KÜÇÜK GÜÇLÜ RÜZGAR TÜRBİNLERİ İÇİN FARKLI BİR BULANIK MANTIK KARAR VERİCİLİ MGNİ METODU

Onur Özdal MENGİ[1], İsmail Hakkı ALTAŞ[2]
[1] Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Giresun Üniversitesi, 28000 Giresun
[2] Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080 Trabzon,
onurmengi@yahoo.com, ihaltas@ktu.edu.tr

(Geliş/Received: 10.05.2014; Kabul/Accepted: 16.10.2014)

ÖZET

Bu çalışmada rüzgar türbinlerinden maksimum verimin elde edilebilmesi için kullanılan farklı bir Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNİ) tekniği anlatılmaktadır. Deneysel olarak kurulan ve testleri yapılan sistem; biri motor diğeri generatör olarak çalışan birbirine akuple edilmiş asenkron makinalardan oluşan rüzgar türbin emülatörü, transformatör, yüksek akımlı doğrultma devresi, kıyıcı, evirici, veri aktarım kartı ve bilgisayar ünitesi, akım ve gerilim algılayıcıları, yükler ve MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan bulanık mantık tabanlı bir MGNİ yazılımdan oluşmaktadır. Sistemde rüzgardan elde edilebilecek tepe güç değeri bilgisayar tarafından sürekli olarak hesaplanarak o anki ortam koşullarında beslenebilecek maksimum yük miktarı tespit edilebilmektedir. Bu sistem; ortamdan rüzgar hızı, basınç, sıcaklık, nem, v. b. bilgileri kullanmadan sadece sisteme ait akım ve gerilim bilgileri ile tepe güç noktası izleme yapması ve tasarlanan Bulanık Mantık Sonuçlandırıcı (BMS) bu akım ve gerilim bilgilerini kullanarak tepe güç değerini sürekli olarak hesaplayabilmesi bakımından yapılan diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Maksimum güç noktası izleyici, rüzgar türbini, bulanık mantık sonuçlandırıcı, yenilenebilir enerji

A DIFFERENT FUZZY DECISION MAKING MPPT METHOD FOR A MICRO POWER WIND TURBINE

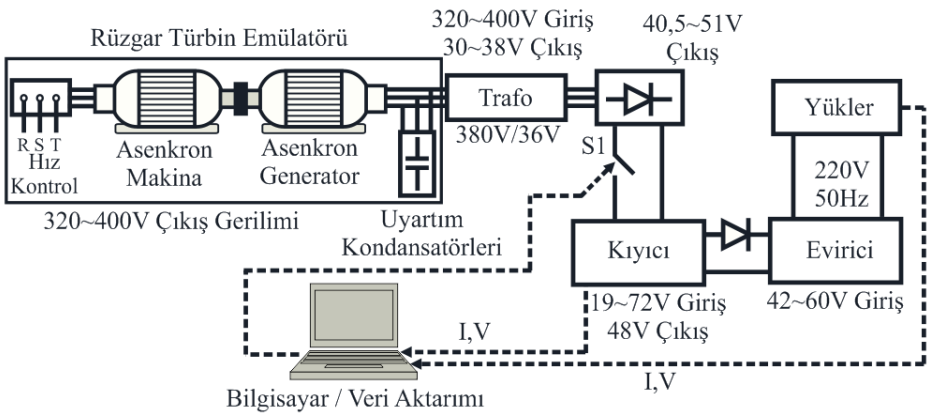
ABSTRACT

In this study, a different Maximum Power Point Tracking (MPPT) technique to obtain maximum efficiency from wind turbines is mentioned. The system, which is experimentally established and tested, consists of a wind turbine emulator, which consists of asynchronous machines coupled to each other and one of them acts as the motor while the other is the generator, transformer, rectifier with high current, chopper, invertor, data acquisition card and computer unit, current and voltage sensors, loads and a fuzzy logic based MPPT software designed in MATLAB/Simulink environment. Maximum load to be fed in the case of existing environmental conditions can be defined by continuously calculating the maximum power value to be obtained from the wind by the computer. This system differs from the other studies in that it tracks maximum power point with only the current and voltage date of the system without taking wind power, pressure, heat, humidity etc into consideration; besides, the designed Fuzzy Logic Reasoning (FLR) can continuously calculate maximum power point by using this current and voltage data.

Keywords: Maximum power point tracking, wind turbine, fuzzy logic decision making, renewable energy

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Rüzgar türbinleri enerji üretme amacı ile kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesidir. Rüzgardan aldığı hareket enerjisi ile dönen kanatların bağlı bulunduğu elektrik makinasının jeneratör olarak çalışması ile enerji üretimini gerçekleştirmektedir. Pek çok ülke hem karbon salınımını hem de dışa bağımlılığını azaltmak için ihtiyaç duyduğu enerjinin bir kısmını rüzgardan sağlama yoluna gitmektedir. [1,2]. Araştırma amaçlı ülkemizde pek çok üniversitede ve enstitüde kurulan rüzgar türbinleri ile bu konuda araştırmalar hızla devam etmektedir. Hem kurulan gerçek rüzgar türbinleri olduğu gibi [3],



Şekil 1. Kurulan deneysel sistem (Experimental system)

