



## KÜÇÜK RÜZGAR TÜRBİNİ GÜÇ SİSTEMİ MODELLEMESİ

### SMALL WIND TURBINE POWER SYSTEM MODELING

The Journal of Global Engineering Studies

Volume:3 Issue:1 (2016) 82–92

□

3<sup>rd</sup> Anatolia Energy Symposium Special Issue

Kadir Cengiz<sup>a,\*</sup>

Numan Sabit Çetin<sup>b</sup>

Enver Er<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Muğla Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 48000 Muğla  
kcengiz@mu.edu.tr

<sup>b</sup>Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Bölümü, 35100 İzmir numan.sabit.cetin@ege.edu.tr

<sup>c</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Muğla Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 48000 Muğla  
enverer@mu.edu.tr

#### Özet

Son yıllarda, rüzgar gücü sistemleri teknolojisi çok hızlı bir şekilde gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır. Rüzgar gücü sistemleri genellikle şebekeye bağlı veya otonom sistemler olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, su pompalama istasyonları, aydınlatma, haberleşme vb. alanlarda da çok tercih edilmektedir. Günümüzde, rüzgar gücü sistemlerinin kullanılabilirliği, kullanım süreleri, esnekliği, güvenilirliği, düşük maliyetleri ve yüksek gelir getirmesi gibi konular gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, Muğla'daki üç ayrı noktadaki rüzgar hızı verilerine göre 4,6 kW gücündeki rüzgar türbini Matlab / Simulink modellemesi yapılmıştır. Modellemede rüzgar türbini şarj ünitesi girişindeki akım-gerilim, güç değerleri ölçülmüştür. Simülasyon sonuçlarına göre Muğla'daki üç ayrı noktadaki elektrik enerjisi üretimi değerleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:**Rüzgar türbini, Matlab/Simulink tasarımı

#### Abstract

In recent years, wind power systems technologies developed and spread very quickly. Wind power systems are generally used as grid connected or autonomous systems. In addition, water pumping stations, lighting, communications and so on. It is preferred in many areas. Today, the availability of wind power systems, duration of use, flexibility, reliability, lower costs and higher revenue issues such as bringing more and more important every day. In this study, According to wind speed data to the power of 4.6 kW wind turbine Matlab / Simulink modeling was performed at three different locations in Muğla. Modeling of wind turbine charger input current-voltage, power values were measured. According to the simulation results are compared Electricity production values in three different locations in Muğla

**Keywords:**Wind turbine, MATLAB / Simulink modeling.

\*Corresponding author

## Semboller

$C_p$	: Maksimum güç katsayısı
$I_{ac}$	: Bir faz çıkış akımı [amper]
$I_c$	: Bir faz akımı [amper]
$I_{dc}$	: Omik Yükten çekilen akım [amper]
$P_{3ac}$	: 3 faz elektriksel çıkış gücü [watt]
$P_{ac}$	: Bir faz elektriksel çıkış gücü [watt]
$P_{dc}$	: Omik Yükte çekilen güç [watt]
$P_w$	: Rüzgarın oluşturduğu elektriksel güç değeri [watt]
$R$	: Kanat çapı [metre]
$T_m$	: Tork değeri
$T_w$	: Rüzgardan elde edilen moment [Nm]
$V_{ac}$	: Bir faz çıkış gerilimi [volt]
$V_b$	: Faz-Nötr arası gerilimi [volt]
$V_{bc}$	: Fazlar arası gerilim [volt]
$V_{dc}$	: Omik Yük üzerine düşen gerilim [volt]
$\rho$	: Hava yoğunluğu [ $kg/m^3$ ]

## 1 Giriş

Günümüzde, fosil yakıtlar hızla tüketildiğinden muhtemelen 20-30 yıl içinde rezervlerin bitmesi beklenmektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynakları geleceğin enerji kaynakları arasında büyük bir paya sahip olacaktır. Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynakları; kurulum maliyeti, kullanılabilirlik ve dayanıklılık problemlerinden dolayı sınırlı uygulama alanlarına sahip olsalar da rüzgar güç sistemi kullanarak elektrik enerjisi üretimi iyi ve ucuz yöntemlerden biridir.

