	15	50	23	40
8	50	16	50	24	30

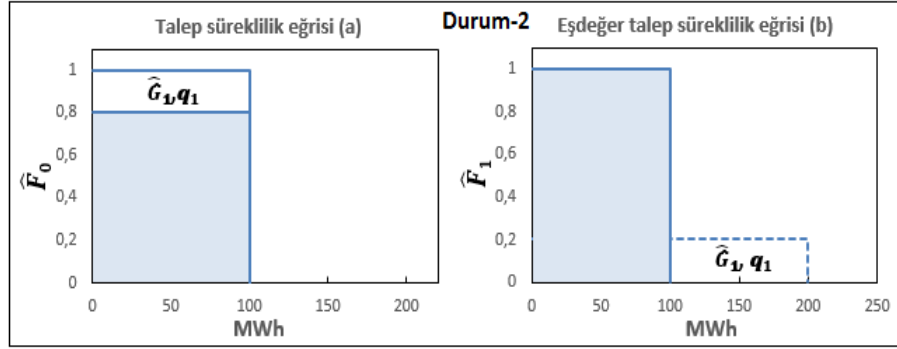
Çizelge 2. İkinci basit örneğe ait nümerik değerler.

Durum-2
100 MW sabit yük
100 MW üretim
%80 emreâmâdelikle

Kullanılan işlem adımları:

- Şekil 1.a'da zamana bağlı olarak gösterilen elektrik talep değerleri, önce Şekil 1.b'deki gibi büyükten küçüğe doğru sıralanır.
- Sonra, x ve y eksenlerinin yer değiştirilmesi suretiyle transpoze işlemi uygulanarak Şekil 1.c'deki format elde edilir.
- Zaman değerleri sürekliliklerine bağlı olarak normalize edilerek Şekil 1.d'de gösterilen TSE eğrisine ulaşılır.
- Son olarak, Denklem 1 yardımıyla eşdeğer talepler hesaplanarak, ETSE eğrisi oluşturulur.

**Şekil 1.** Birinci basit örnek için TSE eğrisi elde edilmesindeki adımlara ait gösterimler



Şekil 2. İkinci basit örnek için ETSE eğrisi elde edilmesindeki adımlara ait gösterimler

Yukarıdaki gibi basit örnekler için eşdeğer süreklilik eğrilerini basit cebirsel işlemlerle elde etmek mümkündür fakat daha kompleks sistemler için eğriler aşağıda gösterilen Denklem 2 ve Denklem 3 aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$P(E > x) = p_1 P(D > x) + q_1 P(D > x - \hat{G}_1) \quad (2)$$

$$\hat{F}_1(x) = p_1 \hat{F}_0(x) + q_1 \hat{F}_0(x - \hat{G}_1) \quad (3)$$

Burada, $\hat{F}_0(x)$ ve $\hat{F}_1(x)$ sırasıyla TSE ile ETSE eğrilerini temsil etmektedir [12]. \hat{G}_1 santral kurulu gücünü, p_1 ve $q_1 = 1 - p_1$ santralin emreâmâdelik durumlarını ifade etmektedir. Denklem 2'de de görüleceği üzere, eşdeğer yükün (E) belirli bir x seviyesini aşma olasılığı, iki ihtimalden oluşmaktadır. Birinci ihtimal, santralin emreâmâde olduğu ve yükün x seviyesini aştığı durum, ikinci ihtimal ise santralin emreâmâde olmadığı ve yükün $x - \hat{G}_1$ seviyesini aştığı durumdur.