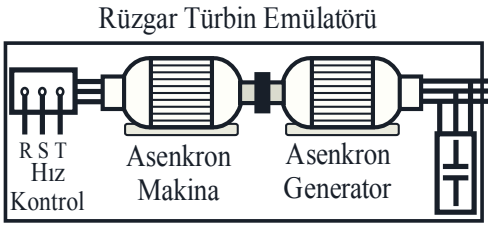
laboratuvar ortamında birbirine akuple edilen değişik elektrik motorlarının kullanıldığı emülatörler de bulunmaktadır. Böylece gerçek türbin kurmadan çalışmalar yapılabilmektedir [4]. Piyasada 200-300W'dan 8MW seviyelerine kadar güç üretebilen rüzgar türbinleri bulunmaktadır. Üzerinde deneme çalışmaları yapılan ve 10-15MW seviyesinde güç üretebilen türbinlerde kısa süre sonra piyasada yerini alacaktır [5]. Rüzgar türbinlerinin verimli çalışabilmesi ve elde edilebilecek enerji seviyesinin maksimum olabilmesi için kullanılan MGNİ' ler sistemin en önemli bileşenlerinden bir tanesi olmaktadır. Sistem, o anki rüzgar durumuna göre gerekli ölçümleri yaparak türbinin verebileceği maksimum gücü ayarlamaya çalışmaktadır. Maksimum verim için bu noktanın tespiti önemlidir [6]. Literatürde maksimum güç noktasını bulunması ve sistemin daha verimli çalışması için; ortamdan rüzgar hızı ölçülerek elde edilen türbin rüzgar güç eğrilerini kullanarak tepe güç noktasının tespiti ve sistemin bu noktada tutulmaya çalışılması [7,8] ve rüzgar güç üretim sistemlerinde kullanılan doğrultucu, evirici ve kıyıcı gibi güç elektroniği çeviricilerinin değişik metotlarla kontrolü [9,10] gibi teknikler kullanılmaktadır. Ayrıca bulanık mantık [11,12], parçacık sürü optimizasyonu ve yapaya sinir ağları [13,14] gibi pek çok ileri kontrol tekniğinin de rüzgar türbinlerinde, özellikle güç elektroniği çeviricilerini kontrol etmek için kullanıldıklarını görmekteyiz. Şekil 1'de deneysel olarak kurulan sistemin yapısı görülmektedir. Deneysel sistem rüzgar türbin emülatörü, trafo, köprü doğrultucu, kıyıcı, evirici, yükler, veri aktarım kartı ve bilgisayardan oluşmaktadır. Kurulan sistem ortamdan bir ölçüm almadan (rüzgar hızı, nem, basınç, sıcaklık v. s.) ya da güç elektroniği dönüştürücülerini kontrol etmeden kullandığı BMS ile rüzgar türbini emülatörünün verebileceği maksimum güç değerini hesaplayarak yükleri beslemesi bakımından diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Yani rüzgar türbinlerinde MGNİ yapmaktadır. Böylece bilgisayar yük durumuna ve sistemden elde edilebilecek tepe güç değerine bakarak hangi yüklerin devreye alınacağını ya da çıkartılacağını ya da gücün yetmediği durumda yardımcı enerji üretim sistemlerini devreye almaya veya çıkarmaya karar verebilecektir. Sistemde sadece kıyıcıda ve yük tarafında 2 akım ve 2 gerilim, toplam 4 elektriksek büyüklüğü ölçerek bu kararları alabilmektedir.

Aktarılan veriler MATLAB/Simulink ortamında yazılan program aracılığı ile alınmakta ve sistemi bu akıllı program kontrol etmektedir.

2. DENEY DÜZENEĞİ (EXPERIMENT SETUP)

2.1. Rüzgar Türbin Emülatörü (Wind Turbine Emulator)

Rüzgar türbin emülatörü Şekil 2'de görülmektedir. Sistem iki adet birbirine akuple edilmiş asenkron makinadan oluşmaktadır. İki makina birbirine bir kayış vasıtası ile bağlanmıştır. Birinci makina, motor olarak ikincisi ise generatör olarak çalışmaktadır. Asenkron motor 5kW ve asenkron generatör ise 3.5kW'lık bir güç değerine sahiptir. Her ikisi de sincap kafeslidir. Rüzgar hızındaki değişimleri modellemek ve makinalara yansıtabilmek için birinci motora bağlı bir sürücü bulunmaktadır. Sürücü hızı el ile ayarlanarak motor hızı değiştirilmektedir. Bu durumda sistemin üreteceği güç değeri sürekli olarak değiştirilmeye çalışılmıştır. Sistem şebekeden bağımsız çalıştığı için asenkron generatörün ihtiyaç duyacağı reaktif güç, kondansatör grubundan temin edilmektedir.



Şekil 2. Rüzgar türbin emülatörünün yapısı (Wind turbine emulator)

Kullanılan asenkron generatör: 3 fazlı, 4 kutuplu, 3.5kW gücünde, 50Hz frekanslı, Cosφ =0.80 ve 1415d/dak'lık bir motordur. Motor parametrelerinden

yola çıkarak ihtiyaç duyulacak reaktif güç ve kondansatör değeri:

$$P=S.\cos\varphi \quad (1)$$

$3500=S.0,8 \rightarrow S=4375VA$

$\cos\varphi=0,8$ ise $\varphi=36,86$ ve $\sin\varphi=0,6$

$$Q=S.\sin\varphi \quad (2)$$

$Q=4375.0,6 \rightarrow Q=2625Var$

Tek faz reaktif güç= $Q/3=875Var$

$$Q=E.I_C \quad (3)$$

$$I_C=\frac{Q}{E}=\frac{875}{380}=2,3A$$

$$E=X_C.I_C \quad (4)$$

$$X_C=\frac{E}{I_C}=\frac{380}{2,3}=165,2\Omega$$

$$C=\frac{1}{2.\pi.f.X_C} \quad (5)$$

$$C=\frac{1}{2.\pi.50.165,2}=19,27\mu F$$

şeklinde hesaplanır [15]. Burada aktif güç (P), reaktif güç (Q), görünür güç (S), faz açısı (φ), kondansatör gerilimi (E), Kondansatör akımı (IC), kondansatörün reaktansı (X_C), frekans (f), kondansatör (C) ile gösterilmektedir. Hesaplanan19,27μF değerine en yakın değer 22μF denenmiş, fakat farklı hız değerlerinde sorun çıktığı için bu değer arttırılmış ve 33μF değerinde sistem geniş bir hız aralığında sorunsuz bir şekilde çalışmıştır.

2.2. Diğer Sistem Bileşenleri (Another System Components)

Emülatör çıkışında elde edilen 320V ile 400V arasındaki gerilim trafodan geçirilerek 30V ile 38V arasında bir değere indirilmektedir. Bu değerler rüzgar hızını modelleyen sürücü hızı değiştiği için sürekli olarak değişmektedir. Sürücü, V/f kontrolü yapan bir cihazdır ve frekans değiştirilerek motor hız ayarını yapmaktadır. Girişteki 320V ile 400V arasındaki değişim sürücüde 32Hz ile 44Hz arasına gelmektedir. Trafo 10.5 (380V/36V) çevirme oranına sahiptir. Trafo 2.2kW'lık güce sahiptir. Trafo çıkışında elde edilen alternatif gerilim 3 fazlı 6 diyotlu doğrultucu kullanılarak doğru akıma çevrilmektedir. Rüzgar hızındaki değişim nedeniyle doğrultucu giriş ve çıkış değerleri de sürekli olarak değişmektedir. Doğrultucu girişi 30V ile 38V arasında değişmektedir. Çıkış gerilimi ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V_{çıkış}=1.654U_{R_{TEPE}} \quad (6)$$

Burada 3 faz köprü çıkış gerilimi ($V_{çıkış}$), tek faz tepe gerilim değeri ise $U_{R_{TEPE}}$ ile gösterilmektedir. Doğrultucu giriş gerilimi 30V ile 38V arasında değiştiği için çıkış gerilimi de 40.5V ile 51V arasında değişmektedir.

