

RÜZGAR ÇİFTLİĞİ POTANSİYELİNİN GÜVENİLİRLİĞE DAYALI TEORİK DAĞILIMI

Serkan Eryılmaz¹ ve Femin Yalçın²

¹Atılım Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, serkan.eryilmaz@atilim.edu.tr

²İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, femin.yalcin@ikc.edu.tr



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

1. GİRİŞ

2. RÜZGAR ÇİFTLİĞİ POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ

3. RÜZGAR ÇİFTLİĞİ POTANSİYELİNİN DAĞILIMI

4. UYGULAMALAR

5. SONUÇ



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

1. GİRİŞ



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

1. GİRİŞ

Rüzgar enerjisi sisteminin temel bileşenleri olarak görev yapan rüzgar türbinlerinin performansını etkileyen **dışsal** ve **içsel** olmak üzere iki tür rastgelelik kaynağı vardır. Bunlardan dışsal olanı türbinin kurulu olduğu bölgedeki rüzgar rejimi, içsel olanı ise türbinin mekanik işleyişi ile ilgilidir ve içsel olan kaynak türbinin güvenilirliğini etkilemektedir.



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

1. GİRİŞ

Rüzgar enerjisi sisteminin temel bileşenleri olarak görev yapan rüzgar türbinlerinin performansını etkileyen **dışsal** ve **içsel** olmak üzere iki tür rastgelelik kaynağı vardır. Bunlardan dışsal olanı türbinin kurulu olduğu bölgedeki rüzgar rejimi, içsel olanı ise türbinin mekanik işleyişi ile ilgilidir ve içsel olan kaynak türbinin güvenilirliğini etkilemektedir.

Rüzgar türbininin güvenilirliği, türbinin belirli çevresel koşullar altında güç üretebilmesi olasılığıdır.



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

1. GİRİŞ

Rüzgar enerjisi sisteminin temel bileşenleri olarak görev yapan rüzgar türbinlerinin performansını etkileyen **dışsal** ve **içsel** olmak üzere iki tür rastgelelik kaynağı vardır. Bunlardan dışsal olanı türbinin kurulu olduğu bölgedeki rüzgar rejimi, içsel olanı ise türbinin mekanik işleyişi ile ilgilidir ve içsel olan kaynak türbinin güvenilirliğini etkilemektedir.

Rüzgar türbininin güvenilirliği, türbinin belirli çevresel koşullar altında güç üretebilmesi olasılığıdır.

Aynı model rüzgar türbini farklı bölgelere kurulduğunda bölgelerdeki farklı çevresel koşullar hem türbinin güvenilirliğini hem de rüzgar hızındaki değişimden dolayı türbinin üretim kapasitesini etkileyecektir. Dolayısıyla, bir rüzgar türbininin performansı (güç üretim kapasitesi) rüzgar hızı ve türbin güvenilirliği'ne bağlı bir rastgele değişkendir.



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

1. GİRİŞ

Rüzgar enerjisi sisteminin temel bileşenleri olarak görev yapan rüzgar türbinlerinin performansını etkileyen **dışsal** ve **içsel** olmak üzere iki tür rastgelelik kaynağı vardır. Bunlardan dışsal olanı türbinin kurulu olduğu bölgedeki rüzgar rejimi, içsel olanı ise türbinin mekanik işleyişi ile ilgilidir ve içsel olan kaynak türbinin güvenilirliğini etkilemektedir.

Rüzgar türbininin güvenilirliği, türbinin belirli çevresel koşullar altında güç üretebilmesi olasılığıdır.

Aynı model rüzgar türbini farklı bölgelere kurulduğunda bölgelerdeki farklı çevresel koşullar hem türbinin güvenilirliğini hem de rüzgar hızındaki değişimden dolayı türbinin üretim kapasitesini etkileyecektir. Dolayısıyla, bir rüzgar türbininin performansı (güç üretim kapasitesi) rüzgar hızı ve türbin güvenilirliği'ne bağlı bir rastgele değişkendir.

Bu çalışmada; farklı kapasitelere ve güvenilirlik değerlerine sahip olabilen rüzgar türbinlerinden oluşmuş bir rüzgar çiftliğinin elektrik üretim kapasitesinin teorik istatistiksel dağılımı ve ortalama üretim kapasitesi elde edilmiştir.



2. RÜZGAR ÇİFTLİĞİ POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

2. RÜZGAR ÇİFTLİĞİ POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ

M adet rüzgar türbininden oluşan bir rüzgar çiftliğini ele alalım. Rüzgar hızının rastgele değişken olması bir rüzgar türbini tarafından üretilen gücün de rastgele değişken olmasına neden olmaktadır. Rüzgar çiftliğinin kurulacağı ya da kurulu olduğu bölgedeki rüzgar hızı V rastgele değişkeni ile gösterilecek olursa rüzgar hızı ile türbinin ürettiği güç arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır ([5]).



