

PI Kontrolör ile Rüzgar Türbininin Hatve Açısının Kontrolü

^{*1}Zafer Civelek, ²Murat Lüy, ³Ertuğrul Çamve⁴Necaattin Barışçı
¹ÇankırıKaratekin Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Çankırı, TÜRKİYE.
^{2,3,4}Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale TÜRKİYE.

Özet

Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan mevcut fosil kaynakların oluşturdukları yüksek CO₂ emisyonları nedeniyle, yenilenebilir kaynaklar kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesi üzerinde çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir[1, 2].

Bu makalede, en önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan Rüzgâr Enerji Sistemlerinin (RES) türbininin kanat hatve açısı kontrolörünün PI kontrolör ile ayarlanması üzerine bir çalışma yapılmıştır. PI kontrol yöntemi kullanılarak kanatların hatve açıları değiştirilmiş böylece nominal çıkış gücünün korunması ve yüksek rüzgâr hızlarında rüzgâr türbininin zarar görmemesi sağlanmıştır. Matlab/Simulink programı ile sistemin simülasyonu yapılarak, gerçek rüzgâr hızı verileri ile rüzgâr türbininin kanat hatve açısının kontrolü ve çıkış gücünün ayar noktasında sabit kalması sağlanmıştır. Simülasyon sonuçları, PI kontrolörün rüzgâr türbininin kanat hatve açısını kontrol ederek, çıkış gücünü ayarlama ve yüksek rüzgâr hızlarında rüzgâr türbinini korumada başarılı olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: PI kontrol, rüzgâr türbini, hatve açısı

Abstract

Nowadays, because of high CO₂ emissions from conventional power plants with fossil fuels, researches of electric generation from renewable resources are increasing very fast[1, 2]. In this manuscript, wind energy systems, the most important renewable energy resource, are investigated for adjusting their blades' pitch angle with PI controller. Therefore, output power of the turbine is setup constant rated value with regulating the blade's pitch angle. Also, some blade damages at high wind speeds are prevented. All simulations are realized in Matlab- Simulink software using real wind speed data. In conclusions, the simulation results show that the conventional PI controller is accepted sufficient to control the blades' pitch angle and to save the turbine against to some damages.

Key words: PI control, wind turbine, pitch angle

1. Giriş

İnsanların eskiden beri kullandıkları bir enerji çeşidi olan rüzgâr enerjisi, son yıllarda maliyetlerin düşmesi, teknolojik yenilikler ve temiz enerji kaynaklarına ilginin artması sebebiyle popüler hale gelmiştir. Günümüzde küçük, orta ve büyük boyutlarda rüzgâr enerji sistemleri

kurulabilmektedir. Büyük boyutlu rüzgâr enerji sistemleri, daha verimli olması, maliyet-güç açısından uygun olması ve dünyamızın geleceği açısından önemli olan emisyon değerlerini daha fazla düşürmesi açısından yatırımcıları daha fazla cezbetmiştir.

Bilindiği gibi rüzgâr enerjisinin sabit olmaması ve rüzgâr jeneratörlerinin çıkışlarının rüzgâr hızının küpü ile doğru orantılı olarak değişmesi nedeniyle, rüzgâr türbini jeneratörlerinin çıkış güçlerinde dalgalanmalar söz konusudur[3]. Ayrıca büyük boyutlu rüzgâr enerji sistemlerinde, nominal rüzgâr hızının üzerindeki rüzgâr hızlarında, sistemin zarar görmemesi için kanat hatve açılarının kontrol edilmesi gerekmektedir[4]. Çıkış gücünün kaliteli hale getirilmesi ve kurulu sistemin zarar görmemesi amacıyla sistem içerisinde uygun kontrol yöntemleri kullanılmaktadır[5,6]. Böylece hem optimum enerji eldesi sağlanırken hem de daha fazla zararlı gazların havaya salınımı kontrol altına alınmış olur. Kontrol yöntemlerinin en bilinenleri; pasif (stall) kontrol mekanizması ve hatve(pitch) kontrol mekanizmasıdır. En etkilisi yöntem ise, kanat hatve açısının kontrol edilmesidir[5, 6].

