

# YÜKSEK RÜZGÂR KATILIM ORANLI ŞEBEKE PLANLAMASI İÇİN OLASILIKSAL GÜÇ AKIŞI ANALİZİ

İbrahim Küçük, Engin Karatepe  
(ibrahimkucuk28@gmail.com, engin.karatepe@ege.edu.tr)

Güneş Enerjisi Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir

## ÖZET

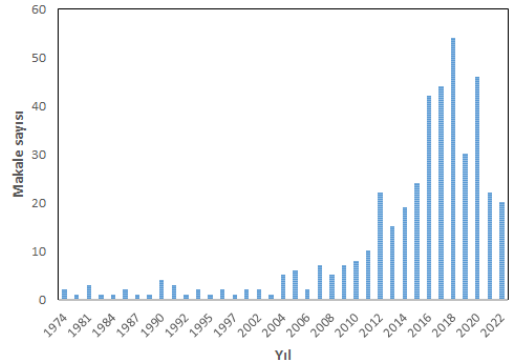
Güç akışı analizi şebekenin kısa ve uzun dönemde güvenilir bir şekilde işletilmesinin denetlenmesinde çok önemli bir role sahiptir. Yük değişimi ile birlikte kesikli bir karakteristiğe sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının katılım oranlarının giderek artması güç akışında değişikliklere sebep olmaktadır. Bu noktada bara gerilim ve hat akışlarının belirlenen sınırlar içinde kalıp kalmadığının olasılığının belirlenerek, olası senaryoların sonuçlarının ölçülebilir ve kıyaslanabilir büyüklükler ile ifade edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada yüklerin ve rüzgâr santrallerinin stokastik davranışları göz önüne alınarak IEEE 24 bara test sistemi üzerinde ve çeşitli rüzgâr santrali penetrasyonu seviyelerinde Monte Carlo Simülasyon yöntemi kullanılarak bara gerilim ve güç akışlarının olasılık dağılım fonksiyonları üzerinden gerilim ve hat kapasitelerindeki ihlal olasılıkları incelenmiştir. Dört farklı rüzgâr penetrasyon senaryosu oluşturularak gerçekleştirilen analizlerde rüzgâr katılım oranının güç akışı üzerindeki etkileri olasılıksal bakış açısıyla ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç Sistemleri, Rüzgâr, Olasılıksal Güç Akış Analizi, Monte Carlo Simülasyon

## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin iletilmesi ve dağıtılmasında şebekenin güvenilir ve güvenli sınırlar içinde çalışacak şekilde işletilmesi ve planlanması gerekir. Bu bağlamda bara güç dengesi denklemlerinin eşzamanlı çözümüne dayalı güç akışı ya da yük akışı olarak bilinen sayısal analizi, bir elektrik şebekesinin verilen belirli girdi değişkenleri altında bara gerilimlerinin ve iletim hatlarından akan aktif ve reaktif güçlerin belirlenmesinde kullanılır. Güç akışı analizi şebekenin kısa ve uzun dönemde güvenilir bir şekilde işletilmesinin denetlenmesinde çok önemli bir role sahiptir [1]. Yük değişimi ile birlikte çıkış gücü kesikli bir karakteristiğe sahip rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekelerindeki katılım oranlarının giderek artması hem bara gerilimlerinde hem de hat akışlarında önemli değişimlere sebep olmaktadır [2]. Bu noktada bara gerilim ve hat

akışlarının belirlenen sınırlar içinde kalıp kalmadığının olasılığının belirlenerek, olası senaryoların sonuçlarının ölçülebilir ve kıyaslanabilir büyüklükler ile ifade edilmesi gerekmektedir [3]. Bu nedenle özellikle son yıllarda olasılıksal güç akışı analizine yönelik çalışmalar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 1'de Web of Science ortamında probabilistic power/load flow anahtar kelimesi kullanılarak yapılan aramada yayınların yıllara göre değişimi görülmektedir.