2. RÜZGAR ÇİFTLİĞİ POTANSİYELİNİN MODELLENMESİ

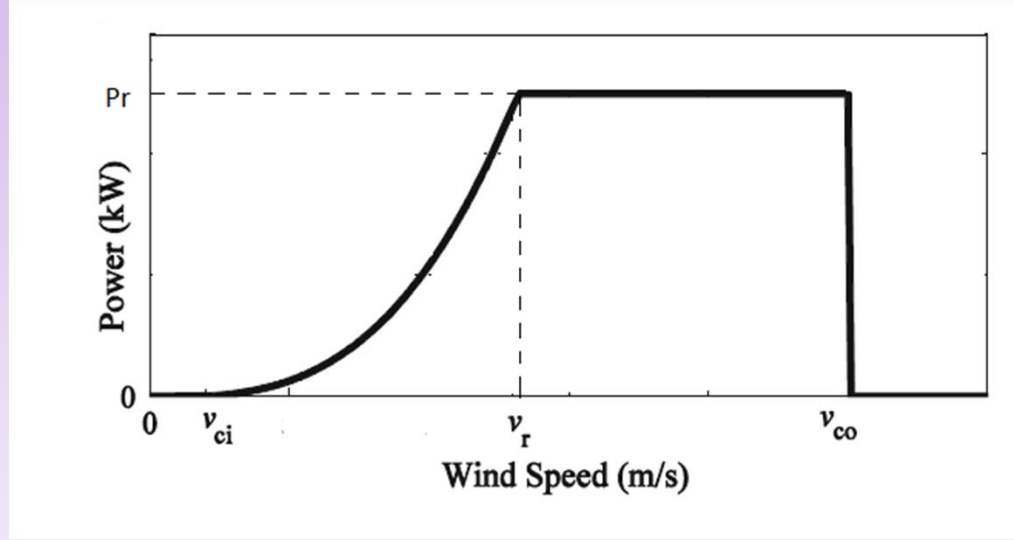
M adet rüzgar türbininden oluşan bir rüzgar çiftliğini ele alalım. Rüzgar hızının rastgele değişken olması bir rüzgar türbini tarafından üretilen gücün de rastgele değişken olmasına neden olmaktadır. Rüzgar çiftliğinin kurulacağı ya da kurulu olduğu bölgedeki rüzgar hızı V rastgele değişkeni ile gösterilecek olursa rüzgar hızı ile türbinin ürettiği güç arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır ([5]).

$$P_{WT}^{(j)} = \begin{cases} 0, & v < v_{ci} \text{ veya } v \geq v_{co} \text{ ise,} \\ P_r \frac{(v^3 - v_{ci}^3)}{(v_r^3 - v_{ci}^3)}, & v_{ci} \leq v < v_r \text{ ise,} \\ P_r, & v_r \leq v < v_{co} \text{ ise.} \end{cases} \quad (1)$$

Burada $P_{WT}^{(j)}$ jnci rüzgar türbininin ürettiği gücü, v_{ci} türbinin devreye girme rüzgar hızını (cut-in wind speed), v_r türbinin nominal güce ulaştığı rüzgar hızını (rated wind speed), v_{co} türbinin devreden çıkma rüzgar hızını (cut-out rüzgar hızı), P_r türbinin nominal gücünü ve v rüzgar hızını ifade etmektedir.

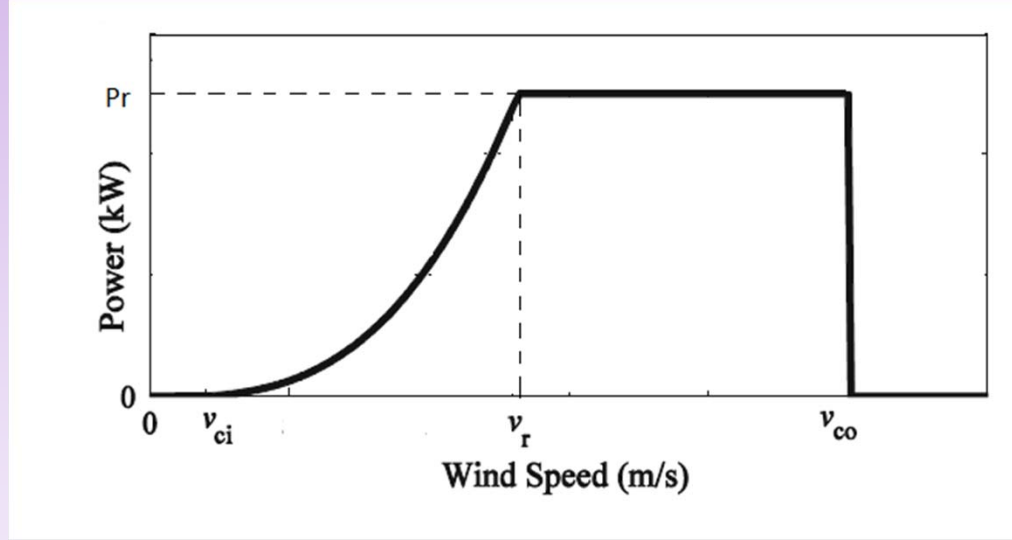


Bir rüzgar türbinine ait güç eğrisi Şekil 1'deki gibidir.



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

Bir rüzgar türbinine ait güç eğrisi Şekil 1'deki gibidir.