Burada en önemli parametrelerden birisi karbon emisyonudur. Karbon piyasaları ikiye ayrılmaktadır. Bunlar Kyoto protokolünü imzalayan ülkeler zorunlu piyasalar olarak adlandırılırken, protokolü imzalamayan ülkeler gönüllü piyasalar olarak adlandırılmaktadır. Rüzgâr emisyon katsayısı 0.45-0.65 kg arasında değişmektedir. Türkiye için rüzgâr emisyon katsayısı 1KWh için 0,62 kg alınmıştır. Gönüllü piyasalarda bir ton karbon 4.5-5.5 Euro/dolar arasında karşılık bulurken, zorunlu piyasalarda bu değer 12-15 Euro/dolar arasında karşılık bulmaktadır. Ülkemiz için bu değer yaklaşık 13 Euro/Dolar'dır. Düşen karbon emisyon değerleri diğer ülkelere bu değerler üzerinden satılabilmektedir. Ülkemiz Kyoto protokolünü imzalayan ülkeler arasında olmasına rağmen şu ana kadar sayısallaştırılmış sera gazı azaltılması yükümlülüğüne sahip değildir. 1 ton CO₂ miktarının azalması, yaklaşık olarak 429,6 lt tüketilmeyen benzine, 227,6 dönüm karbon emen araziye ve 344,9 ton geri kazanılan atık miktarına eş değerdir.

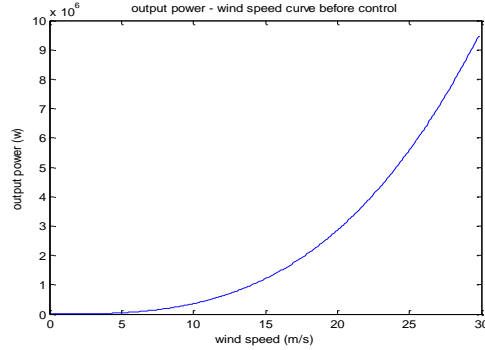
Bu çalışmada, özellikle endüstride çokça kullanılan geleneksel PI kontrolör yardımıyla, örnek bir RES'in kanat hatve açısı kontrol edilerek optimum çalışma sağlanmış ve emisyonlara etkisi incelenmiştir[7].

2. Rüzgâr Türbini

Bilinenin aksine rüzgâr hızlarındaki küçük değişiklikler elde edilen gücü çok etkilemektedir. Rüzgâr gücü (P); rüzgâr hızının küpü ile orantılıdır ve Denklem 1'de verilmiştir.

$$P = 0.5\rho Av^3 \quad (1)$$

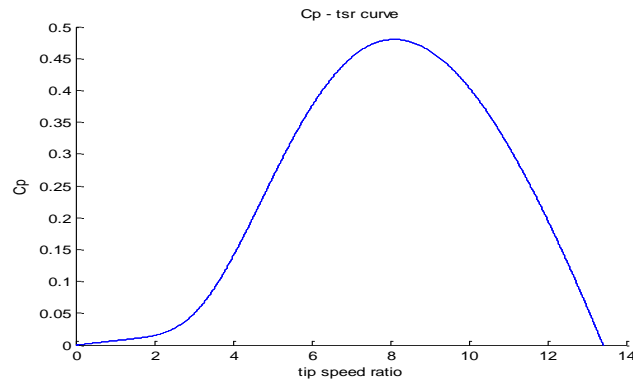
Burada; ρ =hava yoğunluğu(kg/m^3), A =kanatlar tarafından süpürülen alan(m^2), v =rüzgâr hızıdır(m/s). Şekil 1’de rüzgâr hızı ile güç değişiminin grafiği verilmiştir.