Şekil 1. Web of Science ortamında olasılıksal güç akışı analizi makaleleri

Olasılıksal güç akışı analizlerinin 1970’li yıllarda başladığı görülürken [4, 5], özellikle 2000’li yıllarda rüzgâr ve güneş enerjisi kaynaklarının yaygınlaşması ile birlikte olasılıksal yaklaşım temelli analizlerin daha sık kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

Olasılıksal güç akışı analizinde kullanılan yöntemler olasılık yoğunluk fonksiyonlarının konvolüsyonuna dayanan analitik yöntemler [6-8], sayısal yöntemler olarak Monte Carlo Simülasyonu [9-11] ve nokta tahmin yöntemi ana başlıklarında gruplandırılabilir [12-14]. Olasılıksal güç akışı analizindeki belirsizlikler ise tüketim–üretim kaynaklı ve şebeke kaynaklı olmak üzere iki kategori altında toplanabilir [15]. Tüketim–üretim kategorisinde yük talebinin belirsizlik modelleri, çıkış gücü rüzgâr hızına ve ışınımına bağlı rüzgâr ve güneş enerjisi santrallerinin modelleri, elektrikli araçların tüketim karakteristikleri, elektrik fiyatlarındaki belirsizlikler ele alınırken, şebeke kategorisinde bir birimin devre dışı kalması ve iletim sistemi parametrelerindeki belirsizlikler analizlere dâhil edilebilmektedir [16]. Bu bildiri çalışmasında, rüzgâr ve yük belirsizlikleri altında Monte Carlo Simülasyonu kullanılarak bara gerilimlerinin ve hat akışlarının olasılık dağılım fonksiyonları elde edilerek gerilim ve hat kapasitelerindeki ihlal olasılıkları incelenmiştir. Konvansiyonel santrallerin yerini zamanla stokastik bir karakteristiğe sahip rüzgâr enerji santrallerinin aldığı dört farklı senaryonun karşılaştırılması IEEE 24 baralı test sistemi üzerinde olasılıksal güç akışı analizi ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde test sistemi ile birlikte yük ve rüzgâr belirsizliklerinin modelleri sunulacaktır.

Üçüncü bölümde oluşturulan senaryolar ve olasılıksal güç akışı modeli uygulanırken bara karakteristikleri açısından kısıtlar anlatılacak ve ele alınan senaryolar altında şebekede bara gerilimleri ve hat kapasitelerinde oluşan ihlal olasılıkları karşılaştırılacaktır. Sonuç ve gelecekteki çalışmalar için öneriler son bölümde verilmiştir.

## 2. TEST SİSTEMİ VE GÜÇ AKIŞI MODELİ

Bu çalışmada, yenilenebilir enerjinin şebekedeki artışı göz önüne alınarak, farklı rüzgâr enerjisi katılım oranlarında yük ve rüzgâr gücünün olasılıksal davranışı Monte Carlo Simülasyon yöntemi ile dâhil edilerek güç akışı analizleri gerçekleştirilmiştir. Tüm modeller ve analizler Matlab ortamında yürütülmüştür. Test sistemi ve modeller ile ilgili bilgiler takip eden bölümlerde sunulmuştur.

### 2.1 Test Sistemi

Gerçekleştirilen analizlerde IEEE Reliability Subcommittee tarafından yayınlanan 24 baralı test sistemi kullanılmıştır [17]. Test sistemi, Şekil 2’de de görülebileceği üzere 138 ve 240 kV olmak üzere iki farklı yüksek gerilim seviyesi içermektedir. Test sisteminin tüm bilgileri referans kaynaktan detaylı bir şekilde belirtildiği için bu çalışmada hat empandasları, yük miktarları gibi detaylar sunulmazken, bu çalışmada önemli görülen bazı karakteristik özelliklere yer verilecektir. Bu test sisteminin toplam yükü 2850 MW iken, bu yük sistemin bir yıl içinde gördüğü tepe yük değeridir. Toplam üretim kapasitesi ise 3405 MW büyüklüğündedir. Bu üretim kapasitesi 10 farklı bara üzerinden 32 üretim

biriminden oluşmaktadır. Test sisteminin 138 kV bölümündeki iletim hatlarının kapasitesi 175 MVA büyüklüğünde iken, 230 kV'luk bölümde bu değer 500 MVA'dır. Transformatörlerin kapasitesi ise 400 MVA büyüklüğündedir.