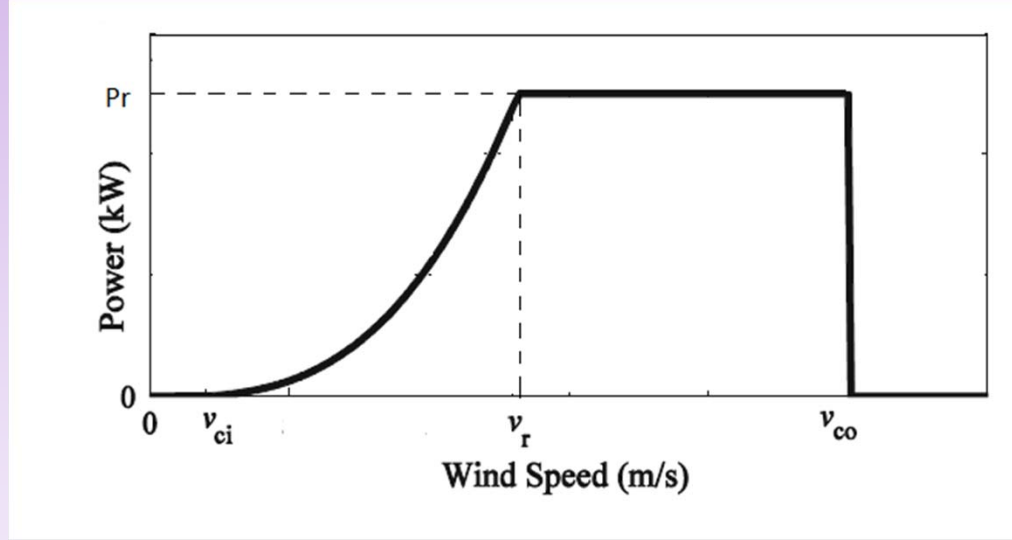
Rüzgar hızı;

- v_{ci} değerinin altında olduğunda türbin güç üretememektedir,



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

Bir rüzgar türbinine ait güç eğrisi Şekil 1'deki gibidir.



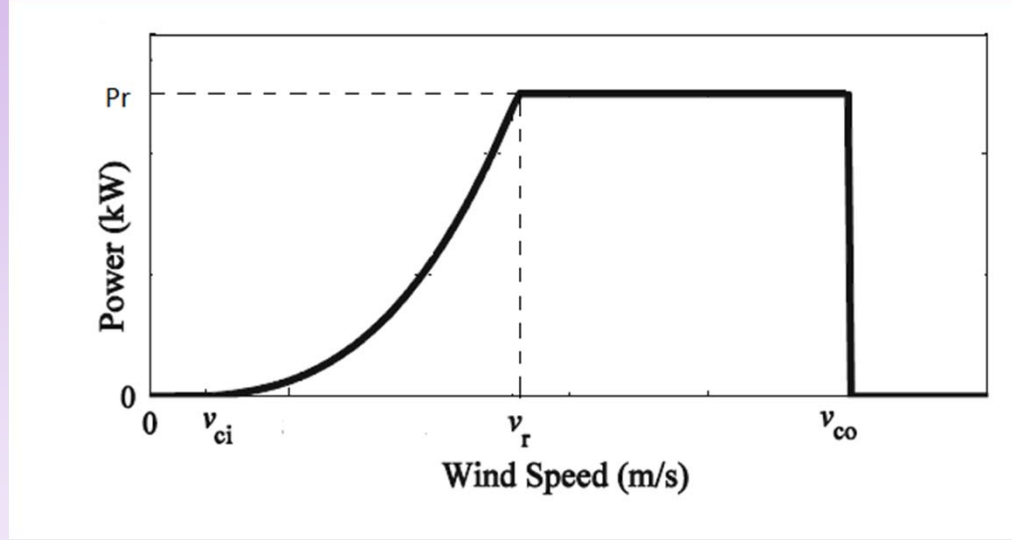
Rüzgar hızı;

- v_{ci} değerinin altında olduğunda türbin güç üretememektedir,
- v_{ci} ve v_r değerleri arasında iken türbin rüzgar hızının kübü ile orantılı artan elektrik gücü üretmektedir,



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

Bir rüzgar türbinine ait güç eğrisi Şekil 1'deki gibidir.



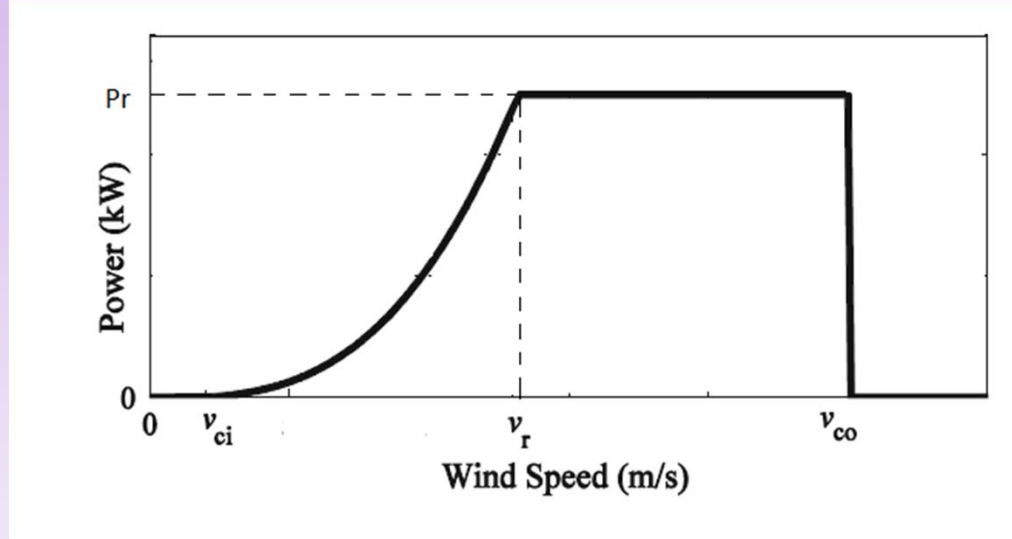
Rüzgar hızı;

