

Rüzgar Enerjisi İçin Sayısal Denetimli Asenkron Generatörün RBF Ağı İle Modellenmesi

Erkan DEMİRCİ¹ İrfan ŞENLİK² Ali Ekber ÖZDEMİR³ Güven ÖNBİLGİN⁴

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun M.Y.O. Elektrik Programı, 55139, Samsun

^{2,4}Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun

¹e-posta: edemirci@omu.edu.tr

²e-posta: isenlik@omu.edu.tr

³e-posta: ozdemir@omu.edu.tr

⁴e-posta: gonbilgi@omu.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisinin önemi vurgulanıp, şebekeden bağımsız rüzgar enerjisi sistemlerinde kullanılması amaçlanan sığaç uyarımlı asenkron generatörün; programlanabilir mantık denetleyicili denetim sistemi yardımı ile elektrik enerjisi üretimine yönelik bir dizge verilmiştir. Çalışmada uygun rüzgar hızlarında maksimum güç elde edilebilmesi için uygun sığaç değerleri deneysel çalışmalarla belirlenmiş, elde edilen güç uygun değerlikli yüklere aktarılmıştır. Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler ile deney düzeneğinin sanal bir modeli, Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) YSA ile çıkarılmış, modelin test sonuçları verilen grafiklerle açıklanmıştır.

1. Giriş

Dünya'da artan nüfus ve sanayileşme ile birlikte enerjiye olan gereksinim de artmaktadır. Bu artan enerji gereksinimini karşılamak için, gelecekte tükeneceği bilinen ve çevreye olumsuz etkileri olan fosil yakıtlar yerine yenilenebilir yeni enerji kaynaklarına yönelinmiştir. Dünya'da rüzgar enerjisi gibi yeni enerji kaynaklarını kullanmadaki temel amaç doğayı korumak ve yaşanan ortamı daha iyi bir hale getirmektir. Yeryüzünde fosil yakıtların insan sağlığına verdiği zararlar ile neden olduğu sera gazlarının küresel ısınma ve iklim değişikliklerine yol açması, diğer yandan nükleer enerji kaynaklarının toplumsal, çevresel ve ekonomik açıdan oldukça maliyetli olması, ülkelerin öz kaynaklarını daha etkin biçimde kullanımının önemini artırmıştır. Teknolojilerinin giderek ucuzlaması ile rüzgar, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, doğal dengenin korunmasıyla sürekli enerji kaynaklarının işlenmesi açısından günümüzde giderek önem kazanmakta ve ülkelerin enerji politikaları içerisinde önemli bir yer tutmaktadır [1,2,3].

Rüzgar gücünden elektrik enerjisinin üretiminde en önemli aşama, hızlı işlem yapabilen yarı iletken anahtar elemanlarının gelişimi, mikroişlemciler, mikro denetleyiciler ve sayısal işaret işleyici (DSP) alanındaki gelişmelerle otomasyona geçiş sağlanarak, bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi yeni denetim teknikleri geliştirilmiştir. Bu gelişmeler rüzgar enerji sistemini iki farklı kullanımı ile verimli duruma getirmiştir. Bunlardan birisi mikroişlemci teknolojisinin sistemi denetlemesi ve maksimum gücün çekilmesi için programlama mantığının işlenmesi ile sağlanmıştır. İkincisi de güç elektroniği düzenekleri ile üretilen gerilimlerin genliği ve sıklığı denetlenebilmiştir. Yarı iletken teknolojide üretim ve kullanımın yaygınlaşması sistem maliyetini önemli ölçüde düşürmüştür. Böylece türbin gücü artmış ve düşük rüzgar hızında elektrik enerji üretimi gerçekleştirilebilmiştir.

Sığaç uyarımlı asenkron generatörler rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde kullanılan sığaç uyarımlı asenkron generatörün, programlanabilir mantık denetleyici (PLC) ile özuyarımının sağlanması, şebekeden bağımsız güç üretmesi için yapılmış olan bir yaklaşımın RBF tabanlı modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelenip, değerlendirilmiştir.

2. Rüzgardan Enerji Üretimi

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri şebekeye bağlı çalışabildiği gibi şebekenin bulunmadığı bölgelerde de yalnız başına (kırsal alanlar, adalar, ormanlık ve dağlık bölgelerdeki tesisler) enerji üretiminde kullanılabilir. Bu iki farklı çalışma biçimi doğal olarak farklı sistem tasarımlarını gerektirmektedir. Elektrik enerjisi sisteminin olmadığı yerlerde pervane milinden gelen döndürme momentinin bir devir yükselticisi üzerinden generatöre gönderilmesinden ibarettir. Bu sistemler, 0-10 kW. arasında kurulu güce sahip olup, genellikle biriktirme üniteleri ile

birlikte kullanılmakta ve çoğunlukla DC gerilim üretmektedirler. Şebekeye bağlı çalıştırılan türbinlerde ise, devir yükseltme oranının, belli bir frekans değerinin sabit tutulabilmesi için generatörün kutup sayısına göre belirlenmesi gerekmektedir. Diğer yandan sabit frekansın sağlanması için pervane devir sayısının da regülasyonu gereklidir [4].

