

Yaw Ve Pitch Kontrollü Dişli Kutusuz 5kW Rüzgâr Türbini Üretilmesi Ve Verimliliği

Muzaffer Yücel*¹, Serhat Özder²

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksek Okulu, Elektrik ve Enerji Bölümü

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

13.02.2018 Geliş/Received, 20.04.2018 Kabul/Accepted

Özet

Bu çalışma, 5 kW gücündeki rüzgâr türbinin yapılması, faaliyete geçirilmesi ve enerji çıkış verimliliğinin ölçülmesi üzerinedir. Yapılan santral sabit devirde dönmesi için ve yüksek hızlı rüzgârda kontrolün sağlanabilmesi, kanat açılarını rüzgâra karşı değişimini sağlayan, otomasyon sistemi ile donatılmıştır. Rüzgâra yönelmesi içinde yaw motor hareketini, rüzgâr yönü ölçüm verileri alınarak otomatik sistem kontrolü ile sağlanmıştır. Bu sistemde verimin artırılmasına yönelik olarak dişli kutusu sistemi kullanılmamıştır. 200 rpm’de 5 kW enerji verebilen kendinden tahrikli jeneratör tasarlanmıştır. Ayrıca türbinden çıkan enerji değerleri ulusal şebekeye aktarılmıştır. Bunun için üretilen elektrik regüle devre ile frekans ve gerilim değerleri düzenlenerek ulusal şebekede bulunan 220 V ve 50 Hz değerlerine getirilmiş, sonra şebekeye bağlanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan rüzgâr türbininde jeneratör (alternatör), kanatlar, kule, ana şase sisteminin tasarım yapılmıştır. Türbin rüzgârın uygun olduğu düşünülen yerde denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda türbinin ortalama %28 civarında verime sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu tipte ve profesyonel tasarıma sahip olan türbinlerde verim % 30-35 civarındadır. Yapılan türbinin kurulduğu bölgede rüzgârın düzenli olmadığı göz önüne alınırsa, bu verime ulaşmasından dolayı ideal bir türbin olduğu düşünülmelidir. Yapılan çalışmanın amacı otomasyon sistemine sahip olan türbin tasarlanması ve türbinin doğal ortamda uygulamalarının yapılması ve veriminin belirlenmesidir. Türbinde kullanılan alternatör, tasarlanan kanatların gücüne uygun olarak tasarımı yapıp imal edilmiştir. Kanatlar ise fiber yapı malzemesi kullanılarak vakum tekniği ile hava kabarcığı bırakılmadan yapılmıştır. Rüzgâr türbinlerinde titreşimi artıran kısımlarından biride, türbin kanatlarının rüzgâra yönelmesini sağlayan kuyruk sistemidir. Bu çalışmada kuyruk sistemi kullanılmamıştır. Bunun yerine kulenin rüzgâra karşı dik konumda olmasını sağlayan yaw motor kullanılmıştır. Rüzgâr yön sensöründen alınan yön bilgisine göre yaw motoru kanatları rüzgâra karşı yönlendirmiştir.

Anahtar Kelimeler: alternatif enerji, rüzgâr türbini, rüzgâr türbin otomasyonu, rüzgâr türbin verimliliği, yaw kontrolü, pitch kontrol

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Muzaffer Yücel
(e-posta: muzaffer@comu.edu.tr)

Bu çalışma ÇOMÜ BAP Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje numarası: 2009/74.

Bu çalışma, Rüzgar Enerji Sistemleri ve Uygulamaları başlıklı yüksek lisans tez çalışmasının bir kısmını içermektedir.

Design and Efficiency of 5 kW Wind Turbine Without Gearbox, Controlled by Yaw and Pitch Drivers

Abstract

This study is on the installation and operation of a 5-kW power wind turbine and measurement of the energy output efficiency. To keep the power plant rotating at fixed revolutions and to ensure control in high wind speeds, an automated system allowing the blade angles to change depending on the wind was installed. The yaw motor movement toward the wind direction was provided by automatic system receiving data on wind direction measurements. There was no gear box system used to increase the efficiency of the system. A self-excited generator providing 5 kW energy at 200 rpm was designed. Additionally, the energy from the turbine was transferred to the national grid. For this, the electricity produced had frequency and tension values set to the 220 V and 50 Hz found on the national grid with a regulated circuit and was then transferred to the grid. The generator (alternator), blades, tower and main chassis system of the wind turbine were designed. Trials of the turbine were completed in locations where the wind was appropriate. At the end of these trials, it was observed that the turbine had 28% average efficiency. The efficiency of this type of turbine with professional design is about 30-35%. Considering the wind is not regular in the region, it should be considered as an ideal turbine because of this efficiency. The aim of the study was to design a turbine with automation system and to operate the turbine in natural environments to determine its efficiency. The alternator used in the turbine was designed and constructed in accordance with the power of the designed blades. The blades were made using fiber construction material without leaving air bubbles by vacuum technique. One of the components of the wind turbine that increases vibration is the tail system allowing the turbine blades to turn towards the wind. No tail system was used in this study. Instead, a yaw motor was used ensuring the tower was perpendicular to the wind. The yaw motor oriented the blades against the wind based on directional information from the wind direction sensor.