- v_{ci} değerinin altında olduğunda türbin güç üretememektedir,
- v_{ci} ve v_r değerleri arasında iken türbin rüzgar hızının kübü ile orantılı artan elektrik gücü üretmektedir,
- v_r ve v_{co} değerleri arasında iken türbin sabit nominal güçte üretim yapmaktadır,



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

Bir rüzgar türbinine ait güç eğrisi Şekil 1'deki gibidir.



Rüzgar hızı;

- v_{ci} değerinin altında olduğunda türbin güç üretememektedir,
- v_{ci} ve v_r değerleri arasında iken türbin rüzgar hızının kübü ile orantılı artan elektrik gücü üretmektedir,
- v_r ve v_{co} değerleri arasında iken türbin sabit nominal güçte üretim yapmaktadır,
- v_{co} değerini aştığında ise türbin kendisini korumak üzere durmakta ve güç üretmemektedir.

M adet türbinden oluşan bir rüzgar çiftliğinin üretim potansiyeli P_{ζ} , (2) numaralı eşitlik ile tanımlanır.

$$P_{\zeta} = P_{WT}^{(1)} + P_{WT}^{(2)} + \dots + P_{WT}^{(M)} \quad (2)$$

Bu eşitlikte $P_{WT}^{(1)}, \dots, P_{WT}^{(M)}$ rastgele değişkenleri M adet türbine ait üretilen güçleri göstermektedir.



$F(v) = P\{V \leq v\}$ ile rüzgar hızı rastgele değişkenine ait birikimli dağılım fonksiyonu gösterilmek üzere, tek bir rüzgar türbini tarafından üretilen gücün teorik dağılım fonksiyonu (3) numaralı eşitlikte verilmiştir [5], [6].

$$H(x) = P\{P_{WT}^{(1)} \leq x\} = \begin{cases} 0, & x < 0 \text{ ise,} \\ 1 - F(v_{co}) + F\left(\left[\frac{x}{P_r}(v_r^3 - v_{ci}^3) + v_{ci}^3\right]^{\frac{1}{3}}\right), & 0 \leq x < P_r \text{ ise,} \\ 1, & x \geq P_r \text{ ise.} \end{cases} \quad (3)$$



3. RÜZGAR ÇİFTLİĞİ POTANSİYELİNİN DAĞILIMI



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

3. RÜZGAR ÇİFTLİĞİ POTANSİYELİNİN DAĞILIMI

Rüzgar hızı, türbin tarafından üretilen gücü etkileyen bir rastgele değişken olup v_{ci} değerinin altında veya v_{co} değerinin üstünde olduğu durumlarda türbin güç üretememektedir. Türbinin güç üretemeyeceği bir diğer durum ise türbinin arızalanması ve işlevini yerine getirememesi durumudur.



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

3. RÜZGAR ÇİFTLİĞİ POTANSİYELİNİN DAĞILIMI

Rüzgar hızı, türbin tarafından üretilen gücü etkileyen bir rastgele değişken olup v_{ci} değerinin altında veya v_{co} değerinin üstünde olduğu durumlarda türbin güç üretememektedir. Türbinin güç üretemeyeceği bir diğer durum ise türbinin arızalanması ve işlevini yerine getirememesi durumudur.

Birçok alt sistem ve bileşenden oluşan türbinin arıza vermesi olasıdır. Türbinin arıza vermeden çalışması (güç üretebilmesi) olasılığı türbinin güvenilirliği olarak tanımlanır. Türbin güvenilirliğini etkileyen en önemli faktörlerden bazıları yıldırım düşmesi, yüksek rüzgar hızı, buzlanma gibi iklim koşullarıdır [7].



3. RÜZGAR ÇİFTLİĞİ POTANSİYELİNİN DAĞILIMI

Rüzgar hızı, türbin tarafından üretilen gücü etkileyen bir rastgele değişken olup v_{ci} değerinin altında veya v_{co} değerinin üstünde olduğu durumlarda türbin güç üretememektedir. Türbinin güç üretemeyeceği bir diğer durum ise türbinin arızalanması ve işlevini yerine getirememesi durumudur.

Birçok alt sistem ve bileşenden oluşan türbinin arıza vermesi olasıdır. Türbinin arıza vermeden çalışması (güç üretebilmesi) olasılığı türbinin güvenilirliği olarak tanımlanır. Türbin güvenilirliğini etkileyen en önemli faktörlerden bazıları yıldırım düşmesi, yüksek rüzgar hızı, buzlanma gibi iklim koşullarıdır [7].

Belirli bir zaman aralığında i nci türbinin arızasız çalışması olasılığı p_i ile ifade edilirse, $i = 1, 2, \dots, M$, ve türbinin her zaman arızasız çalıştığı bilindiğinde ($p_i = 1$ olması durumu), türbinin ürettiği gücün teorik dağılımı (3) eşitliğiyle verilmektedir fakat gerçekte böyle bir durum söz konusu değildir.