Süreklilik eğrilerinin elde edilmesinden sonra şebeke planlamasında önemli olan parametrelerin hesabına geçilebilir. İlk hesaplanacak parametre TEÜA olup, bu parametrenin yardımıyla diğer bir parametre olan TEÜ'nün hesaplanmasına yardımcı olacaktır. TEÜA parametresi eşdeğer süreklilik eğrisinin entegre edildiği aşağıdaki Denklem 4 ile hesaplanmaktadır [12].

$$TEÜA_n = T \int_{\hat{G}_n}^{\infty} \hat{F}_n(x) dx \quad (4)$$

Burada, n emreâmâde santral indeksi ve de n . santral kurulu gücü olarak ifade edilmiştir. TEÜ ise,

$$TEÜ_n = TEÜA_{n-1} - TEÜA_n \quad (5)$$

formülasyonu ile hesaplanabilir. TEÜ'nün hesaplanması ile elde edilen değerlerin aşağıdaki Denklem 6'da yerine konulmasıyla da TEÜAR miktarına ulaşılabilir.

$$TE\ddot{U}AR_n = \hat{F}_n(\hat{G}_n^{tot}) \quad (6)$$

Bu çalışmada iletim hattı parametreleri dikkate alınmamış olup, kullanılan rastgele değişkenlerin bağımsız olduğu düşünülmüştür.

3. Şebekeden Bağımsız Ada Sistemi Çalışması

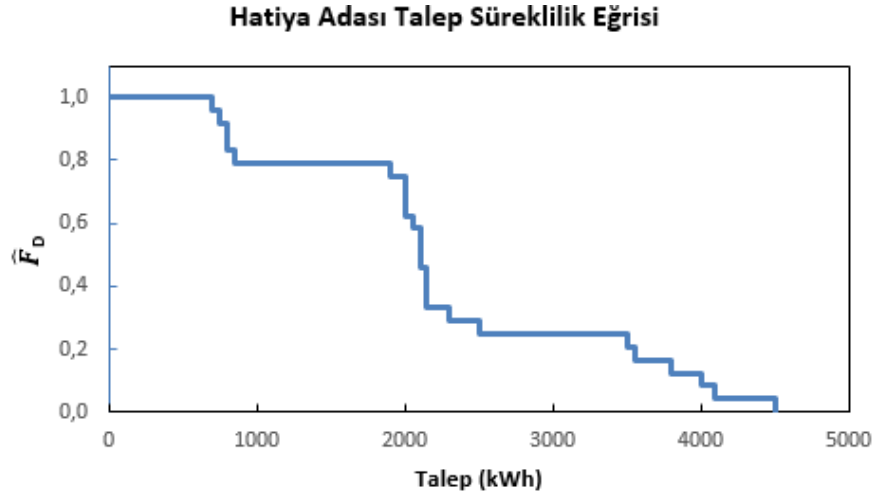
Bu çalışmada, uygulama için Bangladeş'in Hatiya Adası seçilmiştir. Ada, 371 km²'lik küçük bir ada olup, Bangladeş Şebeke Geliştirme Kurumu (BPDB-Bangladesh Power Development Board)'nun adada hibrit (dizel-rüzgâr-güneş), şebekeye bağlı olmayan bir güç sistemi projesi mevcuttur [14]. Projeye santral güçleri ve hesaplamalarda kullanılan bazı parametreler Çizelge 3'te belirtilmiştir. Adanın daha önce yapılan başka bir çalışmadan alınan haziran ayındaki tipik bir güne ait elektrik talep profili Şekil 3'te [17], daha önce bahsedilen prosedürlere göre hesaplanan süreklilik eğrisi ise Şekil 4'te gösterilmiştir. Dizel jeneratörün süreklilik eğrisi de, basitçe, dizel jeneratörün emreâmâdeliğine göre oluşturulmuştur.

Çizelge 3. Bangladeş Hatiya Adası şebekeden bağımsız güç sistemi parametreleri.