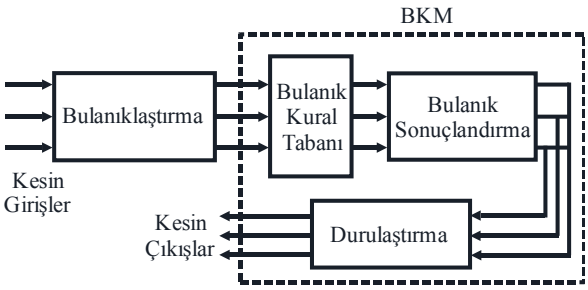
Elde edilen bu gerilim kıyıcının giriş gerilimi olmaktadır. Kıyıcı 19V ile 72V aralığındaki giriş gerilimini 48V çıkış gerilimi olarak sabitlemektedir. Kurulan sistemde kıyıcı giriş gerilimi 40.5V ile 51V arasında değişmektedir. Kullanılan elemanların birbiri ile uyum içinde çalışabilmesi için gereken giriş ve çıkış gerilim ayarlamaları yapılmaktadır. Bu nedenle kullanılan trafo da 380V/36V olacak şekilde özel olarak yaptırılmıştır. Kıyıcı 1kW'lık bir güce sahiptir. Birbirine paralel olarak bağlanarak gücü arttırılabilir. Sistem 1kW'lık yük için ayarlanmıştır. Fakat 3kW değerine kadar geliştirilebilir yapıdadır.

Sistemde 42V ile 60V arasındaki doğru gerilimi 220V/50Hz alternatif gerilime çeviren bir evirici bulunmaktadır. Kıyıcı bir koruma diyotu üzerinden eviriciye bağlıdır. Kıyıcı çıkış gerilimi 48V'da sabit olduğu için sistem bir sıkıntı olmadan çalışmaktadır. Kullanılan evirici 3kW'lık güce sahiptir.

Rüzgar türbin enerji üretim sisteminde yük üzerindeki akım ve gerilim ile kıyıcı giriş gerilimi ve çıkış akımını ölçen 4 adet algılayıcı bulunmaktadır. Yük üzerindeki algılayıcılar tüketilen gücü hesaplamak için ve kıyıcıdaki algılayıcılar ise rüzgar türbin emülatöründen elde edilebilecek maksimum güç miktarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Elde edilen bilgiler bir veri aktarım kartı aracılığı ile bilgisayara aktarılmaktadır.

2.3. Bulanık Sonuçlandırıcılı MGNİ Yazılımının Tasarımı (Maximum Power Point Tracking Software with Fuzzy Decision Making)

Bulanık mantık kavramı uzun zamandan beri bilinmektedir. Giriş değişkenlerinin derecelendirilmesi ve bulanıklaştırılması ve belirli kurallar eşliğinde çalışan sistem, duruma uygun bir değer üreterek çıkışa aktarmaktadır. Bu şekilde kontrol sistemleri için kontrol işareti üretilebilmekte ya da kararlar alınabilmektedir. [16]. Şekil 3'de BMS'nın içyapısı görülmektedir. Burada kesin girişler önce bulanıklaştırma birimine gelir ve kesin değerler bulanıklaşır. Daha sonra kuralların işlendiği kısma gelen giriş değerleri burada işlenir ve sonuçlandırılır. Son olarak elde edilen değerler durulaştırılarak kesin çıkışlar elde edilir.



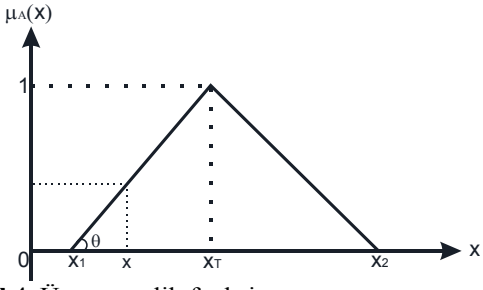
Şekil 3. BMS'nın yapısı (FDM's structure)

Rüzgar türbininde MGNİ için kıyıcı giriş gerilimi (V_{DC/DC_G}) ve çıkış akım ($I_{DC/DC_Ç}$) değerleri seçilmiştir. Bunlar aynı zamanda BMS'nin giriş değişkenleridir. Kıyıcı çıkış gerilimi 48V'da sabittir. Bu değerlerin seçilmesindeki ana sebep kıyıcı giriş gerilimine bakarak dalgalanmaları tespit etmek ve kıyıcı çıkış akımına bakarak o anki güç değerini hesaplamaktır. Bu değer anlıktır ve çekilen güç hakkında bilgi verir.

Bu hesaplama;

$$P_{DC/DC} = 48 \text{ x } I_{DC/DC_Ç} \tag{7}$$

formülü ile yapılmaktadır. BMS'nin çıkış değeri ise o anki rüzgar hız durumuna göre elde edilebilecek tepe güç değeri bilgisidir. Burada üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır ve 7 kurallıdır.



Şekil 4. Üçgen üyelik fonksiyonu (Triangular membership function)

Şekil 4'de üçgen üyelik fonksiyonu görülmektedir. Eşitlik 8'de üçgen üyelik fonksiyonlarına ait denklemler görülmektedir.

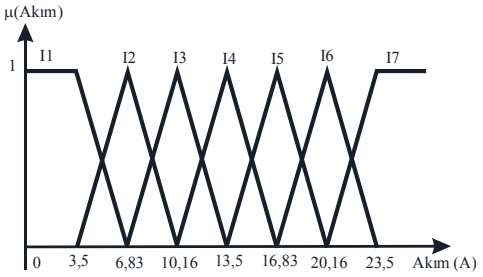
$$\mu_{AÜ}(x) = \max\left(\min\left(\frac{x - x_1}{x_T - x_1} , \frac{x_2 - x}{x_2 - x_T} \right) , 0 \right) \tag{8}$$

Akım değeri 3.5A ile 23.5A değeri arasında değişmektedir. Üyelik fonksiyonları da bu değerlere göre I_1'den I_7'ye kadar değişmektedir.