Son on yılda rüzgar türbini teknolojisindeki gelişmeler, bir rüzgar türbininin kurulu gücünü 4 MW. a kadar yükseltmiştir. Bu sistemlerde 6 ay ile 1 yıl arasında bir yapılan genel bakım dışında hiçbir özel işleme gerek kalmaksızın elektrik üretimi sağlanabilmektedir. Tamamen otomatik denetimli çalıştırılan çeşitli düzenekler, maksimum başarımın elde edilmesi için türbinlerin rüzgar ile etkileşimlerini düzenlemektedir.

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri, türbin hızı ve üretilen gerilimin sıklığı dikkate alındığında, çalışma ilkesine göre üç gruba ayrılabilir.

- Sabit hız, sabit sıklık dönüşüm sistemleri,
- Değişken hız, sabit sıklık dönüşüm sistemleri,
- Değişken hız, değişken sıklık dönüşüm sistemleri.

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde kullanılan, sabit hızlı sistemlerde, sadece rotor hızının küçük değişikliklerine izin verilir. Değişken hızlı sistemler ise rüzgarın serbest hızına bağlı olarak dönen ve gerilim üreten sistemlerdir. Generatör ve şebeke arasına bağlanan güç elektroniği dönüştürücüleri sistem ana denetim düzeneğini oluşturur [5].

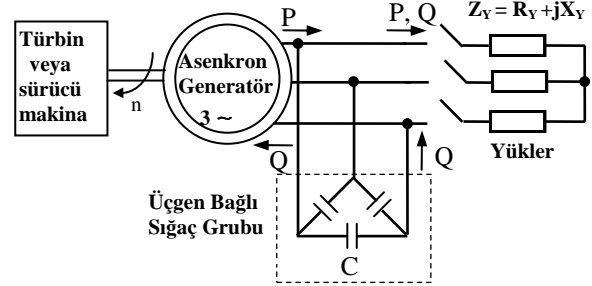
3. Asenkron Generatörler ve Özuyartım

Bir asenkron makina, generatör çalışmada makinanın güç kaynağı rotordan alınan mekanik güçtür. Bu nedenle asenkron generatör olarak çalışma için stator sargı uçlarında ya endüktif akım sağlayabilecek ya da kapasitif akım alabilecek bir sistem bağlamak gerekir. Bunun için asenkron generatör, senkron generatörler tarafından beslenen bir şebekeye paralel bağlanırlar ve mıknatıslama akımını şebekeden sağlar ya da stator uçlarına uygun sığaçlar bağlanarak generatörün özuyartımı sağlanır. Bu generatörler sığaç uyarımlı asenkron generatörler olarak da adlandırılmakta olup, sistemin ilkesel gösterilimi Şekil 1’de verildiği gibidir.

Hareket sağlayıcının konumuna göre, asenkron generatör enerji üretim sistemleri dört gruba ayrılabilir:

- Değişken hızlı şebekeye bağlı üretim sistemi,
- Değişken hızlı yalıtılmış üretim sistemi,
- Sabit hız şebekeye bağlı üretim sistemi,
- Sabit hız yalıtılmış üretim sistemi.

İlk ikisinde rotoru sargılı ve rotoru kafesli generatörler kullanılırken son ikisinde daha çok rotoru kafesli generatörler kullanılmaktadır [6].



Şekil 1: Sığaç Uyarımlı Asenkron Generatör

Bir asenkron makinanın, generatör için gerekli tepkin gücü sağlayacak sığaçlar ve uçlara bağlı yeterli büyüklükte yük oldukça herhangi bir güç sisteminden bağımsız bir generatör olarak çalışabilmesi olanaklıdır [7].

Stator uçları açıkken generatör eşdeğer devresinde kaçak reaktanslar ve sargı dirençleri yok sayılırsa elde edilen basitleştirilmiş devre, paralel X_m ve X_c dalları ile kalıntı rotor alanı nedeniyle oluşan küçük bir emk'nın oluşturduğu bir rezonans devresidir. Özuyartımın temel ilkesi de budur.

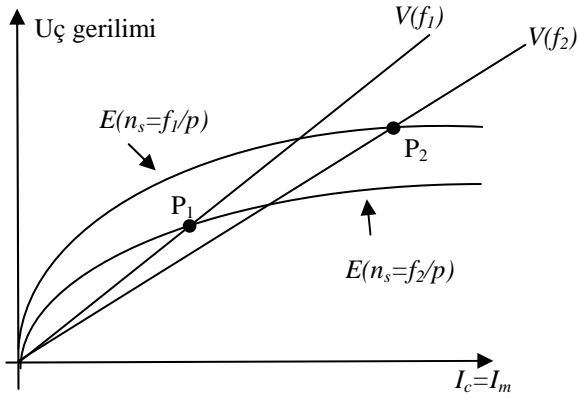
Kayma değerinin sıfır olması ile, generatör hızı n (devir/s) doğrudan sıklığı (frekansı) verir ve sığaç akımı I_c makina akımı ile aynıdır. Stator uç gerilimi endüklenen emk E' ye eşit olup,