Rüzgâr enerjisi gücü (MW)	1 [14]
Güneş enerjisi gücü (MW)	1 [14]
Dizel yakıtlı santral çıkış gücü [MW]	5.5 [14]
Dizel jeneratörün yakıt sarfiyatı [litre/kWh]	0.2 [14]
Dizel yakıt fiyatı [USD/litre]	0.81 [15]
Dizel jeneratörün emreâmâdeliği (%)	95 [16]



Şekil 3. Hatiya Adası'na ait haziran ayının tipik bir günündeki elektrik talep profilinin histogram şeklinde gösterimi [17]



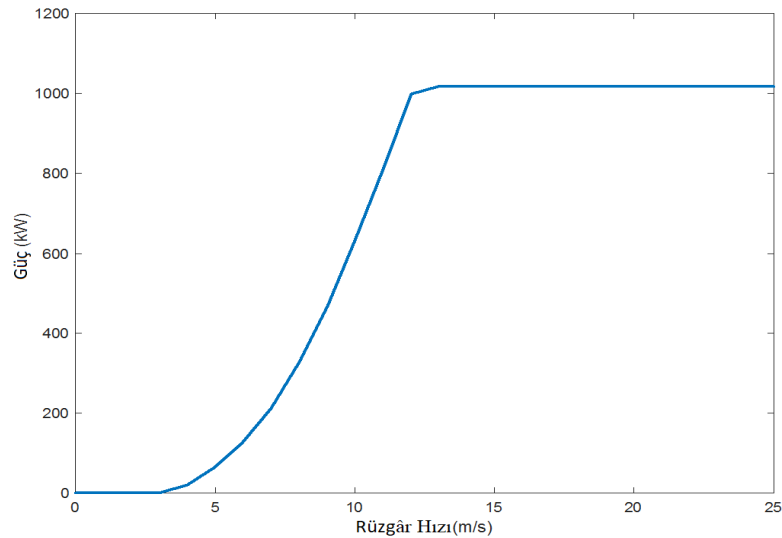
Şekil 4. Hatiya Adası için hesaplanan talep süreklilik eğrisi

3.1. Rüzgâr Enerjisi İçin Süreklilik Eğrisinin Hesaplanması

Rüzgâr türbinlerinden elde edilen güç, rüzgâr hızına (v) bağlı olarak oluşturulan aşağıdaki Denklem 7 ile hesaplanmaktadır.

$$P_w(v) = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \eta \quad (7)$$

Burada, ρ hava yoğunluğunu, C_p türbin rotor güç kat sayısını, η güç aktarma organları verimlilik katsayısını ve A ise rotor süpürme alanını temsil etmektedir. Bu çalışmada 1 MW'lık WinWind marka rüzgâr türbini baz alınmış olup, WindPRO rüzgâr enerjisi hesaplama yazılımından alınan türbin güç eğrisi Şekil 5'te gösterilmiştir [18]. Hava yoğunluğu ρ , 1.225 g/m^3 olarak hesaplarda kullanılmıştır.



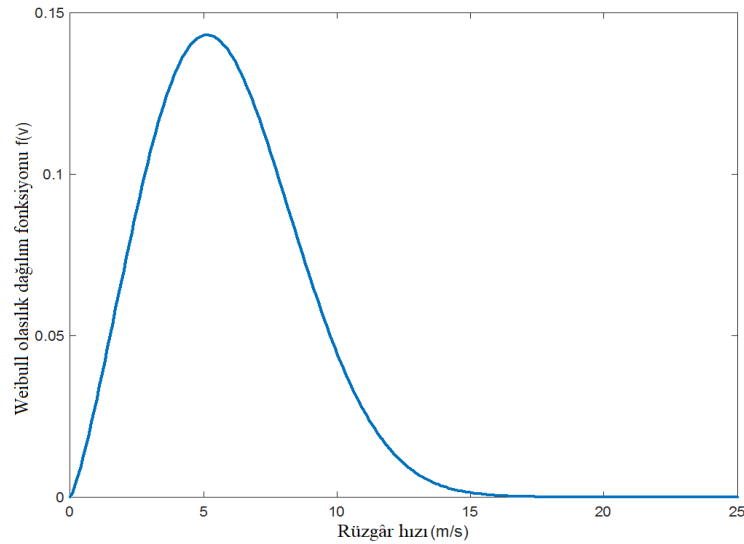
Şekil 5. WinWind 1 MW rüzgâr türbini güç eğrisi