$i = 1, 2, \dots, M$ için i nci türbinin p_i olasılığı ile çalıştığı ve $1 - p_i$ olasılığı ile arızalı olup çalışmadığı göz önüne alındığında, i nci türbin tarafından üretilen gücün dağılımı (5) numaralı eşitlik ile tanımlanmaktadır.

$$\begin{aligned} H(x; p_i) &= p_i P \left\{ P_{WT}^{(1)} \leq x \right\} + (1 - p_i) I(x \geq 0) \\ &= \begin{cases} 0, & x < 0 \text{ ise,} \\ p_i H_1(x) + 1 - p_i, & 0 \leq x < P_r \text{ ise,} \\ 1, & x \geq P_r \text{ ise.} \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$



$i = 1, 2, \dots, M$ için i nci türbinin p_i olasılığı ile çalıştığı ve $1 - p_i$ olasılığı ile arızalı olup çalışmadığı göz önüne alındığında, i nci türbin tarafından üretilen gücün dağılımı (5) numaralı eşitlik ile tanımlanmaktadır.

$$H(x; p_i) = p_i P \left\{ P_{WT}^{(1)} \leq x \right\} + (1 - p_i) I(x \geq 0)$$
$$= \begin{cases} 0, & x < 0 \text{ ise,} \\ p_i H_1(x) + 1 - p_i, & 0 \leq x < P_r \text{ ise,} \\ 1, & x \geq P_r \text{ ise.} \end{cases} \quad (5)$$

i nci türbinin güvenilirliğini ifade eden p_i 'ye ait tahmin değerinin hesaplanması için türbinin zaman içerisindeki bozulma verisine ihtiyaç vardır. Bu değer, türbinin bozulma oranını tahmin ettikten sonra hesaplanabilir. Türbin bozulma oranının tahmini için çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılmıştır [8]. Bu çalışmada p_i değerinin tahmin edilmesi amaçlanmamakta, verilmiş p_i değerleri için türbinlerin ve çiftliğin güç üretim kapasitelerinin teorik dağılımı ile ilgilenilmektedir.



Türbinlerin birbirinden bağımsız ve farklı güvenilirlik değerlerine sahip olması ise M ($M \geq 2$) adet türbinden oluşan rüzgar çiftliğinin potansiyeli birbirinden bağımsız ve farklı dağılıma sahip M rastgele değişkenin toplamıdır. P_{ζ} rastgele değişkeninin dağılımı (6) numaralı konvolüsyon eşitliği yardımıyla yinelemeli olarak hesaplanabilir.

$$H^{*M}(x; p_M) = \int_0^{P_r} H^{*M-1}(x - y; p_{M-1})h(y; p_M)dy, \quad (6)$$



Türbinlerin birbirinden bağımsız ve farklı güvenilirlik değerlerine sahip olması ise M ($M \geq 2$) adet türbinden oluşan rüzgar çiftliğinin potansiyeli birbirinden bağımsız ve farklı dağılıma sahip M rastgele değişkenin toplamıdır. P_{ζ} rastgele değişkeninin dağılımı (6) numaralı konvolüsyon eşitliği yardımıyla yinelemeli olarak hesaplanabilir.

$$H^{*M}(x; p_M) = \int_0^{P_r} H^{*M-1}(x - y; p_{M-1})h(y; p_M)dy, \quad (6)$$

Burada $p_K = (p_1, \dots, p_K)$ vektörü, K adet türbine ait güvenilirlik değerlerini göstermekte olup $H^{*1}(x; p_1)$ değeri (5) nolu eşitlikte p_i yerine p_1 yazılması ile elde edilir. (6) numaralı eşitlikteki $h(y; p_M)$ olasılık yoğunluk fonksiyonunu göstermekte olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} h(y; p_M) &= p_M h_1(y) + (p_M [F(v_{ci}) + 1 - F(v_{co})] + 1 - p_M) I(y = 0) \\ &+ p_M [F(v_{co}) - F(v_r)] I(y = P_r) \end{aligned} \quad (7)$$



İnci türbin tarafından üretilen ortalama güç (8) numarası formül ile hesaplanırken, M adet türbinden oluşan rüzgar çiftliğinin ortalama güç potansiyeli (9) numaralı formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$p_i \int_0^{P_r} x h_1(x) dx + p_i P_r [F(v_{co}) - F(v_r)] \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^M \left[p_i \int_0^{P_r} x h_1(x) dx + p_i P_r [F(v_{co}) - F(v_r)] \right] \quad (9)$$



4. UYGULAMALAR



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

4. UYGULAMALAR

Rüzgar çiftliği potansiyelinin teorik dağılımı; çiftliğin kurulu olduğu ya da kurulacağı bölgedeki rüzgar hızının dağılımına ve kullanılması planlanan rüzgar türbinlerinin modeline bağlıdır. Belirli bir bölgedeki rüzgar hızı çoğunlukla Weibull olasılık dağılımı ile modellenmekte olup ([9], [10], [11]) ancak bazı çalışmalarda rüzgar hızının bölgedeki rüzgar rejimine bağlı olarak farklı olasılık dağılımları ile modellenebileceği de gösterilmiştir [12].