## 2.2 Rüzgâr Santrali Bağlanan Baraların Modellenmesi

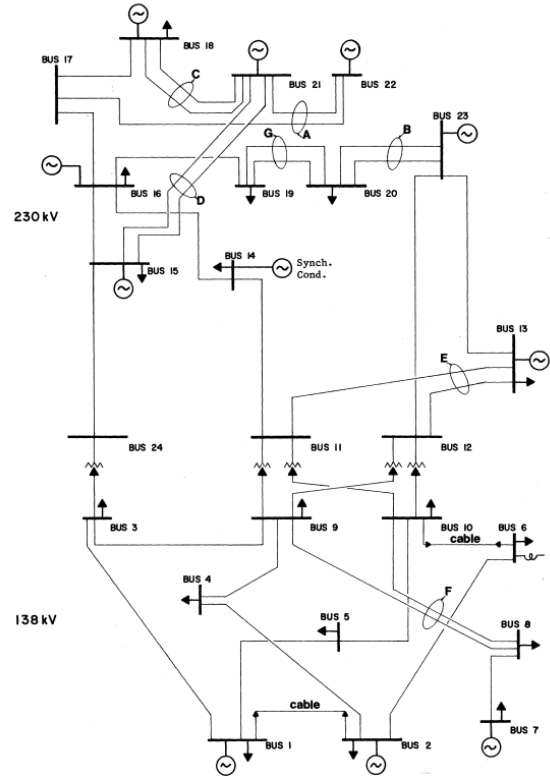
Günümüzde kurulan rüzgâr enerji santrallerinin yeteneklerine ve uygunluk göstermeleri gereken şebeke yönetmeliklerine baktığımızda, en sık karşılaşılan gereksinimlerden birisi rüzgâr santrallerinin anma güç değerinde 0.95 güç faktörüne karşılık gelecek reaktif güç kapasitesine sahip olmalarıdır. Düşük üretim değerlerinde ise reaktif güç kapasitesi gereksiniminde farklı yaklaşımlar olabilmektedir [18, 19, 20]. Büyük termik santrallerin şebekeden ayrılması ve rüzgâr santrallerinin şebekedeki payının artması ile rüzgâr santrallerinden de gerilim kontrolü yönetmelikler aracılığı ile talep edilmektedir [18]. Bu nedenle, bu çalışmada rüzgâr santrallerinin bağlı olduğu olduğu baralar PV bara olarak modellenmiştir.

Baralardaki rüzgâr santrallerinin reaktif güç kapasiteleri, santrallerin şebeke yönetmelikleri ile uygunluk göstereceği varsayılarak, kurulu güce göre 0.95 güç faktörü sağlayacak şekilde belirlenmiş ve bu reaktif güç kapasitesinin tüm aktif güç aralığında geçerli olduğu kabul edilmiştir. Rüzgâr hızının çok düşük olduğu olduğu koşullarda, yani rüzgâr santralının aktif olmadığı senaryolarda, rüzgâr santrallerinin bağlı olduğu baralar PQ baraya dönüşecek şekilde güç akışı

analizinde kullanılan model ve algoritmalar geliştirilmiştir.

## 2.3 Yükün Olasılıksal Modeli

Sistemdeki tüm yüklerin olasılıksal davranışı normal dağılım kullanılarak modellenmiştir. Normal dağılımın ortalama değeri referans kaynaktan verilen yük değeri olarak alınmıştır, bu değer tepe değeri olduğu unutulmamalıdır, ve standart sapması %25 olarak tanımlanmıştır. Burada, %25'lik standart sapmanın olasılığı çok düşük yüksek yük değerlerine sebep olacağı nedeniyle, yükün artış olarak gidebileceği en yüksek değer IEEE 24 bara test sisteminde belirtilen tepe yük değerinin %10 fazlası olabilecek şekilde sınırlandırılmıştır.