Önceki yapılan çalışmalar küçük güçlü rüzgâr türbinleri Matlab/Simulink tasarımı çalışmaları olarak incelenebilir. Farklı rüzgar hızı modellerinin Sabit Mıknatıslı Rüzgar Türbinindeki (SHRT) 3 faz arıza analizleri, bilgisayar ortamında PSAT benzetim programında gerçekleştirilmiştir. Rüzgar hızı modelleri olarak Weibull ve Birleşik Rüzgar Hızı modelleri kullanılmıştır. Bu benzetim çalışması Uluslararası Elektrik Elektronik Mühendisliğinin 14 baralı güç sisteminde gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerle, farklı generatör baralarına bağlı SHRT'de; Weibull ve Birleşik Rüzgar Hızı modellerinin 3 faz arızasındaki açılma hızı, açı ve generatör bara gerilim değişimleri üzerinde incelenmiştir. Sonuç olarak, Weibull dağılımı ve Birleşik rüzgar hızı modellemelerinin geçici durumlarda sistem üzerinde etkili olduğu görülmüştür [3].

Şebekeden yalıtılmış rüzgar-diesel güç üretim sisteminin birbirine bağlantısı sonucunda oluşturulmuş hibrit güç üretim sisteminin Matlab-Simulink programında dinamik simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Rüzgar-Diesel hibrit güç üretim sistemi ile üretilen elektrik genellikle şebekeden uzak alanlar için kullanılmaktadır. Kesintisiz yüksek kaliteli elektrik enerjisi için, kesintili rüzgar kaynağı sıkıntısı diesel generatör kullanılarak çözülmektedir. Rüzgar-Diesel güç sistemi bileşenleri modüllerle gösterilmektedir. Hibrit güç üretim sisteminin farklı yük durumlarında elektriksel çıkış büyüklüklerindeki (güç, gerilim ve frekans) değişimler grafiklerle gösterilmiştir [7].

Söke Meslek Yüksekokulu bahçesine kurulması düşünülen Rüzgar-PV (Hibrit) güç sisteminin matlab/Simulink programında modellenmesi yapılmıştır. PV güç sistemi dış aydınlatmaya destek olması amaçlı planlanmış ve 560W gücündeki panellerden oluşturulmuştur. Rüzgar güç sistemi ise okul iç aydınlatmasına destek olması amacıyla tasarımı yapılmıştır. Hibrit uygulama şebeke bağlantılı olarak modellenmiştir [2]. Matlab programı ile bir rüzgâr türbinindeki mekanik ve elektriksel dinamikler temel alınarak, genel back stepping ve adaptif back stepping kontrol çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan kontrol şartları sağladığı ve daha yüksek çıkış gücü ürettiği gözlemlenmiştir [5]. Otonom bir rüzgâr türbininin kanat açısı ayarlanarak tork kontrolü yapılmıştır. Türbinde kanat açısı kontrolü için; Matlab/Simulink programı ile doyum sınırlarına sahip integratörlü kanat hareket mekanizması ve 3 eğim hız seviyeli kanat hareket mekanizması kullanılmıştır. Sonuçta; 3 eğim hız seviyeli kanat hareket mekanizmasının doyum sınırlarına sahip integratörlü kanat hareket mekanizmasına göre daha çok güç ürettiği görülmüştür [4].

Otonom bir rüzgâr türbin sistemi simüle edilmiş ve türbinin bulunduğu ortamdaki meteorolojik veriler ve türbinin karakteristik verileri birer saniyelik aralıklarla ölçülmüştür. Bu ölçümlerden yola çıkılarak, simülasyon değerleri ile ölçülen gerçek değerler grafik ortamında hazırlanan yazılımla, eşzamanlı olarak karşılaştırılmıştır. Türbin simülasyonu için önce Matlab programı kullanılmıştır. Tezde ölçülen veri sayısının çok olması, ölçülen verilerin simülasyon sonuçları ile aynı grafik üzerinde ve internet üzerinden anlık olarak izlenmek istenmesi sebepleriyle Matlab programının yavaş kaldığı görülmüş ve Delphi programlama dili ile Turbine Analyser adında yeni bir program yazılmıştır. Matlab ile yapılan simülasyon sonuçları ile Turbine Analyser programında yapılan simülasyon sonuçları karşılaştırılmış ve aynı sonuçlar gözlemlenerek yazılan programın testi de yapılmıştır. Bu çalışma sonunda, türbin testi yapabilen özgün bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem sayesinde küçük güçlü (20kW ve altı) otonom rüzgâr türbinlerinin karakteristik testleri yapılabilecektir [1].