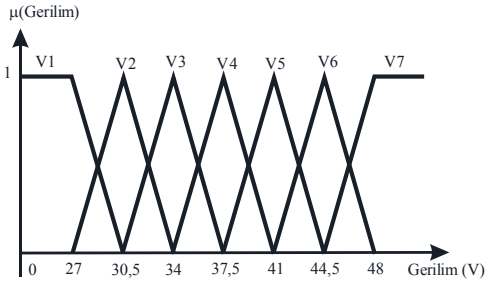
Gerilim değerleri ise 27V ile 48V aralığında değişmekte ve üyelik fonksiyonları da V_1 ile V_7 arasında isim almaktadır. 27V'un altında güç üretilmemektedir. Son olarak çıkış güç değerleri (hesaplanan tepe güç değeri) W_1 ile W_7 arasında değişmektedir. Güç aralığı ise 100W ile 1000W arasında değişmektedir. BMS'nin sonuçlandırma bloğunda Eşitlik 9'da görülen ağırlık merkezi metodu kullanılmıştır [15].

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^{n} \mu_C(z_j).z_j}{\sum_{j=1}^{n} \mu_C(z_j)} \tag{9}$$

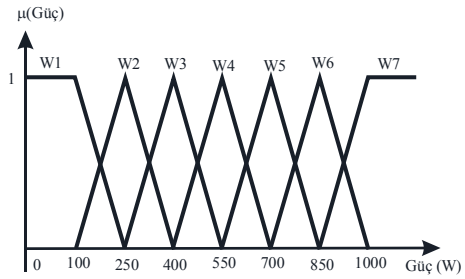
Şekil 5'de BMS giriş ve çıkış değişkenleri görülmektedir.



(a) $I_{DC/DC_Ç}$ üyelik fonksiyonları ($I_{DC/DC_Ç}$ membership functions)



(b) V_{DC/DC_G} üyelik fonksiyonları (V_{DC/DC_G} membership functions)



(c) Güç üyelik fonksiyonları (Power membership functions)

Şekil 5. BMS giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları (FDM input and output functions)

Tablo 1. BMS kurallar (FDM rules)

Akım (A)	Gerilim (V)	Frekans (Hz)	Tepe Güç (W)	7 Kural 7 Çıkış FLR
I1→3,5	V1→27	32,1	150	W1
I1→3,5	V2→30,5	33,5	250	W2
I1→3,5	V3→34	34,8	350	W3
I1→3,5	V4→37,5	36,6	500	W4
I1→3,5	V5→41	38,5	650	W5
I1→3,5	V6→44,5	40,3	900	W6
I1→3,5	V7→48	42,2	1000	W7
I2→6,83	V1→27	33,6	250	W2
I2→6,83	V2→30,5	34,6	350	W3
I2→6,83	V3→34	36	450	W3
I2→6,83	V4→37,5	37,6	550	W4
I2→6,83	V5→41	39,4	750	W5
I2→6,83	V6→44,5	41,2	925	W7
I2→6,83	V7→48	43	1000	W7
I3→10,16	V1→27	35,4	400	W3
I3→10,16	V2→30,5	35,9	450	W3
I3→10,16	V3→34	37,3	550	W4
I3→10,16	V4→37,5	38,8	650	W5
I3→10,16	V5→41	40,2	850	W6
I3→10,16	V6→44,5	42	1000	W7
I3→10,16	V7→48	43,8	1000	W7
I4→13,5	V1→27	-	-	W3
I4→13,5	V2→30,5	37,4	550	W4
I4→13,5	V3→34	38,5	650	W5
I4→13,5	V4→37,5	40	850	W6
I4→13,5	V5→41	41,4	950	W7
I4→13,5	V6→44,5	-	1000	W7
I4→13,5	V7→48	-	1000	W7
I5→16,83	V1→27	-	-	W4
I5→16,83	V2→30,5	39,2	700	W5
I5→16,83	V3→34	39,8	850	W6
I5→16,83	V4→37,5	41	900	W6
I5→16,83	V5→41	-	1000	W7
I5→16,83	V6→44,5	-	1000	W7
I5→16,83	V7→48	-	1000	W7
I6→20,16	V1→27	-	-	W5
I6→20,16	V2→30,5	40,2	850	W6
I6→20,16	V3→34	41,3	950	W7
I6→20,16	V4→37,5	-	1000	W7
I6→20,16	V5→41	-	1000	W7
I6→20,16	V6→44,5	-	1000	W7
I6→20,16	V7→48	-	1000	W7
I7→23,5	V1→27	-	-	W6
I7→23,5	V2→30,5	-	-	W6
I7→23,5	V3→34	-	1000	W7
I7→23,5	V4→37,5	-	1000	W7
I7→23,5	V5→41	-	1000	W7
I7→23,5	V6→44,5	-	1000	W7
I7→23,5	V7→48	-	1000	W7

Tablo 1'de BMS'da kullanılan kurallar görülmektedir. Buradaki değerler BMS için yapılan yüzlerce deneme neticesinde belirlenmiş kurallardır. Tablolarda sürücü frekans değeri değiştirilerek motor hızı/rüzgar hızı ayarlandığı için bu değerler de dahil edilmiştir. Sistem çökme noktasına gelene kadar zorlanmış ve besleyebildiği son güç değerleri kaydedilmiştir. Sistemde aşırı yük anında evirici devreden çıkarak kendini kapatmaktadır. Bu işlemlerin sonunda Tablo 2'de işlenen kurallar elde edilmiştir. Burada BMS kullanılmasının ana nedeni Tablo 3'te 4'den daha rahat anlaşılabilir.

Tablo 2. BMS'da işlenen kurallar (Process rules in FDM)

ΔP		AKIM						
		I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7
GERİLİM	V1	W1	W2	W3	W3	W4	W5	W6
	V2	W2	W3	W3	W4	W5	W6	W6
	V3	W3	W3	W4	W5	W6	W7	W7
	V4	W4	W4	W5	W6	W6	W7	W7
	V5	W5	W5	W6	W7	W7	W7	W7
	V6	W6	W7	W7	W7	W7	W7	W7
	V7	W7	W7	W7	W7	W7	W7	W7

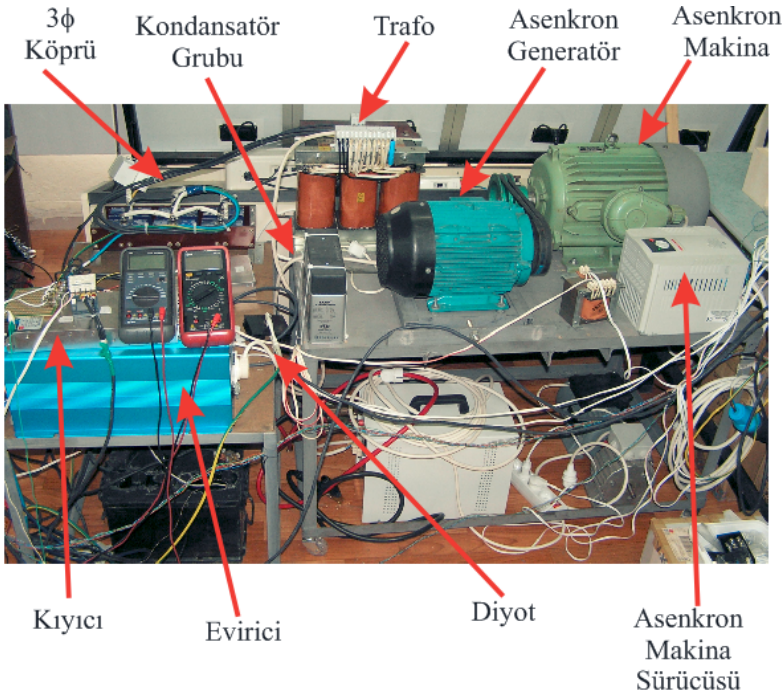
Tablo 3. Rüzgar türbin verileri 38-44Hz (Collected data from wind turbine 38-44Hz)