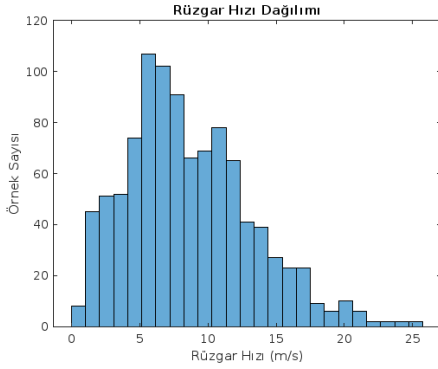
Şekil 2. IEEE 24 baralı test sistemi

## 2.4 Rüzgâr Gücünün Olasılıksal Modeli

Literatürde rüzgâr hızının dağılımı için Weibull dağılımı kullanılmaktadır. Weibull dağılımı denklem (1)'de belirtilen şekilde ifade edilebilmektedir.

$$f(v) = \frac{\beta}{n} \left(\frac{v}{n}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{v}{n}\right)^\beta} \quad (1)$$

burada  $v$  rüzgâr hızı,  $\beta$  şekil parametresi ve  $n$  ise ölçek parametresidir. Bu çalışmada  $\beta$  ve  $n$  sırasıyla 2 ve 10 olarak alınmıştır ve bu değerlere karşılık gelen rüzgâr hızı dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Rüzgâr hızının dağılımı

Bu çalışmada 5 MW güce sahip bir rüzgâr türbini olduğu kabul edilmiştir. Türbinin devreye girme ve çıkma hızları sırasıyla 3.68 m/s ve 25 m/s alınmıştır.

## 3. SİMULASYON VE SENARYOLAR

Bu bölümde oluşturulan senaryolar ve elde edilen sonuçlar sunulacaktır. Rüzgâr hızının ve yüklerin olasılıksal davranışını betimleyebilmek için 1000 adet örneklem oluşturulmuştur. Bu örneklem ikinci bölümde belirtilen dağılım fonksiyonlarından rastgele çekilerek oluşturulmuş ve elde edilen bu

örneklem seti kaydedilerek oluşturulan dört farklı senaryo altında olasılıksal güç akışı analizlerinde kullanılmıştır.

### 3.1 Senaryolar

Günümüzde rüzgâr enerji santrallerinin artış hızı ve buna paralel olarak devreden çıkarılan termik ve nükleer santraller göz önüne alınarak, bu çalışmada dört adet senaryo oluşturulmuştur. İlk senaryoda sadece yük belirsizliği düşünülmüş ve rüzgâr enerjisinin kullanılmadığı kabul edilmiştir ve bu senaryo referans senaryo ile anılacaktır. Takip eden üç adet senaryoda ise, her bir senaryoda yaklaşık rüzgâr kapasitesinde %20 katılım oranı artışı olacak şekilde mevcut santrallerden bazıları devreden çıkartılmıştır. Bu senaryoların belirlenmesindeki temel strateji büyük fosil yakıt bazlı santrallerin öncelikli olarak devreden çıkartılması şeklinde olmuştur. Bazı baralarda aynı büyüklükte birden çok birim olduğundan, bu baralardaki birimler her senaryoda kademeli olarak devreden çıkartılmıştır. Örneğin, 7 numaralı barada  $3 \times 100$  MW petrol bazlı çalışan bir santral vardır ve her bir senaryoda bu baradaki birimler birer birer eksiltiştir. IEEE 24 baralı test sisteminde bulunan üretim birimleri, yakıt tipleri ve reaktif güç kapasiteleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Sistemdeki Üretim Birimleri ve Datalar

Güç	Minimum MVar	Maksimum MVar	Yakıt Tipi
12	0	6	Petrol
20	0	10	Petrol
50	-10	16	Hidro
76	-25	30	Kömür
100	0	60	Petrol
155	-50	80	Kömür
197	0	80	Petrol
350	-25	150	Kömür
400	-50	200	Nükleer

Tablo 2. Senaryolar ve devreye alınan, devreden çıkartılan üretim birimleri.

	Devreden Çıkarılanlar	Devreye Alınanlar	Toplam Penetration
<b>Senaryo 1 (referans)</b>	-	-	%0 (0 MW /3405 MW)
<b>Senaryo 2</b>	Bara 1: -20 ve -76 Bara 2: -20 ve -76 Bara 7: -100 Bara 23: -155 Bara 13: -197	Bara 19: +100 Bara 9: +300 Bara 1: +150 Bara 13: +150	%20.2 (700 MW / 3461 MW)
<b>Senaryo 3</b>	Bara 1: -20 ve -76 Bara 2: -20 ve -76 Bara 7: -100 Bara 23: -155 Bara 13: -197	Bara 7: +150 Bara 12: +300 Bara 23: +150 Bara 5: +100	%39.8 (1400 MW / 3517 MW)
<b>Senaryo 4</b>	Bara 7: -100 Bara 13: -197 Bara 23: -350	Bara 13: +150 Bara 7: +150 Bara 24: +300 Bara 20: +100	%58.8 (2100 MW /3570 MW)