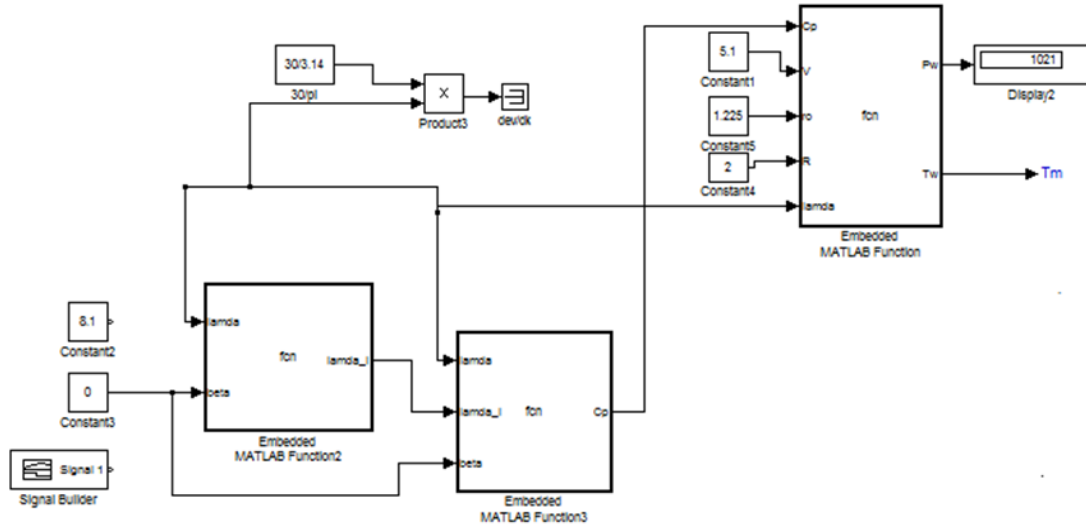
Donanımsal ve yazılımsal olarak rüzgâr türbinleri için değişik kontrol sistemleri incelenmiş ve bir FPGA tabanlı Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri, GPRS haberleşme protokollü uygulaması ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Türbinden elde edilecek enerji üretiminin en üst düzeye çıkarılması, aktif kontrol ile bakım, onarım maliyetlerinin en aza indirilmesi ve türbin kazalarının önlenmesi için değişik rüzgâr türbini kontrol sistemi algoritmaları incelenmiş ve MATLAB kullanılarak benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen en uygun bir rüzgâr türbin kontrol algoritması kullanılarak FPGA/GPRS tabanlı bir kontrol uygulaması gerçekleştirilmiş ve tasarım sırasında karşılaşılan güçlükler belirtilmiştir. Daha sonra, bu kontrol sistemi bir örnek üzerinde denenmiş ve test sonuçları belirtilmiştir. Algılayıcılardan gelen veriler kablosuz modüller ile FPGA ve GPRS modüllerine iletilmiştir. FPGA platformuna gömülen ve VHDL programlama dilinde yazılan bir rüzgâr türbini kontrol algoritması ile de türbin motorları kontrol edilmiştir. GPRS modüle veri transferi için yazılan bir Java ME programı ile rüzgâr türbininden alınan veriler sunucuya iletilmiştir [6].

Bu çalışmada Muğla il merkezindeki meteoroloji istasyonundan 2013, 2014 yılları ve Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün Muğla için 50 metre yükseklik için hazırladığı rüzgar haritası, rüzgar hızı verilerinden yararlanılmıştır. Rüzgar türbini simulink modellenmesi yapılarak Muğla il merkezi meteoroloji istasyonu, Muğla Sıtkı

Koçman Üniversitesi Morfoloji binası üst kısmı, Gülağzı (radar) tepesi yıllık verilerine göre elektriksel üretim değerleri hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre Muğla'daki üç ayrı noktadaki elektrik enerjisi üretimi değerleri karşılaştırılmıştır.

## 2 Rüzgar Türbinİ Güç SistemİNİN Modellenmesi

4,6 kW gücündeki rüzgar türbini simulink modeli ve elde edilen grafikler aşağıdaki şemalarda verilmiştir.



Şekil 2.1: Rüzgar Gücü ve Üretilen Tork Simulink Modeli

Simulink ortamında modellenmesi yapılan rüzgar türbininin kanatlarına çarpan rüzgarın oluşturduğu  $P_w$  elektriksel güç değeri ve  $T_m$  tork değeri Şekil 2.1'de verilmiştir. Simulink modelde devir sayısını bulmak için açısal hız (rad/saniye) çevrilecek  $30/3.14$  sonucu ile çarpılmıştır.  $C_p$  değeri ise fonksiyon olarak tanımlanıp hesaplanmıştır.  $P_w$  ve  $T_m$  değerlerini elde etmek için rüzgar hızı alınan verilere göre değerlendirilmiştir. Ayrıca  $\rho = 1.225$  ve türbin kanat çapı  $R = 2$  metre alınmıştır. Simülasyon çalıştırıldığında rüzgar  $P_w$  elektriksel güç değeri rüzgar hızı değişimine göre ölçülerek kayıt edilmiştir. Rüzgardan elde edilen tork değeri de daimi mıknatıslı generatör (PMG) üzerine aktarılmıştır. Rüzgar gücü ve Üretilen Tork Matlab/Simulink ortamında yapılan modelleme ile ilgili matematiksel eşitlikler aşağıda verilmiştir.