Keywords: alternative energy, wind turbine, wind turbine automation, wind turbine efficiency, yaw control, pitch control

1. Giriş

Ülkeler fosil yakıtların zararlarından ve fosil yakıtlara ulaşımının pahalı olduğundan dolayı alternatif enerji üretimlerine önem vermektedirler. Alternatif enerjiler arasında en yaygın olarak güneş ve rüzgârdan elektrik üretimi başı çekmektedir. Ulusal şebekelerin ulaşamadığı yerlerde enerjinin üretilmesi şebekeden bağımsız mikro rüzgâr türbinleri ile sağlanmaktadır. Bu türbinlerin fren sistemi, alternatör manyetik alanın zıt kuvveti olduğundan dolayı özellikle fırtınalı rüzgârlarda bobinlerin, aşırı yükten dolayı taşıyamayacağı kadar akım geçmesinden dolayı erimesine sebep olur. Bu bozulma sonunda türbinin kontrolden çıkıp serbest dönmesi, bir süre sonrada kanatların kırılması ile sonuçlanmaktadır. Küçük türbinlerde kanatların rüzgâra yönelmesi için kullanılan kuyruk sistemleri rüzgâr yönünün ani değişimlerinde kanatları dönme merkezinden uzaklaştırması, kanatların kök bölgesinden kırılmasına sebep olmaktadır.

Dünyada rüzgâr türbinleri teknolojileri günden güne gelişme göstermektedir. Üretim kapasiteleri büyümekte ve verimlilikleri de artırılmaktadır. Ortalama türbin kurulum maliyetleri de düşmektedir. Bu çalışmalarda Enercon, Vestaş, Nordex, GE, Goldwind,

Siemens, gibi firmalar ticari olarak rüzgâr türbini üretmektedirler. Üretilen türbinlerde önemli ayırt edici özelliklerden biri enerji çevrim oranı olan güç katsayısı değerleridir. Üretilen türbinlerde önemli ayırt edici özelliklerden biri enerji çevrim oranı olan güç katsayısı değerleridir. Ticari olarak üretilen türbinlerin güç katsayı değeri ortalama 0,36 civarındadır. Türkiye’de bu konuda, milli RES projesi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Geliştirme aşamasında olduğundan dolayı verimlilik değerleri ile alakalı bir sonuç yoktur. Türkiye rüzgâr türbin kurma çalışmalarında özel şirket olan NORHEL firması 1,2 MW ticari olarak türbin üretmektedir. 2,6 MW türbin kurmak için çalışmalar yapmaktadırlar.

Çizelge 1.1. Türbin teorik hesaplama formüllerinde kullanılan simgelerin açıklamaları ve makalede kullanılacak olan kısaltmalar aşağıda gösterildiği gibi kullanılmıştır.

ρ	Hava akışkanın yoğunluğu 1.225kg/m^3	h	Kule yüksekliği
A	Kanatların taradığı alan (πr^2)	D	Rotor yarıçapı
V	Hava akışkanın hızı (m/sn)	C_m	Tork katsayısı
P_T	Rüzgâr toplam enerji değeri	λ	Kanat uç hız oranı
P	Rüzgârdan elde edilen toplam enerji	θ	Kanat açısı (pitch angle)
ω	Açısal hız (rüzgar)	r	Kanat boyu
T	Rotor tarafından oluşturulan tork (N.m)	C_p	Güç katsayısı
T_w	Rüzgâr tarafından elde edilen teorik tork (N.m)	n	Türbin rotor devir sayısı (dev/dk)
P_m	Momentum değişimi	P_d^+	Kanatların önündeki akıntı momentumu
P_d^-	Kanatların arkasındaki momentumu	δ_r	Radyal genişlik
a'	Açısal indüksiyon faktörü	δA_d	Türbin kanat taradığı halkanın alan değişimi
δQ	Rotor shaft tork değişimi	c	Kanat chord uzunluğu
Ω	Kanatların açısal hızı	V_d	Kanatların üzerindeki akıntı hızı
PLC	Programlanabilir mantık denetleyici	V_∞	Türbinden yeteri kadar öndeki rüzgâr hızı
V_d	Kanatlar üzerinde rüzgâr akıntı hızı	V_w	Kanatlardan hemen sonraki geçen rüzgârın hızı
PID	Otomasyonda oransal kontrol	A_∞	Kanatlardan yeteri kadar öndeki rüzgâr kesit alanı
A_d	Kanadın hemen üzerindeki rüzgâr kesit alanı	A_w	Kanattan yeteri kadar uzaktaki rüzgâr kesit alanı
a	Axial indüksiyon faktörü	V_{Rotor}	Rotor hızı
V_{hava}	Rotora gelen hava (rüzgâr) hızı		

2. Rüzgâr Türbinlerinde Güç

Alçak basınç ve yüksek basınç arasında meydana gelen hava akımlarının (rüzgâr) oluşturduğu basınç kuvvetini dairesel harekete dönüştürmek için rüzgâr türbinleri tasarlanmıştır. Gelen hava akımlarını kanatlar ile yakalayarak rotor mili üzerinde dairesel harekete dönüştürmektir. Buradaki rotor milindeki dairesel hareketi Zemamou ve ark. (2017) incelemiş ve gelen rüzgâr hızı (V_{hava}) ile kanat uç hızı (V_{Rotor}) arasında bir orantı kurmuşlardır. Yapmış oldukları çalışmalarını Eşitlik (1) de ifade ederek kanat uç hız oranını λ adını vermişlerdir. Bu değer türbin tasarımında ve teorik hesaplamalarda belirleyici bir özelliktir. Kjellin ve ark. (2011) de rüzgârın taşıdığı güç değişimi üzerine yaptığı çalışmalarında, rüzgâr kütesinin taşıdığı enerji

değerinin havanın yoğunluğuna (ρ) hızına (V) ve havanın kesit alanına (A) bağlı olduğunu Eşitlik (2)'de olduğu gibi göstermişlerdir.