Sürücü Frekansı (Hz)		44	43	42	41	40	39	38
P_m (W)	I_C (A)	V_C (V)	V_C (V)	V_C (V)	V_C (V)	V_C (V)	V_C (V)	V_C (V)
1000	22,6	40,3	37,5	34,6				
900	20,4	41,5	38,8	36,2	32,4			
800	18	43,3	40,8	38,5	35,2	32		
700	15,8	44,9	42,7	40,4	37,8	35	30	
600	13,6	46,3	44,2	42	39,5	37	34,8	32,5
500	11,3	47,3	45,4	43,4	41,2	38,8	36,7	34,7
400	9,2	48,4	46,5	44,7	42,5	40,3	38,4	36,4
300	7	49,7	47,8	45,8	43,8	41,7	40	38
200	4,8	50,8	48,9	47	45	43	41,1	39,3
100	2,5	51,8	50	47,9	46	44	42,2	40,4
0	0,4	53,2	51,4	49,4	47,5	46	43,7	41,6

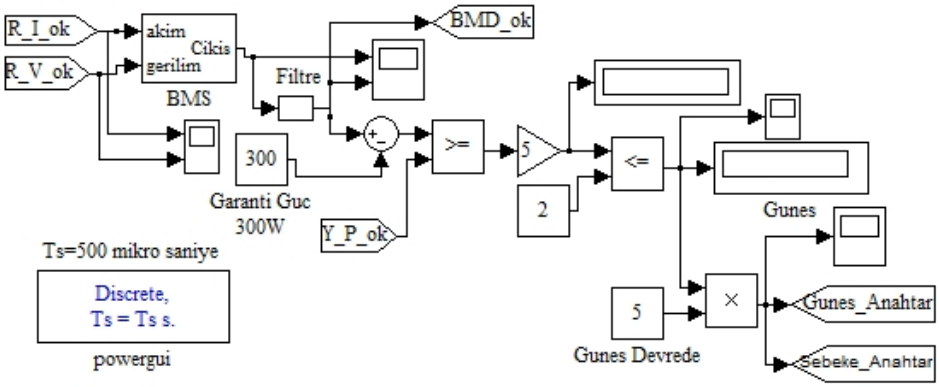
Tablo 4. Rüzgar türbin verileri 31-37Hz (Collected data from wind turbine 31-37Hz)

Sürücü Frekansı (Hz)		37	36	35	34	33	32	31
P_m (W)	I_C (A)	V_C (V)	V_C (V)	V_C (V)	V_C (V)	V_C (V)	V_C (V)	V_C (V)
1000	22,6							
900	20,4							
800	18							
700	15,8							
600	13,6							
500	11,3	31,5						
400	9,2	33,7	31,2					
300	7	35,5	33,7	30,8				
200	4,8	37	35,2	33	30,6	27,2		
100	2,5	38,3	36,5	34,4	32,1	29,7	27	
0	0,4	40	37,7	36,3	33,7	31,6	29,3	0

Klasik kontrol sistemleri, eğri uydurma gibi yöntemler MGNİ noktasının tespiti için denenmiş fakat istenen sonuç alınamamıştır. Bunun nedenini şöyle açıklayabiliriz: dikkat edilirse tablolarda koyuya boyanmış 2 kare bulunmaktadır. Burada P_m maksimum çıkış gücünü, V_C kıyıcı giriş gerilimini ve I_C ise kıyıcı çıkış akımını göstermektedir. Bu iki karede de V_C =37V'dur. Fakat karşılık gelen akım ve güç değerleri birinde 13.6A/600W diğerin de ise 4.8A/200W'dır. Bu arada birinde rüzgar hızı (yani sürücü frekansı) 40Hz diğerinde ise 37Hz'dir. V_C =37V olduğu yerde hangi veri doğrudur?



Şekil 6. Kurulan rüzgar türbin enerji üretim sistemi emülatörünün görünüşü (Wind turbine emulator energy production system)



Şekil 7. Enerji yönetim MATLAB/Simulink programı (Energy management MATLAB/Simulink programme)

Bu noktada bilgisayarın kafası karışmakta ve program hata vermektedir ve bunun gibi pek çok nokta ve ara değer bulunmaktadır. Bu tablonun bilgisayara girilip istenen tepe güç değerlerinin hesaplanması amacı ile look up tabloları oluşturulmuş, eğriler uydurularak tepe güç değerini verecek uygun eğriyi kullanılarak bu noktayı hesaplamak için düzenlemeler yapılmış, 3 boyutlu grafiklerden faydalanılmaya çalışılmış fakat hiçbir sonuç alınamamıştır. Bu nedenle bulanık mantık sonuçlandırma yöntemi seçilmiştir.