Şekil 1. Kontrol olmadan rüzgâr hızı-çıkış gücü eğrisi

Bir bölgedeki rüzgârın tamamının kullanılacak enerjiye çevrilmesi mümkün değildir. Betz limiti ile sınırlı olan bu oran %59’u geçemez[8]. Pratikte bu rakam %50’ler civarındadır. Ayrıca, teorik olan bu orana ulaşabilmek için kanat hatve açısı (β) ve kanat uç hız oranının (λ) bir fonksiyonu olan rüzgâr türbin güç katsayısının (C_p) uygun değerlerde olması gerekir[9].

Şekil 2’de güç katsayısının kanat uç hız oranına göre değişimi eğrisi verilmiştir.



Şekil 2. Güç katsayısı (C_p)-kanat uç hız oranı (λ) eğrisi

Rüzgâr türbininin rüzgârdan elde edebileceği mekanik güç $P_{\omega t}$, rüzgâr gücü (P) ve rüzgâr türbin güç katsayısının (C_p) bir fonksiyonudur ve Denklem 2’de verilmiştir.

$$P_{\omega t} = P C_p(\beta, \lambda) \quad (2)$$

Denklem 1, Denklem 2'ye ilave edilirse;

$$P_{\omega t} = 0.5\rho Av^3 C_p(\beta, \lambda) \quad (3)$$

Yüksek oranda doğrusal olmayan ve rüzgâr hızıyla değişen C_p , Denklem 4'te verilmiştir.

$$C_p = 0.5176 * (116/\lambda_i - 0.4\beta - 5) * \exp(-21/\lambda_i) + 0.0068\lambda \quad (4)$$

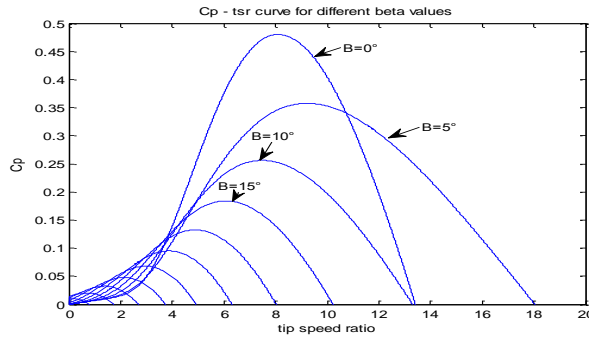
Denklem 5 te verilmiş olan λ_i değeri, Denklem 4'te yerine konarak C_p değeri hesaplanmaktadır.

$$1/\lambda_i = 1/(\lambda + 0.08\beta) - 0.035/(3\beta + 1) \quad (5)$$

Kanat uç hız oranı λ , kanat açıl hızı ile rüzgâr hızı oranıdır ve Denklem 6'da verilmiştir.

$$\lambda = \omega_{\omega t} \cdot R/v \quad (6)$$

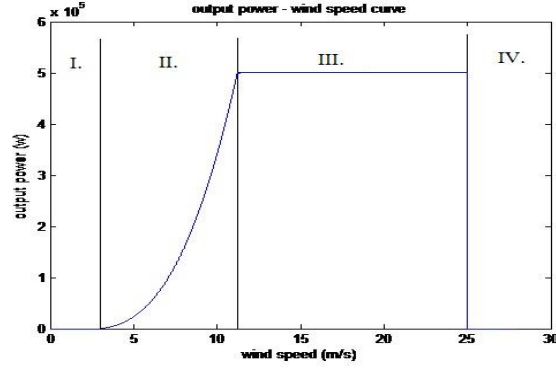
Burada; $\omega_{\omega t}$ =türbin rotoru açıl hızı(rad/s), R =rüzgâr türbini kanat yarıçapıdır(m).