$$\lambda = \frac{V_{\text{Rotor}}}{V_{\text{hava}}} = \frac{\omega \cdot r}{V_{\text{hava}}} \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2)$$

Hava kütlelerinin taşıdığı toplam enerji miktarını Eşitlik (3)'teki gibi ifade etmişlerdir. Aynı çalışmada Eşitlik (4) ifadesindeki gibi kanatların oluşturduğu tork değerinin T açılmal hız ω ile çarpımı rüzgârdan elde edilebilecek gücü P_T vermektedir. Eşitlik (5) ifadesinde ise güç katsayısını türbin çevrim gücü P_T ile gelen havanın taşıdığı P güce oranı olarak tanımlamışlardır.

$$P = \frac{1}{2} V^2 \rho A V = \text{kinetik enerji} \times \text{kütle akış hızı} \quad (3)$$

$$P_T = T \omega \quad (4)$$

$$C_p = \frac{P_T}{P} \quad (5)$$

Dairesel harekette açılmal hızın belirlenmesinde Denklem (6) ifadesi kullanılmaktadır.

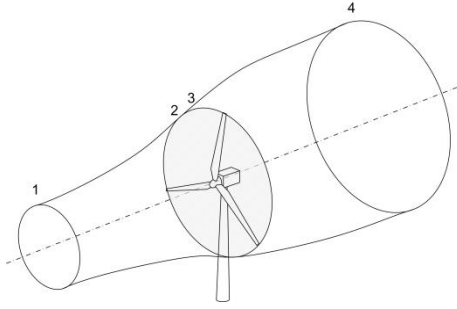
$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad (6)$$

3. Türbin Aerodinamiği

Türbin kanatlarında oluşacak olan gücün hesaplanmasında farklı metotlar ile teoriler geliştirilmiştir. Bu teoriler türbin tasarımının temelini oluşturmaktadır. Özellikle hava bir akışkan olarak kabul edildiğinden, akışkanlar dinamiği kuralları burada geçerlidir. Hava akışkanın önüne bir engel ile karşılaştığında, engelden önce, engel üzerinde ve engelden sonraki hızındaki değişim gelen akıntının hangi oranda enerjiye çevrildiği hakkında bilgi verir. Eşitlik (7) ifadesinde akışkanın farklı formlardan geçerken farklı hız kesit alanlarına sahip olacağından farklı enerji denklemleriyle ifade edilmesi gerekmektedir. Ancak bu formlardan geçerken enerji korunmaktadır. Burada engelin önünde, üzerinde ve arkasındaki hız ve akıntı kalınlığı arasındaki enerji denklemini gösterilmektedir. Engel üzerindeki rüzgar akıntı V_d hızının, eksenel(axial) indiksiyon a faktörüne bağlı olarak değişimi Eşitlik (8) ifadesinde belirtilmiştir (Tony ve ark., 2000).

$$\rho \cdot A_\infty V_\infty = \rho \cdot A_d V_d = \rho \cdot A_w V_w \quad (7)$$

$$V_d = V_\infty \cdot (1 - a) \quad (8)$$



Şekil 3.1. Rüzgâr türbine gelen havanın kanatlardan önceki, üzerindeki ve sonrasındaki etkilerinin gösterimi (Tony ve ark., 2000).

3.1 Momentum Teorisi

Momentum kanatların önünde ve arkasındaki hız değişimi momentum değişimini ΔP_m ifade etmektedir. Toplam momentum değişimi ΔP_m aşağıdaki Eşitlik (9)'da gösterilmiştir.

$$\Delta P_m = (V_\infty - V_w)\rho A_d V_d = (P_d^+ - P_d^-) \quad (9)$$

Hava akışkan olduğundan dolayı hareketin bir engel ile karşılaşmasını açıklayan ifade Eşitlik (10)'da gösterilen Bernoulli enerji denklemdir. Eşitlik (10) ifadesi içerisindeki momentum değişimi P_m yerine Eşitlik (9) ifadesi yazılırsa, kanatlar üzerine gelen rüzgârın hızı ve kanatları geçtikten sonraki hız değeri ölçüldüğünde kanatların enerji çevrim değerleri hesaplanabilir. Kanatların önündeki ve arkasındaki rüzgâr yönü aynı olduğundan düşü kot değeri ($\Delta h = 0$) alınabilir.

$$\frac{1}{2}\rho V^2 + P_m + \rho g \Delta h = sbt \quad (10)$$

$$\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 = \frac{1}{2}\rho_d V_d^2 + P_d^+ \quad (11)$$