Şekil 2.2'de PMG rüzgar türbini simulink modeli oluşturulmuştur. Bu model rüzgarın oluşturduğu tork değeri ( $T_m$ ) rüzgar ve türbin kanat verilerine göre otomatik olarak hesaplanarak PMG rüzgar türbinin  $T_m$  girişine verilmektedir. Rüzgardan elde edilen torkun değerine göre PMG rüzgar türbini çıkışından üç fazlı AC elektriksel güç üretilmektedir. PMG rüzgar türbini çıkışından elde edilen çıkış akımı, gerilimi ve gücü elektriksel değerleri simulink ortamında ölçülmüş ve grafiksel eğrileri de elde edilmiştir. PMG rüzgar türbini çıkışı elektriksel değerleri fazlar arası gerilimler(ac), faz gerilimi(ac), faz akımı(ac), bir fazdan elde edilen elektriksel güç(ac), üç fazdan elde edilen elektriksel güç(ac). Şarj cihazı çıkışı (dc taraf) elektriksel değerleri ise omik yük üzerine düşen gerilim(dc), omik yük tarafından çekilen akım(dc), Omik

```

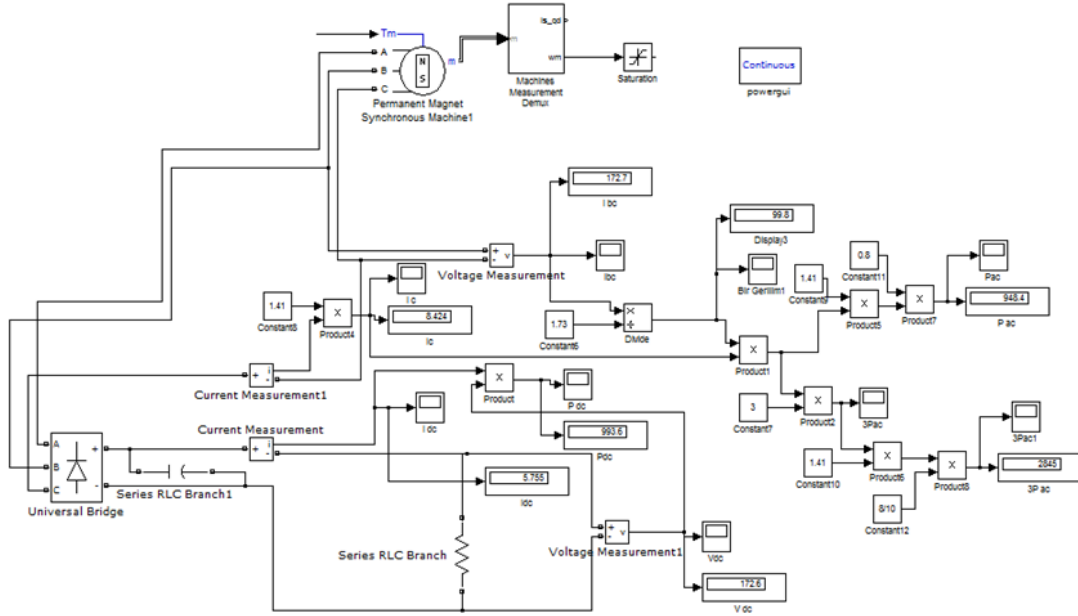
function lamda_i = fcn(lamda, beta)
%#eml

lamda_i = 1/(1/(lamda+0.08*beta)-0.035/(beta^3+1));
function Cp = fcn(lamda,lamda_i,beta)
%#eml

Cp = 0.5176*(116/lamda_i-0.4*beta-5)*exp(-21/lamda_i)+0.0068*lamda;
function [Pw,Tw] = fcn(Cp,V,ro,R,lamda)
%#eml

Pw = 1/2*pi*ro*R^2*V^3;
Tw=Pw/lamda;