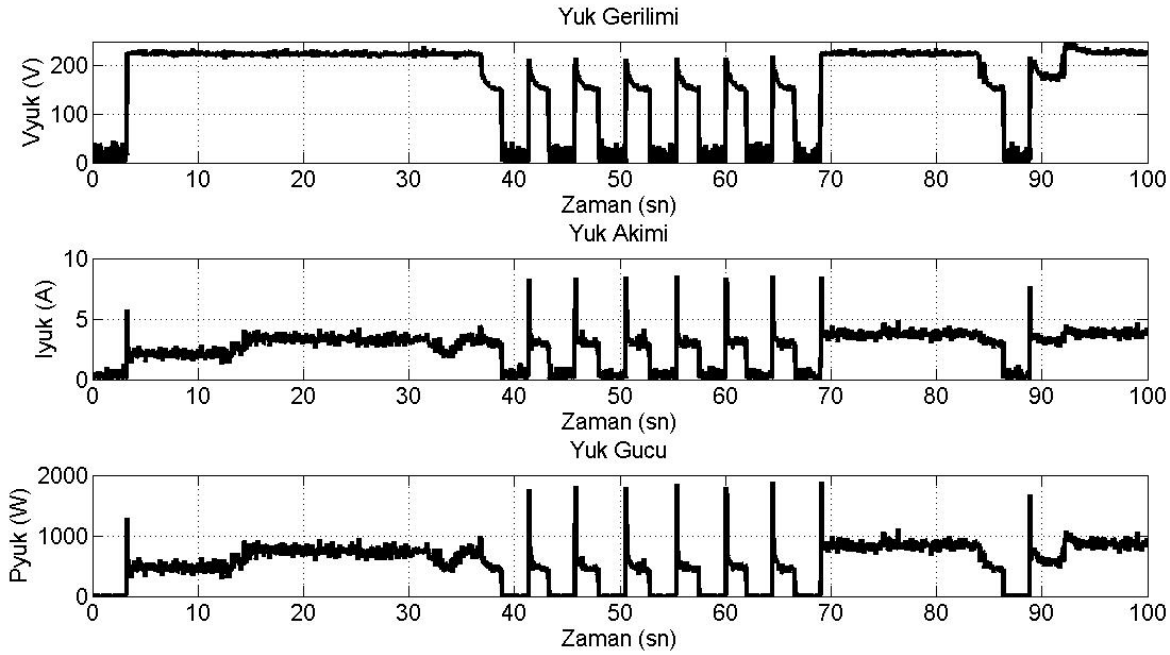
Şekil 6'da deneysel olarak kurulan sistem görülmektedir.

BMS, tüm alt programları ile birlikte MATLAB/Simulink ortamında tasarlanmıştır. NI 6259 USB veri aktarım kartı kullanılarak sistemden alınan ölçümler bilgisayara aktarılmıştır.

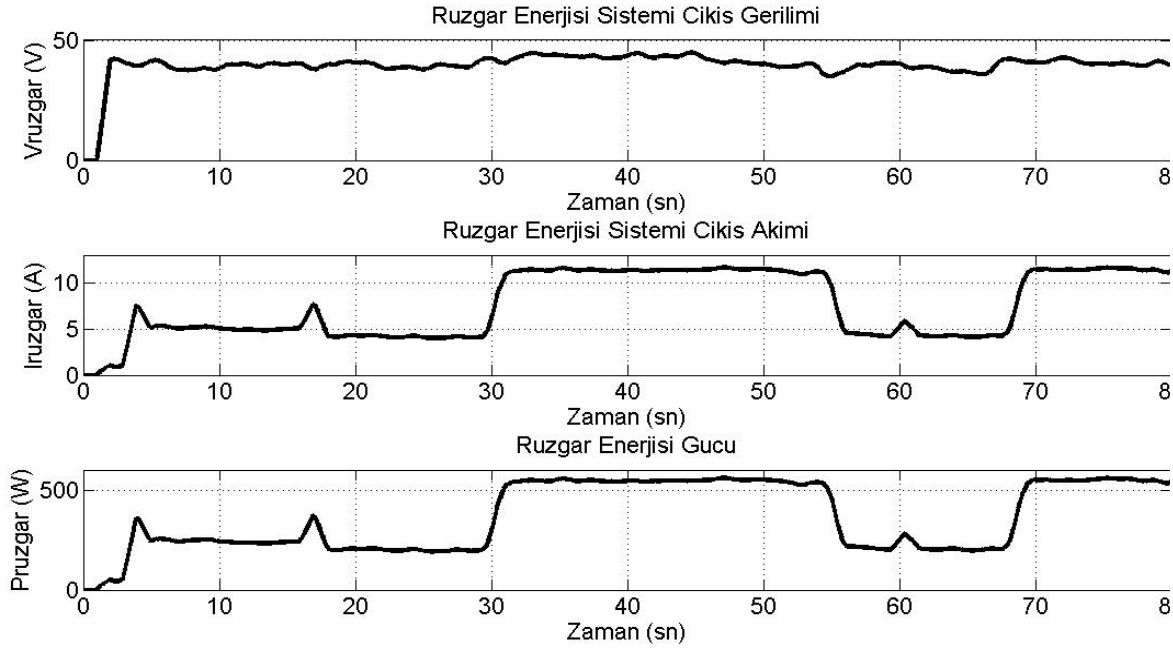
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Enerji yönetim için tasarlanan MATLAB/Simulink programı Şekil 7'de görülmektedir.

Şekil 8'de t=38-68sn ve t=86-88sn aralıklarında rüzgardan elde edilebilecek tepe güç değeri hesaplanmadığı için rüzgardaki değişimler nedeniyle üretilebilecek güç değeri tüketilen güç değerinin altında olduğu için sistemde çökmeler meydana gelmiştir. Bu esnada evirici devreden çıkmakta ve devreye girmeye çalışmaktadır. Bu esnada olması gereken; RES'in verebileceği tepe güç değerini belirlemek ve bu değerde yüklere güç aktarırken eksik kalan gücü akülerden, dizel jeneratörden veya şebekeden temin edebilecek akıllı bir sistemdir. Şekil 9'da Rüzgar Enerji Sistemi (RES)'e ait olan akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 8. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi (Voltage, current and power change of loads)



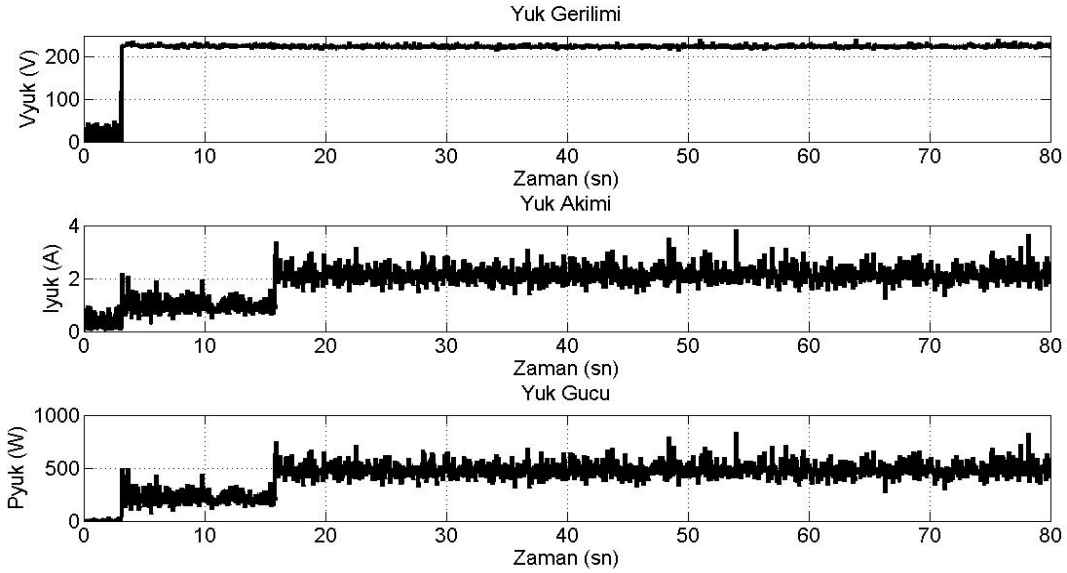
Şekil 9. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi (Voltage, current and power variations of wind energy system)