Tony ve ark. (2000) yaptıkları çalışmalarında kanatlar üzerindeki akıntı hızının açısal indüksiyon faktörü a ile arasındaki ilişkiyi Eşitlik (12)'de göstermişlerdir. Yine bu çalışmada açısal indüksiyon faktörünün güç katsayısını C_p belirlediğini Eşitlik (13) te göstermişlerdir.

$$V_w = (1 - 2a)V_\infty \quad (12)$$

$$C_p = 4a(1 - a)^2 = \frac{\text{Power}}{\frac{1}{2}\rho A_d V_\infty^3} \quad (13)$$

3.2 Betz Limiti

Yapılan matematiksel teorik hesaplamalarda güç katsayısının %59 değeri aşamayacağı bulunmuştur. Bu değer rüzgârdan gelen enerjinin %59 gibi bir oranda mekanik enerjiye dönüştürülebileceğini öngörmektedir. Aşağıdaki ifadede güç katsayısının türevinin sıfır olduğunda indüksiyon faktörü değeri $a = \frac{1}{3}$ değerini almaktadır (Tony ve ark., 2000).

$$\frac{dC_P}{da} = 4(1-a)(1-3a) = 0 \quad (14)$$

3.3 İtme Katsayısı

Gelen akıntının türbin kanatlarına uyguladığı basınç kuvvetini tanımlayan bir katsayıdır. Bu uygulanan basınç kuvveti kanatların rotor mili üzerinde dönmesini sağlayan kaldırma kuvvetine neden olur. Aşağıdaki ifadede kanatlara rüzgâr tarafından uygulanan basınç kuvvetini göstermektedir. Bu basınç kuvveti kanatların üzerinde itme kuvvetine neden olur, bu itme kuvveti C_T katsayısının değeri Eşitlik (16) ya göre hesaplanmaktadır (Tony ve ark., 2000). Eşitlik (15) de gelen rüzgârın kanatlar üzerinde bir basınç, itme kuvveti F oluşturmaktadır. Oluşan bu kuvvet kanatların rüzgârın yönüne doğru bir açı oluşturarak dönme kuvvetine dönüşür. Burada rüzgâr kanatlar üzerinden geçerken momentumunu aktarır. Eşitlik (15) de gösterildiği gibi kanatların önündeki ve arkasındaki momentum değişimi itme kuvvetini meydana getirir.

$$F = (P_d^+ - P_d^-)A_d = 2\rho A_d V_\infty^2 a(1-a) \quad (15)$$

$$C_T = \frac{\text{Power}}{\frac{1}{2}\rho A_d V_\infty^2} = 4a(1-a) \quad (16)$$

3.4 Açısal Momentum Teorisi

Türbin kanatlarına gelen rüzgâr farklı kanat açılarına çarparak kaldırma kuvveti meydana getirir. Bu kaldırma kuvveti kanatların bağlı olduğu rotor üzerinde bir dönme meydana getirir. Kanatlarla birlikte dönen rotor hareketini açıklamak için açısal hareket momentum teorisi kuralları uygulanır. Eşitlik (17) ifadesinde türbin kanatlarının Tork değişim değeri bağlı olduğu parametre değerlerine göre belirlenir. Kanatların bağlı olduğu ana mildeki torkmetre ölçüm cihazı kanatların üretmiş olduğu güç miktarını göstermektedir. Eşitlik (18) ifadesinde ise tork ve rüzgâr açısal hızın oluşturduğu güç değişim ifadesi bulunmaktadır. Kanatları geçen hava akımı, kanatların dönme etkisine bağlı olarak, kanat arkasında hava dönme eksenini oluşturur, buradaki açısal hız değeri bu dönme ekseninin değeridir (Tony ve ark., 2000).

$$\delta Q = \rho \delta A_d V_\infty (1-a) 2\Omega a' r^2 \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \delta P &= \delta Q \Omega = 2\rho \delta A_d V_\infty^3 a(1-a)^2 = 2\rho \delta A_d V_\infty (1-a) 2\Omega^2 a' r^2 = \\ &= \left(\frac{1}{2}\rho V_\infty^3 2\pi r \delta r\right) 4a'(1-a)\lambda^2 \end{aligned} \quad (18)$$

Rüzgâr türbinlerinde kanat tasarımı yapılırken kanat uç hız oranı değerine göre kanatların devir sayıları belirlenir. Bu devre göre de alternatör tasarımı yapılır. Eşitlik (19) gösteriminde kanat uç hız oranının rüzgâr açısal hız değerine göre bağlı olduğu parametreler gösterilmiştir.

$$\lambda = \frac{\Omega r}{V_\infty} \quad (19)$$

Rüzgâr türbin kanatları için iki farklı açısal hız tanımlanmaktadır. Kanatların açısal hızı ve rüzgârın dönmesinden meydana gelen açısal hız değeri, bu iki değer Eşitlik (20) ifadesindeki açısal indüksiyon faktörünü a' belirlemektedir. Koç ve ark. (2016) yapmış olduğu teorik hesaplama çalışmalarında indüksiyon faktörlerinin hangi parametrelere bağlı olduklarını

tanımlanmışlardır. Eşitlik (20) ifadesinde ise aksiyal indüksiyon faktörünün a gelen rüzgâr hızının ve kanatlar üzerindeki hız arasındaki etkileşim değerini göstermektedir.

$$a = \frac{(V_{\infty} - V_a)}{V_{\infty}} , \quad a' = \frac{\Omega}{2\omega} = \frac{a(1-a)}{\lambda^2} \quad (20)$$