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

4. UYGULAMALAR

Rüzgar çiftliği potansiyelinin teorik dağılımı; çiftliğin kurulu olduğu ya da kurulacağı bölgedeki rüzgar hızının dağılımına ve kullanılması planlanan rüzgar türbinlerinin modeline bağlıdır. Belirli bir bölgedeki rüzgar hızı çoğunlukla Weibull olasılık dağılımı ile modellenmekte olup ([9], [10], [11]) ancak bazı çalışmalarda rüzgar hızının bölgedeki rüzgar rejimine bağlı olarak farklı olasılık dağılımları ile modellenebileceği de gösterilmiştir [12].

Rüzgar hızını ifade eden V rastgele değişkeninin Weibull dağılımına sahip olması durumunda bu rastgele değişkenin birikimli dağılım fonksiyonu ve olasılık yoğunluk fonksiyonu sırasıyla (10) ve (11) numaralı eşitlikleriyle verilmektedir.

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{a}\right)^k} \quad (10)$$

$$f(v) = \left(\frac{k}{a}\right) \left(\frac{v}{a}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{a}\right)^k} \quad (11)$$



(10) ve (11) numaralı eşitliklerde yer alan k ve a parametreleri sırasıyla konum ve ölçek parametrelerini göstermekte olup bilinmeyen bu parametreler ilgili bölgedeki rüzgar hızı verisine dayalı olarak çeşitli istatistiksel yöntemlerle tahmin edilebilmektedir.



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

(10) ve (11) numaralı eşitliklerde yer alan k ve a parametreleri sırasıyla konum ve ölçek parametrelerini göstermekte olup bilinmeyen bu parametreler ilgili bölgedeki rüzgar hızı verisine dayalı olarak çeşitli istatistiksel yöntemlerle tahmin edilebilmektedir.

Literatürde, farklı bölgelerdeki rüzgar hızı verilerini kullanarak bu verilere Weibull dağılımının uyumunu araştıran ve bilinmeyen k ve a parametrelerini ilgili bölge için tahmin eden birçok çalışma bulunmaktadır.



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

(10) ve (11) numaralı eşitliklerde yer alan k ve a parametreleri sırasıyla konum ve ölçek parametrelerini göstermekte olup bilinmeyen bu parametreler ilgili bölgedeki rüzgar hızı verisine dayalı olarak çeşitli istatistiksel yöntemlerle tahmin edilebilmektedir.

Literatürde, farklı bölgelerdeki rüzgar hızı verilerini kullanarak bu verilere Weibull dağılımının uyumunu araştıran ve bilinmeyen k ve a parametrelerini ilgili bölge için tahmin eden birçok çalışma bulunmaktadır.

Örneğin; [10]'da Alaçatı, Çeşme, İzmir bölgesinden elde edilmiş rüzgar hızı verisinin Weibull dağılımına uygun olduğu gösterilmiş ve a ve k parametrelerinin tahmin değerleri sırasıyla 2.05 ve 9.16 m/s olarak bulunmuştur.



Rüzgar hızı dağılımının $a = 2.05$ ve $k = 9.16$ parametre değerleri ile Weibull dağılımına uygun olduğu Alaçatı, Çeşme, İzmir bölgesinde kurulması planlanan rüzgar çiftliğinde karakteristikleri Tablo 1'de verilen iki tür rüzgar türbininin kullanılacağı düşünölsün.

Tablo 1. A ve B tipi rüzgar türbinlerine ilişkin karakteristikler

Türbin karakteristiğı	A tipi türbin	B tipi türbin
P_r	800 kW	1000 kW
v_{ci}	3 m/s	3.5 m/s
v_r	15 m/s	15.5 m/s
v_{co}	25 m/s	25 m/s



Rüzgar çiftliğinin m_1 adet A tipi türbin ve $m_2 = M - m_1$ adet B tipi türbinden oluşması ve A tipi türbinlerin güvenilirliğinin p_A ve B tipi türbinlerin güvenilirliğinin p_B olması durumunda; m_1 , m_2 , p_A ve p_B 'nin farklı değerleri için çiftliğin ortalama güç potansiyeli hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. $M = m_1 + m_2$ türbinden oluşan rüzgar çiftliğinin ortalama güç

p_A	p_B	m_1	m_2	Ortalama Güç (kW)
0.98	0.97	3	3	1255.2336
		5	3	1647.4561
		3	5	1699.8334
0.98	0.98	3	3	1262.1088
		5	3	1654.3314
		3	5	1711.2922
0.97	0.98	3	3	1256.1054
		5	3	1644.3257
		3	5	1705.2888



Tablo 2'deki sonuçlara göre; A tipi türbinlerin arızasız çalışması olasılığı 0.98, B tipi türbinlerin arızasız çalışması olasılığı 0.97 olduğunda ve rüzgar çiftliğinde her bir tipteki türbinlerden üçer adet bulunduğu durumda çiftliğin beklenen (ortalama) gücü 1255.2336 *kW* olacaktır.



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

Tablo 2'deki sonuçlara göre; A tipi türbinlerin arızasız çalışması olasılığı 0.98, B tipi türbinlerin arızasız çalışması olasılığı 0.97 olduğunda ve rüzgar çiftliğinde her bir tipteki türbinlerden üçer adet bulunduğu çiftliğin beklenen (ortalama) gücü 1255.2336 *kW* olacaktır.

Tablo 2'den açıkça görüldüğü üzere herhangi bir türbinin güvenilirliği artırıldığında çiftliğin ortalama gücü de artmaktadır.