Rüzgâr enerjisinin tahmini süreklilik eğrisini bulmak için istatistiksel yaklaşım benimsenerek, rüzgâr hızı olasılık dağılımı için Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılmıştır. Weibull

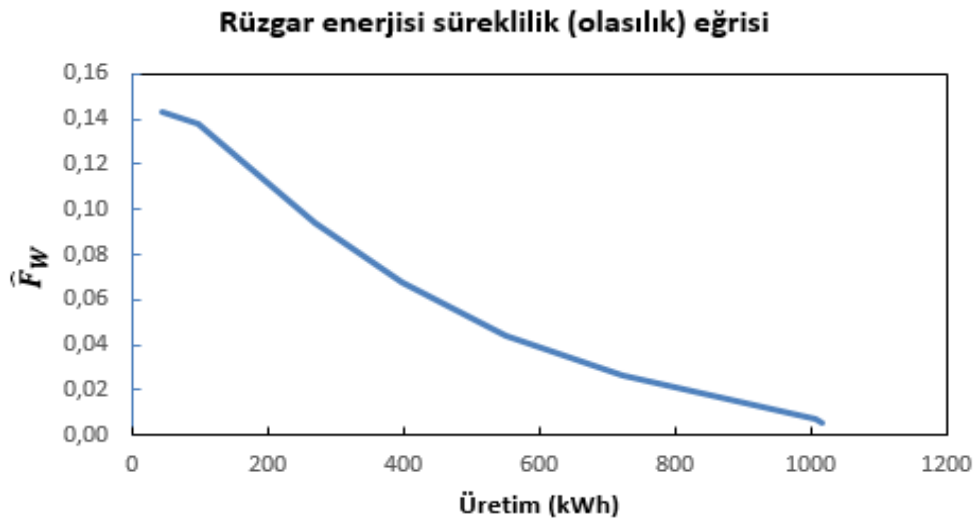
fonksiyonu, rüzgâr hızı data analizinde en yaygın olarak kullanılan ve en iyi uyuşma gösteren fonksiyon olarak bilinmektedir [19-20]. Rüzgâr hızı v 'ye bağlı olarak, Weibull olasılık dağılımı fonksiyonu $f(v)$,

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (8)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir [21]. Burada k şekil parametresini ifade ederken, c ölçek parametresi olarak adlandırılmaktadır [21]. Bu çalışmada, k parametresi 2.29, c parametresi 6.59 olarak belirlenmiş olup, bu değerler daha önce Hatiya Adası için yapılan rüzgâr enerjisi değerlendirme çalışmalarından alınmıştır [22]. Bu parametre değerleriyle oluşan Weibull dağılım fonksiyonu Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6 ve ada için yapılan rüzgâr enerjisi çalışmasında [22] verilen bilgiler analiz edildiğinde, adadaki rüzgâr hızlarının, yılın yarısında hatta biraz daha fazla süresinde, 6 m/s ve üzerinde seyrettiği görülebilmektedir. Buradan da, adanın, küçük çaplı bir rüzgâr türbininden güç elde etmek için yeterli potansiyele sahip olduğu sonucu çıkarılabilmektedir.