4. Yöntem

4.1 Rüzgâr Türbin Jeneratörü



Şekil 4.1. 5 kW gücündeki rüzgâr türbinin kurulu gösterimi

Yapılan çalışma Şekil 4.1 de olduğu gibi rüzgârın verimli olduğu düşünülen bölgede kurulmuş enerji üretim değerleri gözlemlenmiştir. Kanatlardan alınan kaldırma gücü rotora tork olarak aktarılır. Dişli kutusu olmayan türbinlerde rotor doğrudan alternatöre bağlıdır. Bu sistemlerde alternatörlerin gerilim ve frekansın ayarlanabilmesi için rotor ve statorun çapı dişli kutulu olan alternatörlere göre büyüktür. Yapılan çalışmada 50 Hz frekansında ve 380 volt elektrik üretimi ve bu değerleri elde etmek için 200 rpm dönen alternatör tasarlandı. Türbin rotorunun yüksek devirde dönmesi türbin titreşiminin artmasına ve bunun sonucunda kanat balansının bozulup dağılmasına sebep olmaktadır. Türbin devrinin sabit tutulması ve bu değeri aşmaması kontrol açısından önemlidir.

Alternatörler manyetik alana karşı yapılan işi elektrik enerjisi olarak verirler. Manyetik alandan geçen bobin gurubunda elektron hareketi gerçekleşir. Bu hareketin sürekliliği elektrik akımını oluşturur. Alternatörler manyetik alanı oluşturmak için elektromıknatıs veya sürekli mıknatıslar kullanılarak elde edilir. Rüzgâr türbin alternatörlerinde sürekli mıknatıslı rotor yapıları özellikle şebekeden bağımsız çalışan türbinlerde kullanılır. Yapılan çalışmada kullanılan alternatör rotoru birbirine karşılıklı yerleştirilmiş flanşlar üzerine monte edilmiş ve karşılıklı N ve S kutupları birbirine bakacak şekilde, 40 adet N35 neodyum mıknatıslardan oluşmuştur. Aşağıda Şekil 4.2’de gösterildiği gibi flanşların güçlü mıknatıs çekimlerine karşı burkulmaması için 15 mm kalınlığında demir plakadan kesilmiştir. Ayrıca sıcak kesim flanşın gönyesini bozduğundan su ile kesim yapılmıştır.



Şekil 4.2. Rüzgâr türbininde kullanılan alternatörün rotor kısmındaki mıknatısların yerleştirilmesinin gösterimi

Yapılan çalışmada manyetik alanın içerisinden bobinlerin geçirilmesinde zıt bir kuvvet uygulandığından dağılmaması ve titreşim yapmaması için sabitlenmesi gerekmektedir. Bu sabitleme işleminde manyetik alan çizgilerinin etkilenmemesi de önemlidir. Ayrıca yağmur korozyon gibi dış etkilerden korunması gerekmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı bobinler Şekil 4.3'de olduğu gibi kalıp hazırlanmıştır. Bu kalıp içerisine bobinler sıralanarak bağlantıları yapılmıştır.



Şekil 4.3. (a)Titreşim ve bağlantının yapılabilmesi için bobin protolin kalıbının hazırlanması ve (b) Bobin gruplarının sarılması

Yapılan alternatör statorunun elektrik üretiminde 3 fazda da aynı özellikteki sinyalin alınabilmesi için faz açılarının 120° olması gerekmektedir. Şekil 4.4'teki kalıp içerisine alınan stator bloğunda 15 adet stator beşli gruplandırılarak 3 faz çıkış uçları ile yıldız bağlantı yapılmıştır. Yük dengesinin sağlanabilmesi için yıldız bağlantının kesişim noktası topraklama yapmak için çıkış alınmıştır.



Şekil 4.4. Stator bobinlerinin dış ortamdan izole edilmesi için kalıp içerisine alınması gösterimi

4.2 Kule

Yapılan çalışmada 12m yüksekliğinde kule tasarlandı. Kule üzerindeki rotora ulaşabilmek için dış kısmına merdiven yapıldı. Ayrıca kule menteşe sistemi yapılarak, Şekil 4.5'te gösterildiği gibi rotorun kurulumunda ve arızanın yerde giderilebilmesi için hidrolik piston yardımıyla kulenin yere yatırılması için tasarlanmıştır.