```



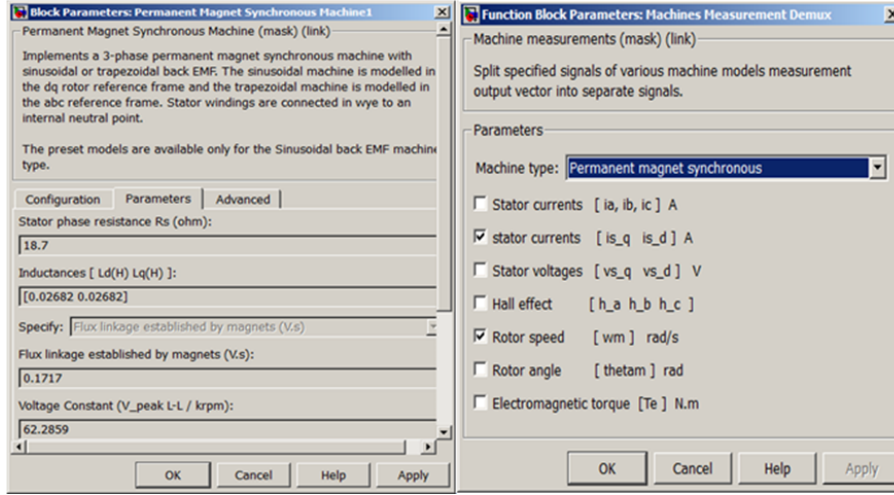
Şekil 2.2: PMG Rüzgar Türbini Simulink Modeli

yükün harcadığı güç(dc) değerleri ve grafiksel eğrileri elde edilmiştir. PMG Rüzgar Türbini Simulink Modeli ile ilgili matematiksel eşitlikler ve parametreler aşağıda verilmiştir. Matematiksel ifadeler eşitlik (2.1), (2.2) ve (2.3)'te parametreler ise Şekil 2.3'te verilmiştir.

$$P_{ac} = U \cdot I \cdot \cos \theta \quad (2.1)$$

$$P_{3ac} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \theta \quad (2.2)$$

$$P_{dc} = V_{dc} \cdot I_{dc} \quad (2.3)$$



Şekil 2.3: PMG Rüzgar Türbini Simulink Modeli Türbin Parametreleri

### 3 Rüzgar Verilerine Göre Üretilen Elektrik Enerjisinin Hesaplanması

Bu çalışmada Muğla il merkezindeki meteoroloji istasyonundan 2013, 2014 yılları ve Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün Muğla ili 50 metre yükseklik için hazırladığı rüzgar haritası, rüzgar hızı verilerinden yararlanılmıştır. Rüzgar türbini simulink modellemesi yapılarak Muğla il merkezi meteoroloji istasyonu, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Morfoloji binası üst kısmı, Gülağzı (radar) tepesi yıllık verilerine göre elektriksel üretim değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca üç ayrı nokta için akım, gerilim, güç gibi elektriksel değerler ve grafiksel şemalarında oluşturulmuştur.

#### 3.1 Muğla İl Merkezi Meteoroloji İstasyonu Verileri

Muğla il merkezi meteoroloji istasyonundan 10 metre yükseklikte ölçülen rüzgar hızı 2013 verileri ortalaması 1,59 m/s ve 2014 sekiz aylık verileri ortalaması 1,56 m/s olarak bulunmuştur. Modellemesi yapılan 4,6 kW gücündeki rüzgar türbininin elektrik üretebilmesi için en düşük rüzgar hızı 2,75 m/s olması gerekir. Rüzgar hızı 2013 ve 2014 yılları 10 metre yükseklikteki ortalama verilerine göre elektrik üretilmesi için yıllık rüzgar hızı verileri ortalaması değerleri yeterli değildir.

#### 3.2 Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Morfoloji Binası Üst Kısmı Verileri

Yenilenebilir Enerji Kaynakları Genel Müdürlüğü'nün Muğla 50 metre yükseklik için hazırladığı rüzgar haritası rüzgar hızı verilerine göre Morfoloji binası üst kısmı rüzgar hızı verisi 5,1 m/s olarak verilmiştir. Bu rüzgar verisine göre yapılan modellemede elektriksel veriler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir.