Şekil 6. Hatiya rüzgâr hızı Weibull olasılık dağılım fonksiyonu



Şekil 7. Hatiya rüzgâr enerjisi süreklilik (olasılık) eğrisi

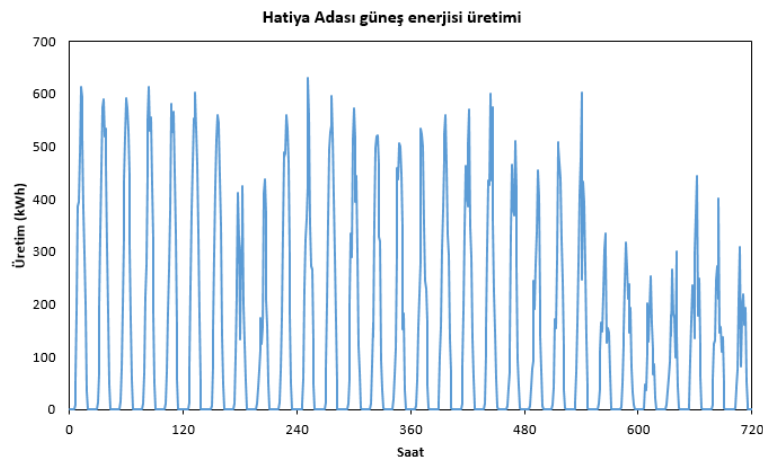
Bir yerde belli bir rüzgâr hızının bulunması aynı zamanda o hıza ilişkin rüzgâr gücünün de oluşması farz edilerek, Weibull dağılım fonksiyonunu rüzgâr türbininin güç eğrisine, rüzgâr hızı aralıklarına türbin güç eğrisinde karşılık gelen değerleri kullanmak suretiyle entegre ettiğimizde, rüzgâr enerjisi için süreklilik (olasılık) eğrisine ulaşılmış oluruz. Elde edilen rüzgâr enerjisi süreklilik (olasılık) eğrisi Şekil 7’de gösterilmiştir.

3.2. Güneş Enerjisi İçin Süreklilik Eğrisinin Hesaplanması

Güneş enerjisi santralının güç (P_s) hesaplamaları için, bu çalışmada, yüzey boyunca ışıyan solar radyasyona bağlı olarak ifade edilen aşağıdaki Denklem 9’dan faydalanılmıştır.

$$P_s(I_{tr}) = \frac{I_{tr}}{1000} P_{dc0} (1 + \gamma(T_{cell} - T_{ref})) \eta \quad (9)$$

Burada, P_{dc0} DC etiket nominal güç değerini, T_{cell} solar hücre sıcaklığını, T_{ref} referans hücre sıcaklığını, γ sıcaklık katsayısını ve η DC’den AC’ye dönüşüm verim parametresini temsil etmektedir. Bu formülasyona ait daha detaylı bilgiler referans [23]’te bulunabilir. Hatiya adasına ait solar radyasyon değerleri için, adadan 74 km uzaklıktaki Chittagong şehri istasyonu Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL-National Renewable Energy Laboratory) 1982-2002 yılları arasındaki açık erişim verilerinden faydalanılmıştır [24]. Güç hesaplamalarında, yılın aynı zaman dilimleri için bu verilerin ortalamaları alınmıştır. Solar enerji hesaplamaları, Denklem 9’a dayalı olarak çalışan NREL’e ait PVWatts yazılımı ile gerçekleştirilmiştir [25]. Hesaplamalarda, sistem kapasitesi 1 MW, modül tipi standart, yerleşim tipi sabit ve sistem kayıpları %20 olarak seçilmiştir [14]. Ayrıca, yüzey boyunca ışıyan solar radyasyonun elde edilmesinde kullanılan geliş açısı parametresinin hesabı için azimut açısı 180° ve santral eğim açısı 23° (adanın enlem değeri [23]) olarak alınmıştır. Verim parametresinin hesaplanmasında, inverter verimi %96 ve DC’den AC’ye oranı 1.1 olarak belirlenmiştir [23]. T_{cell} , T_{ref} ve γ parametreleri 45°C , 25°C ve $-0.45\%^\circ\text{C}$ olarak seçilmiştir [10]. Adaya ilişkin haziran ayı için ortalama radyasyon değerlerine dayalı hesaplanan saatlik güneş enerjisi üretim eğrisi Şekil 8’de gösterilmiştir. Üretim eğrisi, histogramik bir yaklaşımla 40 kWh genlik değeri uygulanarak, Şekil 9’da gösterilen güneş enerjisi süreklilik (olasılık) eğrisine dönüştürülmüştür.