Şekil 9'da yük miktarı farklı zaman aralıklarında değiştirildiği için RES'e ait grafiklerde, akım ve gerilim bilgilerinde değişmeler meydana gelmektedir. Fakat rüzgar hızı ve çekilen güçler nedeniyle sisteme aktardığı güç miktarı değişmektedir. Özellikle 30-55.sn'ler arasında RES'den 550W'lık güç çekilmektedir.

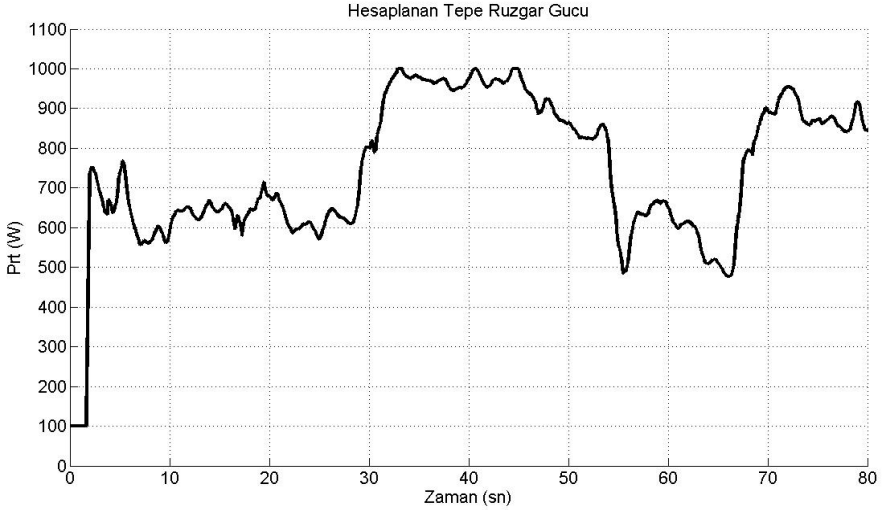
Şekil 10'da yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir. t=4-16sn aralığında 200W ve t=16-100sn aralığında 500W'lık yük bulunmaktadır.

Şekil 11'de t=0-16sn aralığında RES'de yaklaşık olarak 600W'lık tepe güç değeri bulunmaktadır. Bu aralıkta yük değeri 200W'dır. Daha sonra t=16-100sn aralığında yük değeri 500W'a çıkmıştır. T=16-32sn aralığında RES 600W'lık tepe güç değerine sahiptir. t=32-55sn aralığında rüzgar hızı artmıştır. Bu esnada yük gücü hala 500W'dır. RES bu aralıkta 1000W'lık güç sağlayabilmektedir.

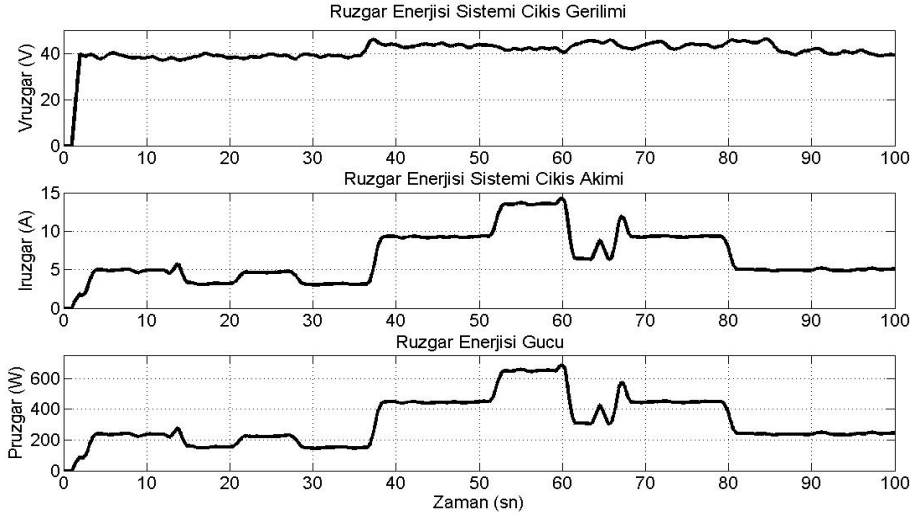
Benzer şekilde yapılan başka bir deneyde elde edilen sonuçlar Şekil 12 ile Şekil 14 arasında görülmektedir. Burada da BMS programı MGNİ'yi çok güzel bir şekilde başarmaktadır [15].



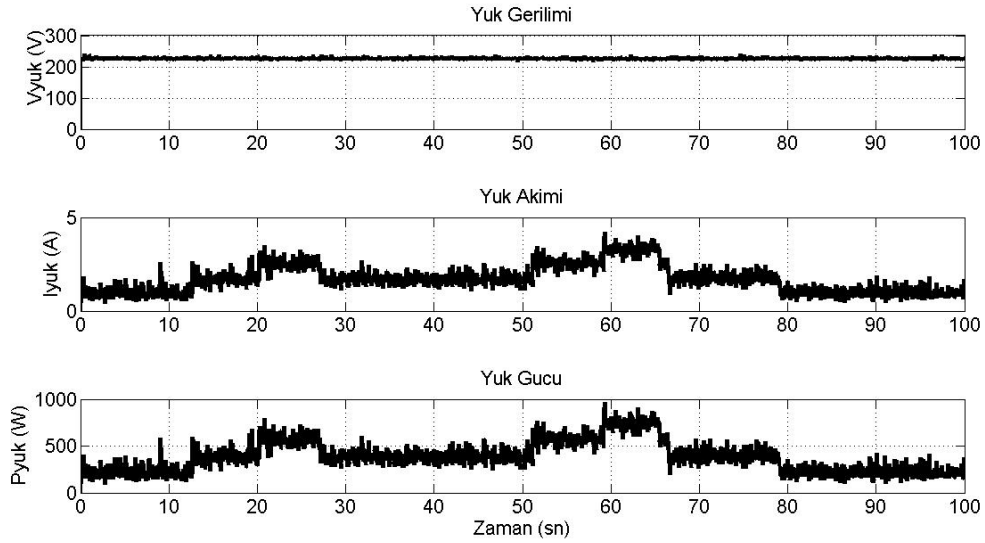
Şekil 10. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi deneysel sonuçlar (Voltage, current and power change of loads, experimental results)