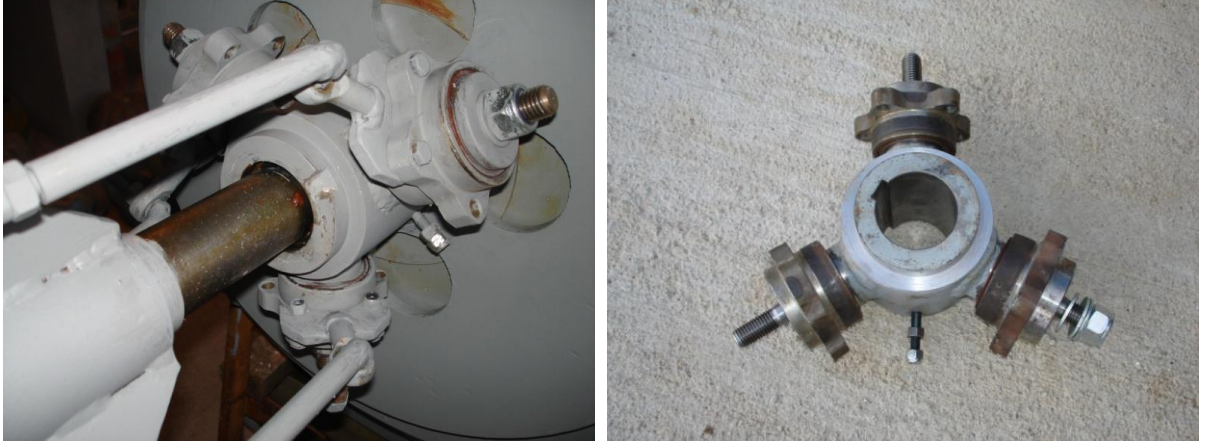


Şekil 4.5. Türbin kule sistemi kanatların bağlanması gösterimi

4.3 Türbin Fren ve Kontrol Sistemi

Türbin kontrolünün otomasyon ile sağlanması, yazılan programın yüklenebildiği ve sonrasında programa göre türbin üzerinde kontrollerin uygulanması için PLC (programlanabilir mantık denetleyicisi) kullanılmıştır. Fren sisteminin sağlanması ve kanat devir kontrolünün yapılması için kanat açılarını rüzgâra karşı değiştirme (pitch) kontrol sistemi tasarlanmıştır. Tek noktadan 3 kanadı açılarının değişmesi için lineer motor kullanılmıştır. Aşağıdaki Şekil 4.6'daki gösterimde kanatların bağlı olduğu ve açı değişimine imkan sağlayan sistem gösterilmiştir. Bu sistem ile kanat açılarını değişimi yapılabilmektedir. PLC sistemdeki üretilen elektrik değerlerini ve kanat devrini hesaplar ve lineer pistonu hareket etmesini sağlar. Lineer piston arkasındaki açı ölçüm sensörü (encoder) ile olması gereken açı değerinde durur. Bu şekilde yapılan kontrolde kulenin aşırı titreşiminde veya sınırı aşan (≥ 20 m/sn) rüzgâr hızı durumunda kanatları rüzgârın geliş doğrultusuna göre paralel konuma getirerek türbinin zarar görmesini engeller. Nagai ve ark. (2009) yaptıkları

kanat açıları değişen kanat rotor tasarımında farklı açılardaki tork katsayı değerlerini belirlemeye çalışmışlardır. En yüksek tork katsayısı değerini 0,077 ile 5° pitch açısında bulmuşlardır.



Şekil 4.6. Kanat açısı değişimi (pitch) kontrolünü yapılmasını sağlayan rotor kanat bağlantı elemanı ve lineer piston gösterimi

5. Bulgular ve Tartışma

5.1 Türbin Ulusal Şebeke Bağlantı Kontrolü

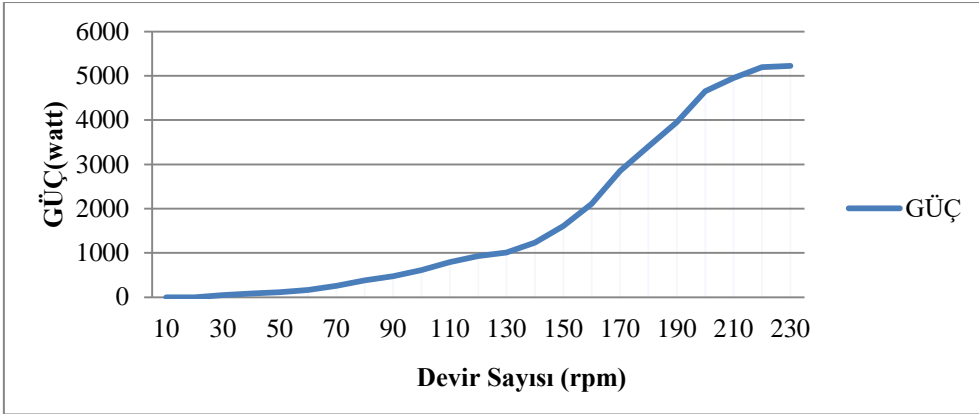
Yapılan çalışmada üretilen enerji Ulusal şebekeye aktarılmış ve bağlanmak için şebekeye paralel inverter (senkronizer) kullanılmıştır. Sistem türbin alternatöründen üretilen 3 fazlı sinyali, faz ve gerilim değerleri rüzgâr hızına göre değişen elektriği şebekeye senkron voltaj düzenleyici (sencronizer) sistem ile gerilim ve frekans istenilen hale getirerek şebekeye aktarmaktadır. Ayrıca sistem şebekede elektrik olmadığı zaman elektrik aktarımı yapmaz. Şebekeye kirli elektrik aktarımı olmaması için, 50 hz frekansı gördükten sonra aktarımı yapmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 4.1 de uygulama türbinde kullanılan kanatların kökünden başlayarak uç kısmına kadar 10 cm aralıklar ile yapılan ölçümleri göstermektedir.