Şekil 3. Değişik β açısı değerleri için C_p -TSR eğrisi

Rüzgâr türbini rotor hızındaki veya rüzgâr hızındaki herhangi bir değişim, kanat uç hız oranını değiştirmektedir, bu da güç katsayısını değiştirir. Güç katsayısı da rüzgârdan elde edilen güç miktarını değiştirecektir.

Denklem 4 ve Denklem 5'e göre β açısı değiştirilerek C_p , güç katsayısı değiştirilir. Rüzgâr türbini güç kontrolü bu prensibe göre çalışır.



Şekil 4. Rüzgâr türbini çalışma bölgeleri

Değişken hızlı bir rüzgâr türbininde mekanik çıkış gücü de değişkendir[10]. Şekil 4'te görüldüğü gibi değişken hızlı, değişken hatve açılı rüzgâr türbinlerinin rüzgâr hızı – çıkış gücü eğrisinde dört çalışma bölgesi vardır. I. bölge rüzgâr hızının cut-in değerinden küçük olduğu bölgedir, burada çıkış gücü 0'dır. II. bölge cut-in ile nominal hız arasındaki bölgedir. III. bölge nominal hız ile cut-out arasındaki bölgedir. IV. bölge cut-out değeri üzerindeki rüzgâr hızlarıdır ve bu bölgede güvenlik açısından rüzgâr türbini durdurulur[11]. II. bölgede maksimum güç takibi yapılması istenir. Maksimum rüzgâr enerjisini elde etmek için; rüzgâr türbini jeneratörü ile şebeke arasına frekansı sabit tutacak güç elektroniği devrelerinin yerleştirilmesi gerekmektedir[10]. III. bölgenin başlangıcında, nominal rüzgâr hızında türbin nominal güce ulaşırken, rüzgâr hızı artmaya devam ederse, çıkış gücü de artacaktır. Bundan dolayı çıkış gücünü tasarım sınırları içinde sabit tutabilmek için bir kontrol sistemine ihtiyaç vardır. Bu kontrol sistemi; kanat hatve açısının değiştirilmesi ile güç katsayısının, dolayısıyla çıkış gücünün değiştirilmesini sağlamaktadır. Kanat hatve açısı (β), artırılarak, çıkış gücü (P) sabit tutulmaya çalışılmaktadır[9].

3. Hareketlendirici Modeli

Hatve hareketlendirici sistemler hidrolik veya elektrik kumandalı olabilmektedir. Hidrolik hareketlendiricilerin avantajları; pozisyon doğruluğu ve hızlı dinamik tepkidir. Elektrik hareketlendiricide ise; her bir kanat bireysel olarak bir servo motor tarafından ayarlanabilmektedir[12]. Bu çalışmada, hareketlendirici olarak DC servo motor kullanılmıştır.

Kanatların, hem hatve açısı hem de hatve oranı noktasında, dinamik davranışları doğrusal değildir[13]. Bu çalışmada bu durum dikkate alınmamış, hatve açısı ile kanat dinamik davranışının doğrusal olduğu kabul edilmiştir. Tasarımda hız kontrolü için kullanılan motorun transfer fonksiyonu Denklem 7'de verilmiştir.

$$G_s(s) = \alpha / (\tau s + \beta) \quad (7)$$

Burada; α ve β motorun sabitleri, τ ise zaman sabitidir.

Pozisyon kontrolünde motorun transfer fonksiyonu Denklem 8'deki gibi ifade edilir.

$$G_p(s) = \alpha/s(\tau s + \beta) \quad (8)$$

Transfer fonksiyonunu basitleştirerek Denklem 9'daki gibi yazabilir.

$$G_p(s) = 1/s(s + 1) \quad (9)$$

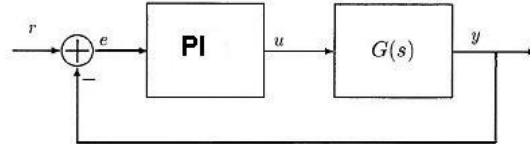
Açısal hızın integrali alındığında, açısal yer değiştirme elde edilmektedir. Açısal hız ile açısal yer değiştirme arasındaki bağıntı Denklem 10'da verilmiştir.