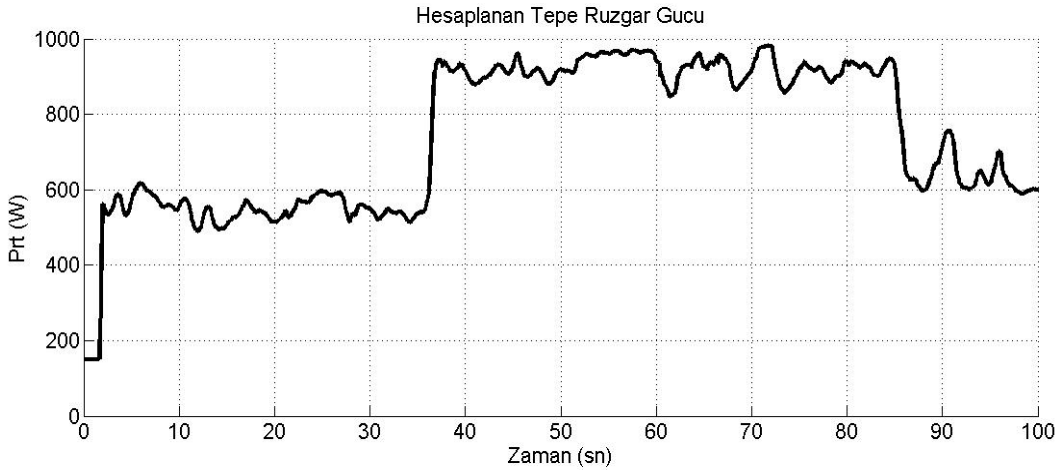
Şekil 11. BMS çıkışında RES'den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi (Peak power changes obtained from WES using FDM algorithm)



Şekil 12. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi (Voltage, current and power variations of wind energy system)



Şekil 13. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi (Voltage, current and power change of loads)



Şekil 14. RES tepe güç değişimi (Peak power changes obtained from WES)

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Yapılan tüm denemelerde BMS etkin bir şekilde tepe güç değerini bulmaktadır. Sistemi zorlayarak yapılan deneylerde BMS sistemin nerede çökeceğini ve daha ne kadar yük kaldırabileceğini doğru bir şekilde hesaplamıştır. Bu verilerin ışığında tüm rüzgar türbinlerine buna benzer sistemler yerleştirerek ortamdan ölçüm almadan rüzgar hızındaki değişimlerde üretilebilecek tepe güç değerini bulabiliriz. Sistemde kullanılan akım ve gerilim algılayıcıları ortamla ilgili ölçüm yapan pahalı sistemlerden çok daha ucuz ve ekonomiktir. Tasarlanan program rüzgar türbinleri için alternatif bir maksimum güç noktası izleyici olarak kullanılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGE)

Bu proje Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No:2008.112.004.2.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Keyhani, A., **Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Akıllı Şebeke Tasarımı**, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, Türkiye 2013.
2. Ackermann, T., **Wind Power in Power Systems**, John Wily & Sons, Chisester, England, 2005.
3. Ata, R. ve Çetin, N. S., "3kW Otonom Bir Rüzgar Türbini Kurulumu ve Enerji Eldesi", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 23, No 1, 41-47, 2008.
4. Sharma, R. N. ve Madawala, U. K., "The Concept of a Smart Wind Turbine System", **Renewable Energy**, Cilt 39, No 1, 403-140, March 2012.
5. Zobaa, A. F. ve Bansal, R., **Handbook of Renewable Energy Technology**, World Scientific, Singapur, 2011.
6. Han, K. ve Chen, G., "A Novel Control Strategy of Wind Turbine MPPT Implementation for

Direct-Drive PMSG Wind Generation Imitation Platform", **Power Electronics and Motion Control Conference**, Wuhan, 2255-2259, 17-20 Mayıs 2009.

7. İskender, İ. ve Genç, N., "Rüzgar Türbini ile Sürülen Çift Çıkışlı Asenkron Jeneratörün İncelenmesi ve Bulanık Mantık Kontrol Yöntemiyle Maksimum Çıkış Gücünün Elde Edilmesi", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 24, No 2, 343-350, 2009.
8. Kesraoui, M., Korichi, N. ve Belkadi, A., "MPPT of Wind Energy Conversion System", **Renewable Energy**, Cilt 36, No 10, 2655-2662, Ekim 2011.
9. Ahmed, N. A., Othman, A. K. ve Alrashidi, M. R., "Development of an Efficient Utility Interactive Combined Wind/Photovoltaic/Fuel Cell Power System with an DC Bus Voltage Regulation", **Electric Power System Research**, Cilt 81, No 5, 1096-1106, Mayıs 2011.
10. Camblong, H., Alegria, I. M., Roriguez, M. ve Abad, G., "Experimental Evaluation of Wind Turbines MPPT Controllers", **Energy Conversion and Management**, Cilt 47, No 18-19, 2846-2858, 2006.
11. Mengi, O. O. ve Altas, I. H., "A Fuzzy Logic Control for Wind/Battery Renewable Energy Production System", **Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, TUBITAK**, Cilt 20, No 2, 187-206, 2012, Turkey.
12. Altas, I. H. ve Mengi, O. O., "A Fuzzy Logic Voltage Controller for Wind Turbine / Supercapacitor Renewable Energy Source", **International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2013)**, Bursa, 61-66, 28-30 Kasım 2013.
13. Lin, W. M. ve Hong, C. M., "Intelligent approach to Maximum Power Point Tracking Control Strategy for Variable-Speed Wind Turbine Generation System", **Energy**, Cilt 35, No 6, 2440-2447, 2010.
14. Lee, C. Y., Chen, P. H. ve Shen, Y. X., "Maximum Power Point Tracking (MPPT) System of Small Wind Power Generator Using RBFNN Approach", **Expert Systems with Applications**, Cilt 38, No 10, 12058-12065, Eylül 2011.
15. Mengi, O. Ö., **Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Süreklilik için Akıllı Bir Enerji Yönetim Sistemi,** Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2011.
16. Zadeh, L. A., Fuzzy Sets, **Information and Control**, Cilt 8, 338-353, 1965.