Şekil 8. Hatiya Adası için hesaplanan saatlik haziran ayı güneş enerjisi üretim eğrisi



Şekil 9. Hatiya Adası için hesaplanan saatlik haziran ayı güneş enerjisi üretim eğrisi

4. Sonuçlar

Süreklilik eğrilerinin elde edilmesinden sonra, bir sonraki adım eşdeğer süreklilik eğrilerinin, (2) ve (3) no'lu denklemlere dayalı, bilgisayarda MATLAB® yazılımında oluşturulan algoritma yardımıyla hesaplanması olmuştur. Daha sonra bu adımı TEÜA, TEÜ, TEÜM ve TEÜAR parametrelerinin tipik bir güne ait talep profili için hesaplanması izlemiştir. Hesaplamalarda, servis önceliği herhangi bir yakıt masrafı olmayan rüzgâr ve güneş enerji santrallerine verilmiştir. Hesaplama sonuçları Çizelge 4'te gösterilmiştir. Hesaplamalar sonucunda, planlanan ada sisteminin elektrik üretim birimlerinin, adadaki elektrik talebini karşılayamayacağı ve bu durumun elektrik kesintilerine neden olacağı tahmin edilmektedir. Bu elektrik kesintilerinin neden olabileceği ekonomik ve sosyal sorunların önlenmesi için, şebekedeki elektrik tedarik alternatiflerinin kesintiye mahal vermeyecek şekilde planlanması gerekmektedir. Elektrik tedarik alternatiflerinde, ada kaynaklarının potansiyelleri de göz önünde bulundurularak, yenilenebilir enerjinin payı artırılarak elektrik üretim maliyetinin düşürülmesi değerlendirilebilir. Bunun dışında sistemin halihazırda planlandığı şekliyle kurulması durumunda, eğer adada hastane gibi insan hayatını doğrudan etkileyen tesisler var ise, bu tesislerin olabilecek elektrik kesintilerine karşı hazırlıklı olması gerekmektedir.

Çizelge 4. Planlama parametrelerinin hesaplama sonuçları.

TEÜA üretim olmaması durumu (kWh)	2285.2
TEÜA rüzgâr santrali üretimi sonrası (kWh)	2143.2
TEÜA güneş enerji santrali üretimi sonrası (kWh)	2007.1
TEÜA dizel jeneratör üretimi sonrası (Nihâi TEÜA) (kWh)	100.4
TEÜ rüzgar santrali (kWh)	142.3
TEÜ güneş enerji santrali (kWh)	136.1
TEÜ dizel jeneratör (kWh)	1906.7
TEÜM (\$/h)	309
TEÜAR (%)	4.9

Elektrik talebindeki değişken yapıya ilaveten süresiz üretim karakteristiğine sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının her geçen gün artması şebekelerdeki belirsizliklerin artmasına neden olabilmektedir. Bu belirsizlikler ve şebeke tekno-ekonomik kısıtları, şebeke

güvenliğini sağlamak için verimli planlama prosesleri ihtiyacı doğurmaktadır. Bu çalışmada, planlama proseslerinin ihtiyaç duyabileceği bazı önemli parametrelerin üretim-talep süreklilik eğrileri ile olasılıksal bir biçimde hesaplanması işlenmiştir. Çalışmada, şebekeden bağımsız çalışan bir ada sistemi örneği ele alınarak, bu sistem için parametreler hesaplanmış ve hesaplama sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Çalışma sonuçları, yapılan yatırımların fizibilite çalışmaları ve karar verme mekanizmalarında faydalı olacaktır. Gelecek çalışmalarda, hesaplamalar daha geniş sistemler için yapılabilecek ve göz ardı edilen bazı unsurların dikkate alınmasıyla, farklı üretim-talep tahmin yöntemleriyle hesaplamaların doğruluğu arttırılabilecektir.