Hız-pozisyon çevrimi:

$$G_p(s) = G_s(s). 1/s \quad (10)$$

4. PI Kontrolör Dizaynı

PI kontrollü bir sistem basit olarak Şekil 5 deki gibi gösterilebilir.



Şekil 5. PI Blok şeması

PI (Proportional-Integral) günümüzde çok kullanılan bir kontrol yöntemidir. Çok geniş bir uygulama alanının olmasına rağmen PI uygulamaları için standart bir tanımlama yoktur.

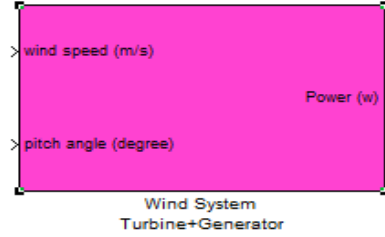
PI kontrolörün K_p ve K_i katsayıları Ziegler-Nichols metoduyla yaklaşık olarak hesaplanmış ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. K_p ve K_i değerleri

Kontrolör	K_p	K_i
PI	-1	-0.00001

5. Rüzgâr Türbininin Matlab ile Modellenmesi ve Simülasyonu

Çalışmada esas alınan RES, Matlab/Simulink programı ile modellenmiştir ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Modelin içyapısı Şekil 7'de gösterilmiştir. İçyapı, rüzgâr türbini formüllerinin Matlab/Simulink ortamına aktarılmış halidir. Şekil 8'de ise bütün sistem gösterilmiştir. Simule edilen sistemin parametreleri Tablo 2 de gösterilmiştir.

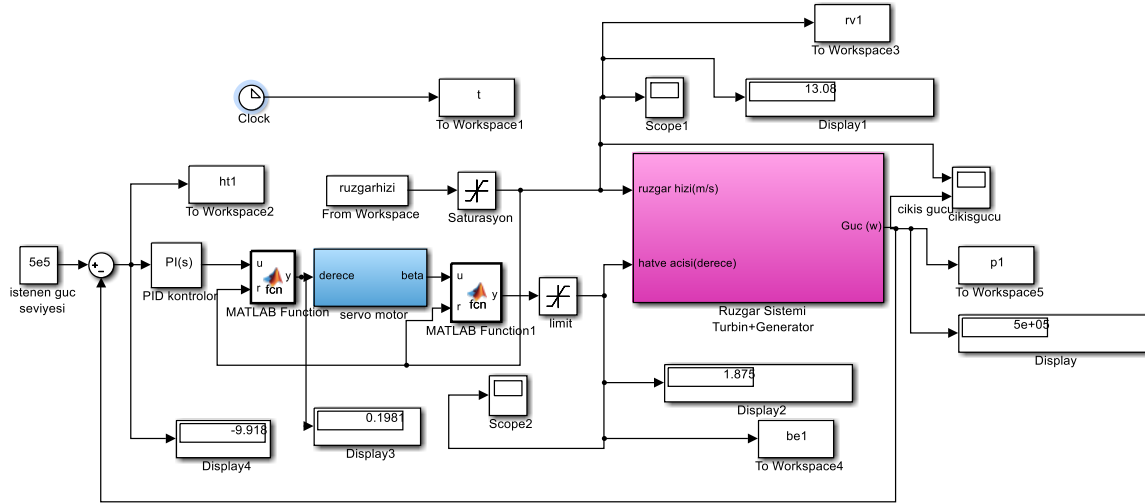


Şekil 6. Rüzgâr enerji çevrim sistemi blok diyagramı

Tablo 2. Simule edilen sistemin parametreleri

Simule Edilen Sistemin Parametreleri	
Nominal çıkış gücü	500 kw
Çalışma modu	Şebeke bağlantılı
Cut in rüzgar hızı	3 m/s
Nominal rüzgar hızı	12 m/s
Devreden çıkma rüzgar hızı	25 m/s
Rotor çapı	48 m
Süpürme alanı	1810 m ²
Kanat sayısı	3
Nominal rotor hızı	30 rpm
Rotor hız aralığı	10-30 rpm
Dişli kutusu oranı	01:50
jeneratör adedi	2
jeneratör tipi	asenكرون sincap kafes
jeneratör nominal çıkış	250 kw
jeneratör nominal devir	1500 rpm
jeneratör gerilimi	690 v