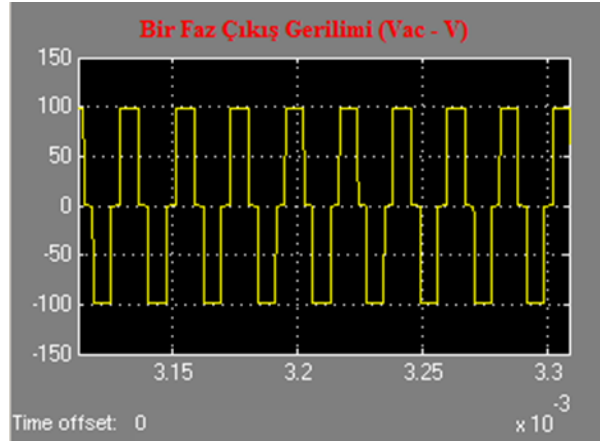
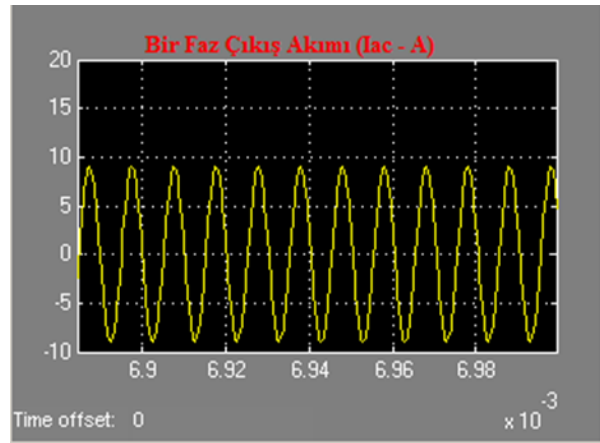
Şekil 3.1'te Simulink blok şemasında girilen rüzgar ve türbin verilerine göre 5,1 m/s rüzgar hızında elde edilen bir faz AC gerilim değeri 99,8 Volt olarak ölçülmüştür.

**Tablo 3.1:** *Daimi mıknatıslı generatör AC çıkışı elektriksel değerleri (5,1 m/s rüzgar hızı)*

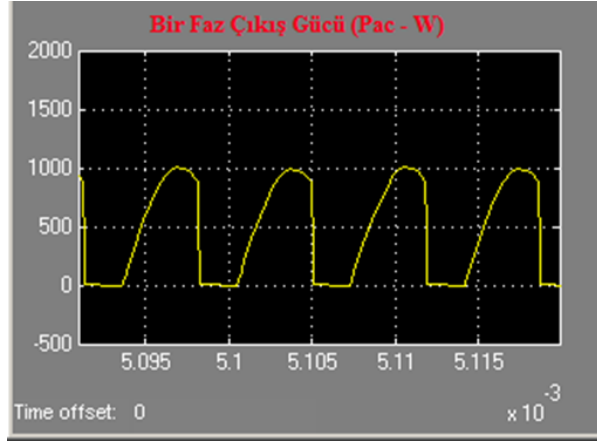
$V_{bc}$ (Fazlar arası gerilim)	172,7 Volt
$V_b$ (Faz-Nötr arası gerilimi)	99,81 Volt
$I_c$ (Bir faz akımı)	8,42 Amper
$P_{ac}$ (Bir faz elektriksel gücü)	948,4 Watt
$P_{3ac}$ (3 faz elektriksel gücü)	2845 Watt

**Tablo 3.2:** *Daimi mıknatıslı generatör DC çıkışı elektriksel değerleri (5,1 m/s rüzgar hızı)*

Parametreler	30 ohm işareti omik yük için
$I_{dc}$ (Yük akımı)	5,75 Amper
$V_{dc}$ (Yük gerilimi)	172,7 Volt
$P_{dc}$ (Yükte harcanan güç)	993,7 Watt

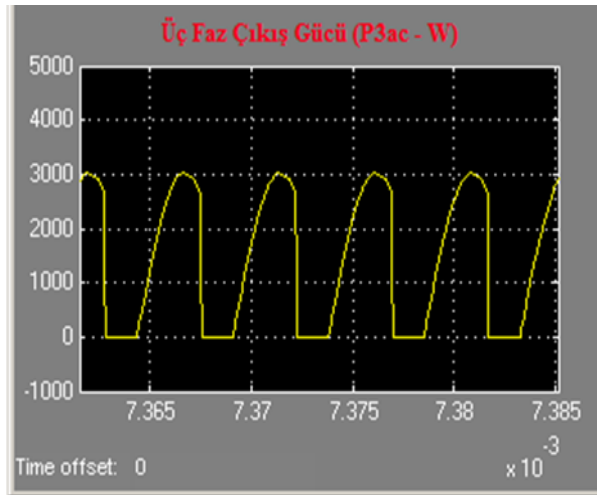
**Şekil 3.1:** *Rüzgar türbini bir faz gerilim-zaman grafiği***Şekil 3.2:** *Rüzgar türbini bir faz akım-zaman grafiği*

Şekil 3.2'de Simulink blok şemasında girilen rüzgar ve türbin verilerine göre 5,1 m/s rüzgar hızında elde edilen bir faz AC akım değeri 8,42 Amper olarak ölçülmüştür.



**Şekil 3.3:** Rüzgar türbini bir faz güç-zaman grafiği

Şekil 3.3'de Simulink blok şemasında girilen rüzgar ve türbin verilerine göre 5,1 m/s rüzgar hızında elde edilen bir faz AC çıkış gücü değeri 948,4 Watt olarak ölçülmüştür.