Rüzgâr enerji santralleri her senaryoda üç temel strateji dikkate alınarak baralara yerleştirilmiştir. Bu stratejilerden birincisi, mevcut iletim yapısını kullanabilmek amacı ile devreden çıkan fosil yakıtlı tesislerin olduğu baralara ekleme yapmaktır. İkincisi, 138 kV ve 240 kV sistem arasındaki iletim hatlarının olduğu bölgeyi rüzgâr santralleri açısından uygun arazi kabul edip, bu bölgedeki baralara ekleme yapmaktır. Üçüncü ise, önceden hiç üretim olmayan baralara dağıtık üretim felsefesi ile ekleme yapmaktır. Her senaryoda bu kategorilere girecek en az bir ekleme yapılmıştır.

Tüm düzenlemeler sonucunda, sistemde referans senaryodan geriye sadece bara 22'de 300 MW boyutunda hidroelektrik santrali ve frekans stabilitesini gözetmek amacı ile devreye hızla girebilecek olan 5x12 MW kombinasyonuna sahip bara 15'deki fosil yakıt bazlı santral, bara 18 ve 21'deki nükleer santral ve bara 15'deki bir kömür santrali kalmıştır. Senaryolarda yapılan değişiklikler Tablo 2'de özetlenmiştir.

### 3.2 Simülasyon Sonuçları

Gerçekleştirilen olasılıksal güç akışı analizleri sonucunda her senaryoya ilişkin her bir bara geriliminin ve hat akışının kümülatif dağılım fonksiyonları elde edilmiştir. Kümülatif dağılım fonksiyonu bir rastgele değişkenin belirtilen bir değerden küçük veya ona eşit olma olasılığını kolaylıkla bulmak için kullanılmıştır. Burada, normal çalışma gerilim aralığı 0.95 pu ve 1.05 pu arası olarak kabul edilmiş ve bara gerilimlerine ait kümülatif olasılık değerleri Tablo 3'te sunulmuştur. Tablo 4'te ise iletim hatlarındaki kapasite aşımalarına ait ihlal olasılıkları görülmektedir.

Tablo 3'e bakıldığında, referans senaryoda birçok barada gerilimin 0.95 pu altına düşme olasılığının yüksek olduğu görülmektedir. Aynı senaryo için Tablo 4'te hat ihlal olasılıkları incelendiğinde, sistemin 138 kV bölgesindeki hatlarda ihlal olasılıklarının yüksek olduğu gözlenmektedir. Senaryo 2'yi incelediğimizde ise, çeşitli baralardan yapılan rüzgâr enerji

Tablo 3. Bara gerilimleri ve senaryolara karşılık gelen olasılık dağılımları

Bara	0.95 ve 1.05 pu için kümülatif olasılık değerleri, $P(X \leq x)$							
	Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3		Senaryo 4	
	0.95	1.05	0.95	1.05	0.95	1.05	0.95	1.05
1	0	1	0	1	0	1	0	1
2	0.194	1.00	0.036	1	0	1	0	1
3	0.987	0.988	0.814	0.994	0.557	0.998	0.501	0.989
4	0.9849	0.986	0.546	0.991	0.449	0.993	0.545	0.978
5	0.840	0.990	0.389	0.997	0.261	1	0.346	1
6	0.938	0.995	0.466	0.996	0.388	0.995	0.538	0.990
7	0.019	1	0.038	1	0.068	1	0.238	1
8	0.881	0.992	0.186	0.998	0.214	0.998	0.394	0.990
9	0.991	0.991	0.172	1	0.204	1	0.246	1
10	0.733	0.993	0.026	0.996	0.253	0.996	0.320	0.990
11	0.536	0.990	0.132	0.997	0.164	0.999	0.155	0.989
12	0.863	0.995	0.186	0.996	0.138	1	0.142	1
13	0.089	1	0.044	1	0.077	1	0.131	1
14	0.072	1	0.039	1	0.068	1	0.112	1
15	0.019	1	0.037	1	0.068	1	0.101	1
16	0.019	1	0.032	1	0.053	1	0.120	1
17	0.019	1	0.007	1	0.006	1	0.017	1
18	0.019	1	0	1	0	1	0	1
19	0.018	0.999	0.027	1	0.047	1	0.122	1
20	0.018	0.999	0.025	0.999	0.038	0.997	0.017	1
21	0.019	1	0	1	0	1	0	1
22	0.012	1	0	1	0	1	0	1
23	0.019	1	0.025	1	0.038	1	0.123	1
24	0.991	0.991	0.76	0.999	0.522	0.998	0.183	1