Tablo 2'deki sonuçlara göre; A tipi türbinlerin arızasız çalışması olasılığı 0.98, B tipi türbinlerin arızasız çalışması olasılığı 0.97 olduğunda ve rüzgar çiftliğinde her bir tipteki türbinlerden üçer adet bulunduğu çiftliğin beklenen (ortalama) gücü 1255.2336 *kW* olacaktır.

Tablo 2'den açıkça görüldüğü üzere herhangi bir türbinin güvenilirliği artırıldığında çiftliğin ortalama gücü de artmaktadır.

Tablo 2'deki veriler kullanılarak m_1 adet A tipi türbin ve $m_2 = M - m_1$ adet B tipi türbin ile kurulacak bir rüzgar çiftliğinin ortalama (beklenen) kapasite faktörünü hesaplamak mümkündür.



Tablo 2'deki sonuçlara göre; A tipi türbinlerin arızasız çalışması olasılığı 0.98, B tipi türbinlerin arızasız çalışması olasılığı 0.97 olduğunda ve rüzgar çiftliğinde her bir tipteki türbinlerden üçer adet bulunduğu çiftliğin beklenen (ortalama) gücü 1255.2336 kW olacaktır.

Tablo 2'den açıkça görüldüğü üzere herhangi bir türbinin güvenilirliği artırıldığında çiftliğin ortalama gücü de artmaktadır.

Tablo 2'deki veriler kullanılarak m_1 adet A tipi türbin ve $m_2 = M - m_1$ adet B tipi türbin ile kurulacak bir rüzgar çiftliğinin ortalama (beklenen) kapasite faktörünü hesaplamak mümkündür.

Örneğin; ilgili bölgede $m_1 = 3$ adet A tipi ve $m_2 = 3$ adet B tipi türbin kullanılması, $p_A = 0.98$ ve $p_B = 0.97$ olması durumunda çiftliğin ortalama kapasite faktörü $\frac{1255.2336}{3 \times 800 + 3 \times 1000} = 0.2324$ (%23.24) olacaktır. Her iki tip türbinin de 0.98 güvenilirlik değerine sahip olması durumunda üçer adet türbin kullanılırsa ortalama kapasite faktörü $\frac{1262.1088}{3 \times 800 + 3 \times 1000} = 0.2337$ (%23.37) olarak elde edilir.



(6) numaralı eşitlik yardımıyla rüzgar çiftliğinin belirli bir seviyeden daha fazla ya da daha az güç üretebilme olasılığı hesaplanabilir. Tablo 3'de p_A , p_B , m_1 ve m_2 'nin Tablo 1'deki değerleri için rüzgar çiftliği tarafından en az $c = 1000 \text{ kW}$ seviyesinde güç üretebilme olasılıkları hesaplanmıştır.

Tablo 3. $M = m_1 + m_2$ türbinden oluşan rüzgar çiftliğinin minimum $c = 1000 \text{ kW}$ seviyesinde güç üretme olasılığı

p_A	p_B	m_1	m_2	Olasılık
0.98	0.97	3	3	0.3882
		5	3	0.4507
		3	5	0.4588
0.98	0.98	3	3	0.3879
		5	3	0.4521
		3	5	0.4613
0.97	0.98	3	3	0.3906
		5	3	0.4518
		3	5	0.4593



(6) numaralı eşitlik yardımıyla rüzgar çiftliğinin belirli bir seviyeden daha fazla ya da daha az güç üretebilme olasılığı hesaplanabilir. Tablo 3'de p_A , p_B , m_1 ve m_2 'nin Tablo 1'deki değerleri için rüzgar çiftliği tarafından en az $c = 1000 \text{ kW}$ seviyesinde güç üretebilme olasılıkları hesaplanmıştır.

Tablo 3. $M = m_1 + m_2$ türbinden oluşan rüzgar çiftliğinin minimum $c = 1000 \text{ kW}$ seviyesinde güç üretme olasılığı

p_A	p_B	m_1	m_2	Olasılık
0.98	0.97	3	3	0.3882
		5	3	0.4507
		3	5	0.4588
0.98	0.98	3	3	0.3879
		5	3	0.4521
		3	5	0.4613
0.97	0.98	3	3	0.3906
		5	3	0.4518
		3	5	0.4593

Tablo 3'deki veriler ışığında, ilgili bölgede $m_1 = 3$ adet A tipi ve $m_2 = 3$ adet B tipi türbin kullanılması, $p_A = 0.98$ ve $p_B = 0.97$ olması durumunda çiftliğin en az 1000 kW güç üretebilmesi olasılığı 0.3882'dir.

5. SONUÇ



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

5. SONUÇ

Bu çalışmada; belirli sayıda rüzgar türbininden oluşan bir rüzgar çiftliğinin, rüzgar türbinlerinin güvenilirlik değerlerini de göz önüne alarak elektrik üretim kapasitesinin teorik istatistiksel dağılımı elde edilmiş ve bu dağılımın kurulması planlanan rüzgar çiftliğinin potansiyelinin değerlendirilmesinde nasıl kullanılabileceği gösterilmiştir.