**Şekil 3.4:** Rüzgar türbini üç faz güç-zaman grafiği

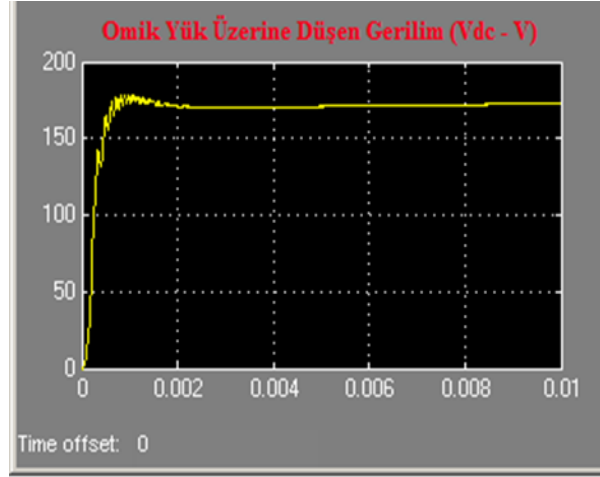
Şekil 3.4'de Simulink blok şemasında girilen rüzgar ve türbin verilerine göre 5,1 m/s rüzgar hızında elde edilen üç faz AC çıkış gücü değeri 2845 Watt olarak ölçülmüştür.

Şekil 3.5'de PMG rüzgar türbini çıkışı DC çıkışına montaj edilen 30 Ohm omik yükün üzerine düşen gerilim değeri 172,6 Volt olarak ölçülmüştür.

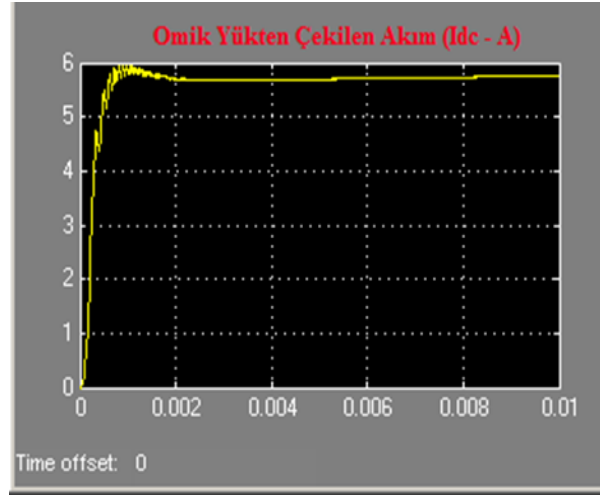
Şekil 3.6'daki PMG rüzgar türbini DC çıkışına montaj edilen 30 Ohm omik yükün çektiği akım değeri 5.75 Amper olarak ölçülmüştür.

Şekil 3.7'deki PMG rüzgar türbini DC çıkışına montaj edilen 30 Ohm omik yükün harcadığı güç değeri 993,6 Watt olarak ölçülmüştür

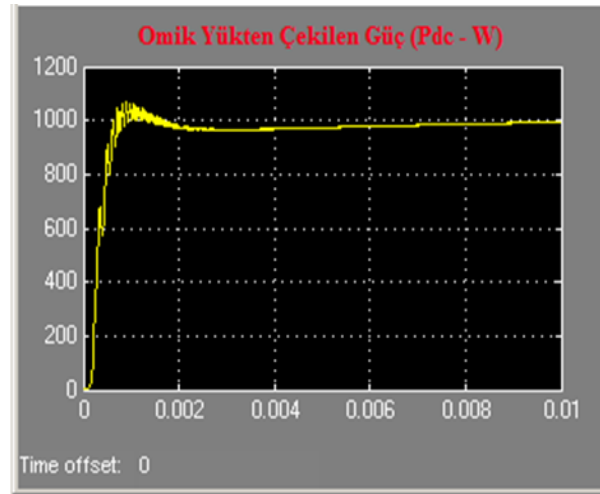




Şekil 3.5: Rüzgar türbini şarj cihazı çıkışı gerilim-zaman grafiği



Şekil 3.6: Rüzgar türbini şarj cihazı çıkışı akım-zaman grafiği



Şekil 3.7: Rüzgar türbini çıkışındaki omik yükün çektiği güç-zaman grafiği

### 3.3 Gülağzı (Radar) Tepesi Yıllık Verileri

Yenilenebilir Enerji Kaynakları Genel Müdürlüğü'nün Muğla ili 50 metre yükseklik için hazırladığı rüzgar haritası rüzgar hızı verilerine göre Gülağzı (Radar) tepesi rüzgar hızı verisi 6,3 m/s olarak verilmiştir. Bu rüzgar verisine göre yapılan modellemedeki elektriksel veriler Tablo 3.3'de verilmiştir. Grafikselsel eğriler ise 5,1 m/s rüzgar hızındaki verilerle aynı karakteristik özelliklere sahip olduğu için tekrar verilmemiştir.