entegrasyonunun şebekenin gerilim dağılımını düzenlediği ve gerilimin birçok barada 0.95 pu altına düşme olasılığının azaldığı görülmüştür. Bunun sebeplerinden birisi rüzgâr entegrasyonu ile daha fazla barada gerilim kontrolü yapılmaya başlanmış olmasıdır. Ayrıca, büyük üretim birimlerinin devreden çıkması ve dağıtık üretimin etkisi ile hatlardaki aşırı yüklenme olasılıkları da azalmıştır. Senaryo 1'den Senaryo 4'e rüzgâr entegrasyon seviyesi arttıkça güç akışında bir değişiklik ve bu değişikliğe karşılık gerilimlerin kümülatif olasılık değerlerinde değişim olduğu açıktır. Bu noktada, bütçe ve teknik altyapı seçenekleri ve alınacak risk seviyelerine göre düzeltici veya önleyici yatırımların belirlenmesinde olasılık güç akışı analizi destekleyici etkin bir araç olarak

planlama sürecinde kullanılabilceği görülmektedir.

#### 4. SONUÇ

Bir şebekeden konvensiyonel fosil yakıtlı santrallerin çıkartılmasının ve yerine stokastik davranış gösteren rüzgâr santrallerinin eklemesinin, şebekenin davranışına etkisi olacağı açıktır. Ancak bu çalışma göstermiştir ki, bu etki sadece performansı düşürücü yönde değil, aynı zamanda arttırıcı şekilde de olabilir. Eğer bir şebeke yüksek miktarda rüzgâr enerjisi entegrasyonu planlıyorsa, bu entegrasyonun güç akışında çok büyük etkileri olacağı açıkça görülmüştür. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, stokastik çalışmalar aracılığı ile

şebekenin hangi noktalarının potansiyel olarak desteklenmeye/yenilenmeye ihtiyacı olduğu ortaya çıkmaktadır. İletim veya dağıtım operatörleri, kabul ettikleri oranda riski göze almalı veya şebekenin ihtiyacı olan güncellemeleri yapmalıdırlar.

Tablo 3. İletim hatlarında kapasite ihlal olasılıkları

Hatlar (bağlı oldukları baralar)	Kapasite İhlal Olasılıkları, $P(X \geq x)$			
	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4
1-2	1	0.618	0.544	0.781
1-3	0.705	0.491	0.466	0.519
2-4	0.038	0.306	0.422	0.573
1-5	0.532	0.321	0.487	0.712
2-6	0.007	0.006	0.043	0.140
7-8	0.649	0.006	0.019	0.251
3-9	0.009	0.007	0.004	0.010
4-9	0.9395	0.630	0.527	0.498
8-9	0.011	0.002	0.004	0.013
5-10	0.986	0.630	0.491	0.635
6-10	0.970	0.660	0.536	0.460
8-10	0.012	0.005	0.004	0.016
9-11	0.008	0.004	0.001	0.011
(Trafo) 10-11	0.008	0.004	0.002	0.011
(Trafo) 9-12	0.005	0.003	0.005	0.011
(Trafo) 10-12	0.005	0.004	0.095	0.077
(Trafo) 11-13	0.009	0.004	0.003	0.011
12-13	0.007	0.003	0.007	0.012
11-14	0.014	0.004	0.002	0.013
14-16	0.014	0.014	0.019	0.086
15-16	0.015	0.005	0.004	0.016
16-17	0	0	0	0
17-18	0.016	0.005	0.004	0.017
16-19	0.001	0.006	0.005	0.014
19-20	0.001	0.003	0.004	0.014
19-20	0.001	0.003	0.004	0.014
15-21	0.011	0.002	0.002	0.003
15-21	0.011	0.002	0.002	0.003
18-21	0.014	0.003	0.002	0.004
18-21	0.014	0.003	0.002	0.004
17-22	0	0	0	0
21-22	0	0	0	0
12-23	0.004	0.003	0.003	0.012
13-23	0.009	0.004	0.004	0.008
20-23	0.011	0.003	0.004	0.015
20-23	0.011	0.003	0.004	0.015
3-24	0.009	0.002	0.002	0.280
(Trafo) 15-24	0.0097	0.002	0.004	0.014