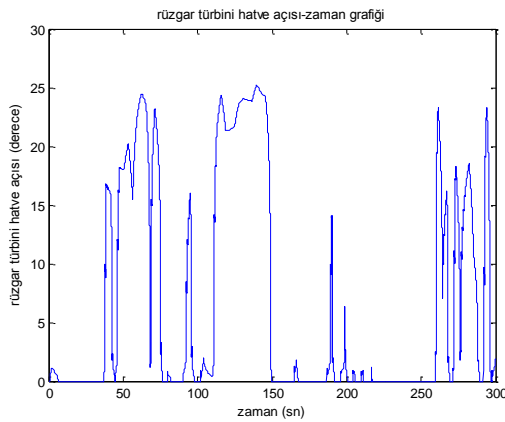
Şekil 7. Rüzgâr enerji çevrim sistemi içyapısı blok diyagramı



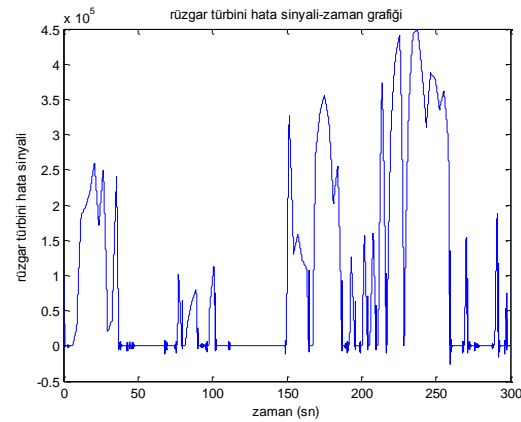
Şekil 8. PI kontrolör ile rüzgâr türbini hatve açısı kontrolü Matlab/Simulink blok diyagra

6. Matlab Simulasyon Sonuçları

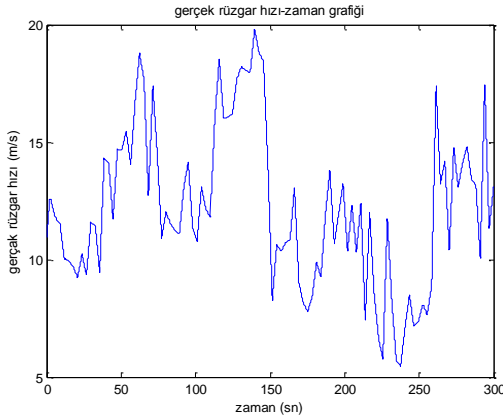
Simülasyonda gerçek rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. İstenen güç seviyesi ayar noktası olarak girildikten sonra sistem çıkış gücü ile istenen güç seviyesinin farkını alarak hata sinyalini üretmektedir. Matlab fonksiyonu yardımıyla kontrol sisteminin, nominal rüzgâr hızının üstünde çalışması sağlanmaktadır. Bunun için uygulama kısmında rüzgâr hızının devamlı olarak ölçülüp değerlendirilmesi gerekmektedir. Servo motor yardımıyla kanat hatve açısı değiştirilmekte ve bunun sonucunda çıkış gücü istenilen değere çekilmektedir. Sırasıyla rüzgâr türbininin hatve açısı değerleri, hata sinyalinin zamana göre değişimi, gerçek rüzgâr verileri ve türbin çıkış gücü Şekil 9-10-11-12’de gösterilmiştir.