Kaynaklar

- [1] Kieffer G, Couture TD. Renewable energy target setting. International Renewable Energy Agency, Tech. Rep; June 2015.
- [2] The European Parliament and of the Council. EU directive on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing directives 2001/77/EC and 2003/30/EC; 2009.
- [3] US DOE Tech. Rep. U. D. of Energy Office of Scientific Technical Information, 20 percentage wind energy by 2030, increasing wind energy contribution to us electricity supply; 2008.
- [4] Strbac G. Demand side management: Benefits and challenges. Energy Policy 2008; 36(12): 4419–4426.
- [5] Garver LL. Effective load carrying capability of generating units. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems 1966, PAS-85(8):910–919.
- [6] Hobbs BF, Hu MC, Iñón JG, Stoft SE, Bhavaraju MP. A dynamic analysis of a demand curve-based capacity market proposal: The PJM reliability pricing model. IEEE Transactions on Power Systems 2007, 22(1): 3–14.
- [7] Deutsche Energie-Agentur GmbH. Planning of the grid integration of wind energy in Germany onshore and offshore up to the year 2020 (dena-Grid study I) (in German). <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/studie-dena-netzstudie-i/>, 2005.
- [8] Söder L, Bubenko J. Capacity credit and energy value of wind power in hydro-thermal power system. In: 9th Power System Computation Conference, Lisbon, Portugal; 1987.
- [9] Wijk AV. Wind energy and electricity production. Doctoral thesis, Utrecht University, Netherlands, 1990.
- [10] Castro RMG, Ferreira LAFM. A comparison between chronological and probabilistic methods to estimate wind power capacity credit. IEEE Transactions on Power Systems 2001, 16(4):904–909.
- [11] Milligan MR. Modeling Utility-Scale Wind Power Plants, Part 2: Capacity Credit. Technical Report, National Renewable Energy Laboratory, USA, 2002.
- [12] Söder L, Amelin M. Efficient Operation and Planning of Power Systems. 11th ed. Stockholm, Sweden: KTH Royal Institute of Technology, 2011.
- [13] Ülker MA. Balancing of wind power: Optimization of power systems which include wind power systems. MSc, Uppsala University, Visby, Sweden, 2011.
- [14] Bangladesh: Power System Efficiency Improvement Project (PSEIP). Asian Development Bank, 2011.
- [15] BPC (Bangladesh Petroleum Corporation) internet sayfası. <http://www.bpc.gov.bd/contactus.php?id=39> Erişim tarihi: Aralık 2016.
- [16] Bachmann R, Nielsen H, Warner J, Kehlhofer R. Combined – Cycle Gas & Steam Turbine Power Plants. 2nd ed. Tulsa, OK, USA: Pennwell Books, 1999.
- [17] Sarkar ZI, Biswas PR, Mazumder GC. Optimal design of a hybrid power generation system: a case study in an island. Academia.edu, 2014.
- [18] WindPRO yazılımı versiyon 3.0.639. <https://www.emd.dk/windpro/> Erişim tarihi: Ekim-Aralık 2016.
- [19] Xiao YQ, Li QS, Li ZN, Chow YW, Li GQ. Probability distribution of extreme wind speed and its occurrence interval. Engineering Structures 2006, 28(8): 1173-1181.

- [20] Akpınar EK, Akpınar S. Statistical analysis of wind energy potential on the basis of the Weibull and Rayleigh distributions for Agin-Elazığ, Turkey. *Journal of Power and Energy* 2004, 218: 557-565.
- [21] Weibull W. A statistical distribution of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics* 1957, 18: 293–297.
- [22] Azad A, Rasul M, Alam M, Uddin SA, Mondal SK. Analysis of wind energy conversion system using Weibull distribution. *Procedia Engineering* 2014, 90: 725 – 732.
- [23] Dobos AP. PVWatts Version 5 Manual. Technical Report, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA, 2014.
- [24] NREL açık erişim güneş enerjisi verileri internet sayfası. <http://en.openei.org/wiki/SWERA/Data> Erişim tarihi: Ekim-Aralık 2016.
- [25] NREL PVWatts yazılımı internet sayfası. <http://pvwatts.nrel.gov/> Erişim tarihi: Ekim-Aralık 2016.