## REFERANSLAR

- [1] X.F. Wang, Y. Song, M. Irving, Modern power system analysis, Springer, 2008.
- [2] Xiaoyang Deng, Pei Zhang, Kangmeng Jin, Jinghan He, Xiaojun Wang and Yuwei Wang, Probabilistic load flow method considering large-scale wind power integration, Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, Vol. 7, 2019.
- [3] Gunes Becerik Mir, Engin Karatepe, Stochastic AC Transmission Expansion Planning: A Chance Constrained Distributed Slack Bus Approach With Wind Uncertainty, IEEE Access, Vol. 10, 2022.
- [4] Barbara Borkowska, Probabilistic load flow, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, Issue 3, 1974.
- [5] R.N. Allan, B. Borkowska, C.H. Grigg, Probabilistic analysis of power flows, Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, Vol. 121, Issue 12, 1974.
- [6] Yi Wang, Ning Zhang, Qixin Chen, Jingwei Yang, Chongqing Kang, Junhui Huang, Dependent Discrete Convolution Based Probabilistic Load Flow for the Active Distribution System, IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 8, Issue 3, 2017
- [7] J. Schwippe, O. Krause, C. Rehtanz, Probabilistic Load Flow Calculation based on an enhanced convolution technique, IEEE Bucharest PowerTech, 2009.

- [8] R. N. Allan, A. M. Leite Da Silva; R. C. Burchett, Evaluation Methods and Accuracy in Probabilistic Load Flow Solutions, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, Issue 5, 1981.
- [9] Gonzalo Esteban Constante-Flores, Mahesh S. Illindala, Data-Driven Probabilistic Power Flow Analysis for a Distribution System With Renewable Energy Sources Using Monte Carlo Simulation, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 55, Issue 1, 2019.
- [10] Guido Carpinelli, Pierluigi Caramia, Pietro Varilone, Multi-linear Monte Carlo simulation method for probabilistic load flow of distribution systems with wind and photovoltaic generation systems, Renewable Energy, Vol. 76, 2015.
- [11] Mohammad Reza Khalghani, Maryam Ramezani, Mostafa Rajabi Mashhadi, Probabilistic Power Flow Based on Monte-Carlo Simulation and Data Clustering to Analyze Large-Scale Power System in Including Wind Farm, IEEE Kansas Power and Energy Conference, 2020.
- [12] J. M. Moralesand, J. Perez-Ruiz, Point estimate schemes to solve the probabilistic power flow, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 22, Issue 4, 2007.
- [13] Xiaomeng Ai, Jinyu Wen, Tong Wu, Wei-Jen Lee, A Discrete Point Estimate Method for Probabilistic Load Flow Based on the Measured Data of Wind Power, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 49, Issue 5, 2013.
- [14] Yulong Che, Xiaoru Wang, Xiaoqin Lv, Yi Hu, Probabilistic load flow using improved three point estimate method, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 117, 2020.
- [15] B Rajanarayan Prusty, Debashisha Jena, A critical review on probabilistic load flow studies in uncertainty constrained power systems with photovoltaic generation and a new approach, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 69, 2017.
- [16] Ahmed F. Zobaa, Shady H.E. Abdel Aleem, Uncertainties in Modern Power Systems, Academic Press, 2020.
- [17] P. M. Subcommittee, IEEE Reliability Test System, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, Issue. 6, 1979.
- [18] IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Inverter-Based Resources (IBRs) Interconnecting with Associated Transmission Electric Power Systems, 22 April 2022.
- [19] Elektrik Şebeke Yöneteliği – EK 18, EPDK, 22 Nisan 2017.
- [20] İbrahim Küçük, Jean Derin Bourdon, Karşılaştırmalı IEEE ve Türkiye Şebeke Yönetmeliği Analizi: Std 2800 ve Ek-18, Güç Sistemleri Konferansı, 2022.