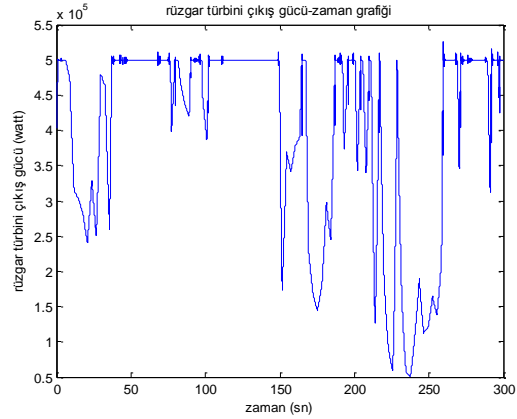
Şekil 9. Rüzgar türbini hatve açısı değişim grafiği



Şekil 10. Rüzgar türbini hata sinyali grafiği



Şekil 11. Gerçek rüzgâr hızı verileri



Şekil 12. Rüzgâr türbini çıkış gücü grafiği

7. Sonuç

Matlab/Simulink ile yapılan simülasyon sonuçları bize göstermektedir ki; PI kontrolör vasıtasıyla rüzgâr türbininin hatve açısını kontrol edilmesi ile rüzgâr türbininin çıkış gücünü, ayarlanan değerde sabit tutmak mümkündür. Ayrıca yüksek rüzgâr hızlarında rüzgâr türbininin hasar görmemesi yine PI kontrolör vasıtasıyla sağlanabilmektedir. Sonuçta CO₂ emisyon değeri yüksek olan enerji kaynakları yerine, yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr türbininin kullanımı çok daha verimli ve güvenli olacağı açıktır. Ayrıca optimum noktada çalışması sağlanan RES, daha uzun süre kullanılacağı için, uzun vadede sürdürülebilirlik açısından katkı sağlanmış olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Güler Ö. Dünyada ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Beşinci Enerji Sempozyumu, Ankara, Aralık 2005.
- [2] Sevim C. Geçmişten Günümüze Enerji Güvenliği Ve Paradigma Değişimleri. Stratejik Araştırmalar Dergisi 2009:93-105.
- [3] Senjyu T, Sakamoto R, Urasaki N, Higa H, Uezato K, Funabashi T. Output power control of wind turbine generator by pitch angle control using minimum variance control. Electrical Engineering in Japan 2006;154:10-8.
- [4] Burton T, Jenkins N, Sharpe D, Bossanyi E. Wind energy handbook: John Wiley & Sons; 2011.
- [5] Sharma H, Pryor T, Islam S. Effect of pitch control and power conditioning on power quality of variable speed wind turbine generators. AUPEC conference proceedings2001. p. 95-100.
- [6] Jelavic M, Petrovic V, Peric N. Estimation based individual pitch control of wind turbine. Automatika 2010;51:181-92.

- [7] Hansen MH, Hansen AD, Larsen TJ, Øye S, Sørensen P, Fuglsang P. Control design for a pitch-regulated, variable speed wind turbine 2005.
- [8] Tong W. Wind power generation and wind turbine design: Wit Press; 2010.
- [9] Hemami A. Wind Turbine Technology: Cengage Learning; 2011.
- [10] Chen CH, Hong C-M, Ou T-C. Hybrid fuzzy control of wind turbine generator by pitch control using RNN. International Journal of Ambient Energy 2012;33:56-64.
- [11] Hwas AMS, Katebi R. Wind turbine control using PI pitch angle controller. IFAC Conference on Advances in PID Control PID'12 2012.
- [12] Qi Y, Meng Q. The application of fuzzy PID control in pitch wind turbine. Energy Procedia 2012;16:1635-41.
- [13] Tang J. PID controller using the TMS320C31 DSK with online parameter adjustment for real-time DC motor speed and position control. Industrial Electronics, 2001 Proceedings ISIE 2001 IEEE International Symposium on: IEEE; 2001. p. 786-91.