Çizelge 4.1. Yapılan çalışmada kullanılan 2.40m uzunluğundaki kanatların boyut ölçümleri

Kanat boyu [r] (cm)	(Kalınlık) [t](cm)	(Veter uzunluğu) [c] (cm)	Açı değişimi (°)
0	7	15	0
10	7	15	0
20	7	18	1
40	8,2	26	10
60	8,1	29	19
80	7,5	29,5	21
100	6,9	27,5	19
120	6,5	27	17
140	6,1	26,5	15,2
160	5,9	26	13
180	5,7	25,5	11,6
200	5,6	24,8	10
220	5,4	24,3	9

5.2 Türbin Kanat Devir Sayısı – Güç Eğrisi Değişimi

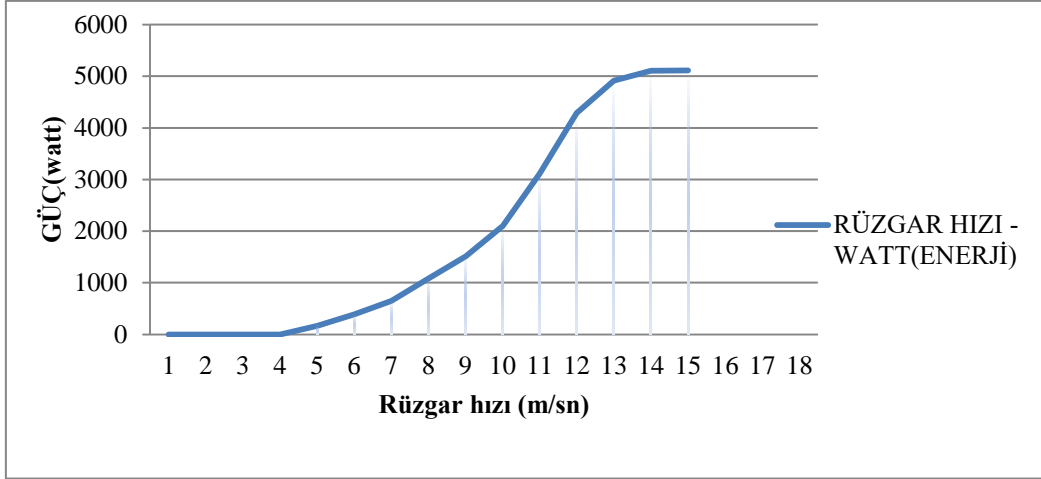
Tasarlanan türbinin alternatörü 200 rpm civarında maksimum güç (5 kW) üretmesi için tasarlanmıştır. Türbin bu güce 230 rpm devirde ulaşmıştır. Dişli kutusu bulunmadığından bu devirden daha fazla dönen kanatlar türbinde yüksek titreşime sebep olmaktadır. Rüzgâr hızı artsa da türbinde devir kontrol sistemi olduğundan kanat açılarını değiştirerek devrini düşürmektedir. Ayrıca yazılımda PID (Proportionan Integral Derivative) oransal kontrol bulunduğundan anlık olarak bu devir üzerine çıkmasına izin verilmemektedir. Şekil 4.7 gösteriminde türbin 30 rpm de enerji değeri sencronizerin kabul ettiği enerji sınır değerini aşmış ve bu değerden sonra elektrik üretmeye başlamıştır. 30 rpm altındaki hızlarda otomasyon sisteminin çalışması için ulusal şebekeden elektrik kullanılmıştır. Ayrıca kuleyi rüzgâra karşı döndüren yaw motoru 4 m/sn altında kalan rüzgâr türbin için verimli olmadığından kontrol sistemi tarafından yönelme sağlanmamıştır. Bu şekilde verimli rüzgâr olmadan iç sistemde harcanacak olan enerji önlenmiş olmaktadır.



Şekil 4.7. Türbin alternatörün devir sayısına bağlı olarak ürettiği güç değerinin gösterimi

5.3 Rüzgâr Hızı – Güç Eğrisi Değişimi

Yapılan rüzgâr türbini uygun bir yere dikilmiş ve enerji çıkışları takip edilmiştir. Üretilen enerji değere ulusal şebekeye aktarılmıştır. Aktarılan elektrik miktarı şebekeye senkron voltaj düzenleyici(sencronizer) üzerindeki enerji sayacından okundu. Üretilen enerji miktarları ve rüzgar hızı değerleri ile birlikte Şekil 4.8 gösteriminde türbin 4 m/sn civarında esen rüzgarda enerji üretmeye başlamıştır. 13m/sn sonrasında türbin alternatöründen üretilebilecek maksimum akım değerleri gözlenerek üretim sabitlenmeye başlamıştır. Gözlemlenen bu maksimum değerinde çalıştığında alternatör bobinlerinin yüksek ampere karşı korumak için kontrol sistemindeki plc kanat açılarını değiştirerek alternatörün zarar görmesini önleyecek şekilde ayarlamıştır. Enerji çıkış değerine bakıldığında türbindeki verim ortalama %28 civarındadır.



Şekil 4.8. Tasarlanan rüzgar türbini rüzgar hızına bağlı enerji çıkış değerleri

6. Sonuçlar

Yapılan çalışma Çanakkale /Çan ilçesi sınırları içerisinde Kocabaş çayı vadisinde bulunan (40.036283,27.065831) GPS koordinatları verilen noktada denemeleri yapılmıştır. Bu noktanın seçilmesindeki amaç Kocabaş çayı vadisinin nispeten düzenli bir hava akıntısına sahip olmasından dolayıdır. Ayrıca şebekeye bağlanmak için elektrik dağıtım hattının buradan geçmesinden dolayı türbin için uygun bir yer olarak görülmüştür.