**Tablo 3.3:** *Daimi mıknatıslı generatör AC çıkışı elektriksel değerleri (6,3 m/s rüzgar hızı)*

$V_{bc}$ (Fazlar arası gerilim)	172,7 Volt
$V_b$ (Faz-Nötr arası gerilimi)	99,81 Volt
$I_c$ (Bir faz akımı)	8,91 Amper
$P_{ac}$ (Bir faz elektriksel gücü)	1004 Watt
$P_{3ac}$ (3 faz elektriksel gücü)	3011 Watt

**Tablo 3.4:** *Daimi mıknatıslı generatör DC çıkışı elektriksel değerleri (5,1 m/s rüzgar hızı)*

Parametreler	30 $\Omega$ omik yük için
$I_{dc}$ (Yük akımı)	5,75 Amper
$V_{dc}$ (Yük gerilimi)	172,7 Volt
$P_{dc}$ (Yükte harcanan güç)	993,7 Watt

## 4 Sonuç ve Öneriler

Muğla ili farklı üç noktadaki rüzgar hızı verilerine göre yapılan modellemede meteoroloji istasyonu 10 metre yükseklikteki şehir içinde ölçülen rüzgar hızı verilerinin rüzgar türbini ile elektrik üretimi için yetersiz olduğu görülmüştür. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Morfoloji binası üst kısmında yıllık ortalama 5,1 m/s rüzgar hızında 4,6 kW gücündeki bir rüzgar türbininden 2845 Watt gücünde elektrik üretebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca Gülağzı (radar) tepesinde ise yıllık ortalaması 6,3 m/s olan rüzgar hızında 4,6 kW gücündeki bir rüzgar türbininden 3011 Watt gücünde elektrik üretebileceği sonucuna varılmıştır. Elektrik üretim verilerine dayanarak ticari amaçlı yüksek güçlü bir rüzgar enerjisi santrali kurulması düşünülürse yıllık rüzgar hızı ortalaması 6,3 m/s olan Gülağzı (radar) tepesi tercih edilmelidir.

Bildiride yapılan Matlab/Simulink modellemesi çalışması yüksek güçlü rüzgar türbinleri içinde yapılabilir. Bunun yanında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Genel Müdürlüğü'nün Muğla ili 50 metre yükseklik için hazırladığı rüzgar haritası rüzgar hızı verileri, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Araştırma Laboratuvarları üzerinde kurulan ve ölçüm yapmaya başlayan rüzgar ölçüm istasyonu verileri ile karşılaştırılabilir. Bu çalışma ile Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenen 15/088 nolu "Sensörsüz Küçük Güçlü Rüzgâr Türbini Ve PV Güç Sisteminin Bulanık Mantık Kontrolü ile İzlenmesi" konulu projede kurulması düşünülen rüzgar türbini yeri tespiti için bir ön çalışma özelliği taşımaktadır.

## Kaynaklar

- [1] A. M. Ateş, *Otonom rüzgâr türbinlerinde sistem karakteristiklerinin belirlenmesi ve optimizasyonu*, Doktora Tezi, İzmir: Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, 2012.
- [2] K. Başaran, N. S. Çetin, H. Çelik, *Rüzgar-güneş hibrit güç sistemi tasarımı ve uygulaması*, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey, 2011.
- [3] M. K. Döşoğlu, S. Tosun, B. Saraçoğlu, G. Poyraz, *Farklı rüzgar hız modellerinin sabit hızlı rüzgar türbini üzerinde oluşturduğu etkilerin İncelenmesi*, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 3 (2013), 19–27.
- [4] Ş. Fidan, *Değişken hızlı - değişken kanat açılı rüzgar türbinlerinin tork ve kanat açısı kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2010.
- [5] S. Köse, *Değişken hızlı rüzgar türbinlerinin nonlinear kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 2007.
- [6] K.A. Toker, *Değişken hızlı rüzgar enerji çevrim sisteminin yenilikçi FPGA kontrol uygulaması*, Doktora Tezi, İzmir:Ege Üniversitesi, 2012.
- [7] M. Yumurtacı, S. Varbak Neşe, Y. Oguz, *Rüzgar-diesel hibrit güç sisteminin simülasyonu ve güç akısı kontrolü*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 2009.