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017

5. SONUÇ

Bu çalışmada; belirli sayıda rüzgar türbininden oluşan bir rüzgar çiftliğinin, rüzgar türbinlerinin güvenilirlik değerlerini de göz önüne alarak elektrik üretim kapasitesinin teorik istatistiksel dağılımı elde edilmiş ve bu dağılımın kurulması planlanan rüzgar çiftliğinin potansiyelinin değerlendirilmesinde nasıl kullanılabileceği gösterilmiştir.

Belirli bir bölgedeki rüzgar hızı verisinden hareketle elde edilmiş olan olasılık dağılımı ve rüzgar türbini karakteristikleri girdi olarak ele alındığında çalışmada elde edilmiş bulgular ile kurulması planlanan rüzgar çiftliğinin performansı değerlendirilebilecektir.



5. SONUÇ

Bu çalışmada; belirli sayıda rüzgar türbininden oluşan bir rüzgar çiftliğinin, rüzgar türbinlerinin güvenilirlik değerlerini de göz önüne alarak elektrik üretim kapasitesinin teorik istatistiksel dağılımı elde edilmiş ve bu dağılımın kurulması planlanan rüzgar çiftliğinin potansiyelinin değerlendirilmesinde nasıl kullanılabileceği gösterilmiştir.

Belirli bir bölgedeki rüzgar hızı verisinden hareketle elde edilmiş olan olasılık dağılımı ve rüzgar türbini karakteristikleri girdi olarak ele alındığında çalışmada elde edilmiş bulgular ile kurulması planlanan rüzgar çiftliğinin performansı değerlendirilebilecektir.

Çalışmada kurulmuş olan model ve elde edilmiş sonuçlar rüzgar türbinlerinin belirli bir zaman aralığında çalışma olasılıklarını (güvenilirliklerini) girdi olarak almaya olanak sağlamaktadır.



5. SONUÇ

Bu çalışmada; belirli sayıda rüzgar türbininden oluşan bir rüzgar çiftliğinin, rüzgar türbinlerinin güvenilirlik değerlerini de göz önüne alarak elektrik üretim kapasitesinin teorik istatistiksel dağılımı elde edilmiş ve bu dağılımın kurulması planlanan rüzgar çiftliğinin potansiyelinin değerlendirilmesinde nasıl kullanılabileceği gösterilmiştir.

Belirli bir bölgedeki rüzgar hızı verisinden hareketle elde edilmiş olan olasılık dağılımı ve rüzgar türbini karakteristikleri girdi olarak ele alındığında çalışmada elde edilmiş bulgular ile kurulması planlanan rüzgar çiftliğinin performansı değerlendirilebilecektir.

Çalışmada kurulmuş olan model ve elde edilmiş sonuçlar rüzgar türbinlerinin belirli bir zaman aralığında çalışma olasılıklarını (güvenilirliklerini) girdi olarak almaya olanak sağlamaktadır.

Çeşitli alt sistem ve bileşenlerinde meydana gelen arızalardan dolayı çalışmaması olası olan rüzgar türbinleri için çiftlik potansiyelinin değerlendirilmesinde bu durumun analize dahil edilmesinin önemli olduğu düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Safari, B. (2011). Modeling wind speed and wind power distributions in Rwanda. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 925-935.
- [2] Masseran, N., Razali, A. M. ve Ibrahim, K. (2012). An analysis of wind power density derived from several wind speed density functions: The regional assessment on wind power in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 6476-6487.
- [3] Zhang, Y., Wang, J. ve Luo, X. (2015). Probabilistic wind power forecasting based on logarithmic transformation and boundary kernel. *Energy Conversion and Management*, 96, 440-451.
- [4] Taylor, J. W. ve Jeon, J. (2015). Forecasting wind power quantiles using conditional kernel estimation. *Renewable Energy*, 80, 370-379.
- [5] Louie, H. ve Slougher, J. M. (2014). Probabilistic modeling and statistical characteristics of aggregate wind power. *Large Scale Renewable Power Generation, Green Energy and Technology*, 19-51, Springer Science+Business Media, Singapore.
- [6] Eryilmaz, S. (2017). Theoretical derivation of wind plant power distribution with the consideration of wind türbine reliability, değerlendirme aşamasında.
- [7] Slimacek, V. ve Lindqvist, B. H. (2016). Reliability of wind turbines modeled by a Poisson process with covariates, unobserved heterogeneity and seasonality. *Wind Energy*, 19, 1991-2002.
- [8] Tavner, P. J., Xiang, J. ve Spinato, F. (2007). Reliability analysis of wind turbines. *Wind Energy*, 10, 1-18.
- [9] Chang, T. P. (2011). Performance comparison of six numerical methods in estimating Weibull parameters for wind energy application. *Applied Energy*, 88, 272-282.
- [10] Ozay, C. ve Celiktas, M. S. (2016). Statistical analysis of wind speed using two-parameter Weibull distribution in Alaçatı region. *Energy Conversion and Management*, 121, 49-54.
- [11] Wais, P. (2017). Two and three-parameter Weibull distribution in available wind power analysis. *Renewable Energy*, 103, 15-29.
- [12] Mohammadia, K., Alavi, O. ve McGowana, J.G. (2017) Use of Birnbaum-Saunders distribution for estimating wind speed and wind power probability distributions: A review. *Energy Conversion and Management* 143, 109-122.





İlginize teşekkürler...



**4. İZMİR RÜZGÂR
SEMPOZYUMU ve SERGİSİ**
28-29-30 Eylül 2017