Rüzgâr türbinleri enerji üretimleri watt boyutundan mW seviyelerine kadar büyük yapıdadırlar. Burada en önemli problemlerden biri kurulduktan sonra en az bakımla ne kadar uzun süre faal olduğuyla alakalıdır. Kontrolsüz dönen türbinler kısa sürede bozulmaktadır ve ürettikleri elektrik sinyalinde kirlilik oluşturan istenmeyen pikler meydana gelir. Kanatların kontrolsüz dönmesi, aşırı hızlanması kanat uç hızının ses hızını geçmesini sağlar ve kanatların titreşim frekansını artırır. Ayrıca kılcal çatlamalara sebep olarak kısa sürede kanat balansının artmasına ve daha fazla titreşime neden olur. Sonuç olarak kanatların dağılması ve türbinin zarar görmesine neden olur. Bunun türbin devir kontrolünün küçük boy rüzgâr türbinlerinde de yapılması gerekmektedir. Rüzgâr türbinlerinde devir kontrol ve fren sistemi kanat açılarının rüzgâra karşı değiştirilebilen sistem olmalıdır. Açıları değişen kanatlar istenilen devirde dönme imkânı sağlarlar. Bu şekildeki türbinler aşırı rüzgârlarda da kanatlar dönmeyeceğinden sağlam kalırlar. Rüzgâr türbinleri hareketli sistemler olduklarından, hareketli ve dönen parçaların en büyük problemi zaman içinde aşınarak bozulmalarıdır. Burada en önemli bakım hareketli parçaların sürtünmesinin azaltılması için yağlama bakımlarının kısa süre aralıklarında yapılması gerekmektedir. Küçük boy türbinlerdeki en önemli problem titreşimin yüksek olmasıdır. Titreşimin başlıca sebebi kanatların rüzgâra yönelmesini sağlayan kuyruk sisteminin bulunmasıdır. Kuyruk sistemi rüzgârın devamlı küçükte olsa yön değiştirdiğinden dolayı kuyrukta yönelme için baskı yapmaktadır. Bu ani baskılar kanatların hızlı dönmeleri anında kanatlarda dönme ekseninden ayrılmasına neden olur. Bu eksenden ayrılma durumu kanat köklerinin zamanla kırılmasına neden olmaktadır. Bunun için ideal olan durum kuleyi rüzgâra yönlendirecek yaw motorlu sistemin yapılmasıdır. Yapılan çalışmada enerji çıkış değer verimliliği %28 civarında bulunmuştur. Aynı ölçülerdeki diğer türbinlerin ortalama verimliliklerine bakıldığında %30 civarında oldukları görülmektedir (Anonim,2018).

Teşekkür

Bu çalışma, ÇOMÜ-BAP, 2009/74 numaralı , “Rüzgâr enerji sistemleri ve uygulamaları” isimli proje tarafından desteklenmiştir. Ayrıca Bu çalışma, Rüzgar Enerji Sistemleri ve Uygulamaları başlıklı yüksek lisans tez çalışmasının bir kısmını içermektedir.

Kaynakça

- Anonim, 2018 Wind Power Program, 3.03.2018 http://www.wind-power-program.com/small_turbines.
- Arslan M., Tuzcu H., Günerhan H., 2017 Konut tipi rüzgar türbin kanatlarının teorik modellenmesi ve güç üretimini etkileyen belirli aerodinamik özelliklerinin karşılaştırılması, 4. İzmir Rüzgar Konferansı 2017
- Kjellin J., Bülow F., Eriksson S., Deglaire P., Leijon M., Bernhoff H., power coefficient measurament on 12 kw straght bladed vertical axis wind turbine. *Renueable Energy* 36(2011) 3050-3053
- Koç E., Şenel M.C., 2016. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde optimum türbin parametrelerinin belirlenmesi –teorik yaklaşımı, *Mühendis makine cilt 57 sayı 676* s32,40 (2016)
- Lucia A.M, Gabriela O., Rares A.C., Sergiu N., Adrian N., Mihail P., 2015. Wind tunnel testing for e new experimental model of counter- ratating wind türbine, *Procedica engineering* 100(2015) 1141-1149
- Mitulet L.A., Oprina G., Chihaiia R.C., Nicolaie S., Nedecu A., Popescu M.,2015. Wind tunnel testing for a new experimental model of counter-rotating wind türbine, *Procedia engineering* 100 (2015) 1141-1149
- Nagai Baku M., Ameku K., Roy J.N.,2009. Performance of 3kw wind turbine generator with variable pitch control system, *Applied Energy* 86 (2009)1774-1782
- Song Y. D., Dhinakaran B., Bao X. Y.,2000. Variable speed ccontrol of wind turbines using nonlinear anad adaptive algorithm, *Journal of wind engeneering and industrial aerodynamics* 85 (2000)293-308
- Tony B., David S., Nick J., Ervin B.,2000. *Wind energy handbook*, ISBN 0 471 48997 2
- Zemamou M., Aggour M., Toumi A., 2017. Review of savonious wind turbine design and performance, *Energy Procedia* 141(2017) 383-388