$$\underline{E} = jX_m \underline{I}_m \quad (1)$$

eşitliği ile tanımlanır. Makinadaki doyma olgusu nedeniyle X_m reaktansı I_m akımının doğrusal bir işlevidir ve doğrudan doğruya sıklıkla orantılı olan bu ilişkiyi en iyi simgeleyen gösterim değişik dönme hızlarına karşılık gelen değişik sıklıklardaki mıknatıslama eğrileridir. Sığaç üzerindeki gerilim $\underline{V} = \underline{I}_c / j2\pi f C$ eşitliği ile verilirse, generatör uç gerilimi ile sığaç geriliminin değişik sıklıklarda akımlara göre değişiminin grafikleri çizilebilir. Devrenin bu biçimi ile iki gerilimin değeri birbirine eşit olup eşitlik (2) deki gibi yazılabilir.

$$I_c / (2\pi f C) = fE(I_m) \quad \text{ve} \quad I_c = I_m \quad (2)$$

Bu durumda elde edilen eşitliğin grafik çözümü Şekil 2'deki gibi belirli bir sıklıkta emk eğrisi ile sığaç doğrusunun kesim noktasında elde edilen kararlı çalışma noktalarıyla gösterilir [8,9,10].



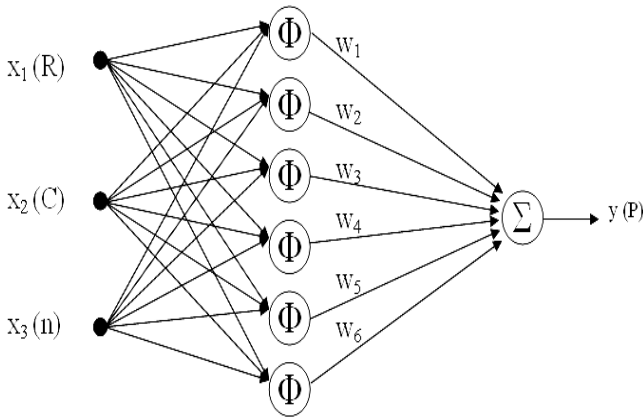
Şekil 2: Sığaçla Özuyartım İçin Çalışma Noktaları

Buradan çıkarılacak iki önemli sonuç vardır:

- Belli bir hızda uyarımı sağlayabilmek için gerekli sığaç değerinin bir alt sınırı vardır. Bu değer altında uyarım sağlanamaz.
- Belli bir sığaç değeri için belli bir hız alt sınırı vardır.

4. RBF Tabanlı YSA

Bir RBF ağının çalışma ilkesi, gizli katmanda bulunan RBF'lerin, ağı istenilen giriş-çıkış ilişkisini sağlaması için uygun genişlik ve merkez parametreleri ile çözüm uzayına yerleştirilmeleri olarak açıklanabilir. Yani veri takımında bulunan her bir giriş verisi için, ağıdaki her bir RBF, bu verinin kendi merkezine olan uzaklığı ile doğru orantılı bir değer üretir. RBF'lerin her birinin ürettiği bu değerler çıkış katında ağırlıklandırılarak toplanır. Böylece ağı bu giriş verisi için ürettiği çıkış elde edilmiş olur.



Şekil 3: Kullanılan RBF Ağının Yapısı

R: Yük direnci, C: Sığaç değeri, n: Devir, P: Güç

Şekil 3'de; x_i : giriş verileri, Φ_j : girişlere karşılık düşen RBF'lerin ürettikleri çıkışları, w_j : ağırlık katsayılarını, y : ağı ürettiği çıkışı göstermektedir.

Pek çok radyal taban işlevi olmasına karşılık uygulamalarda RBF ağları için yaygın olarak Gauss (Gaussian) biçimli radyal taban işlevi kullanılır. Gizli katman nöronlarının aktivasyon işlevi olarak Gauss fonksiyonunun kullanıldığı durumda, giriş veri takımındaki her bir veri için her bir gizli katman nöronunun üreteceği çıkış değeri aşağıda verilen (3) eşitliği ile hesaplanır.

$$\Phi_j = e^{-\left[\frac{|x-c_j|^2}{\sigma_j^2}\right]} \quad (3)$$

Eşitlik (3)'de " c_j ", j. RBF 'in merkezini, " σ_j ise j. RBF'in genişliğini ifade eden parametrelerdir. Ağı üreteceği çıkış " y " ise (4) eşitliğinde gösterildiği gibidir.

$$y = \sum_{j=1}^m w_j \Phi_j \quad (4)$$

Çıkış işareti için genel bir ifade olan eşitlik (5) kullanılır.

$$y = \sum_{j=1}^m w_j e^{-\left[\frac{|x-c_j|^2}{\sigma_j^2}\right]} \quad (5)$$

Eşitlik (3) ve (5)'de görülen $\|x-c_j\|$ ifadesi x giriş veri takımındaki verilerin, gizli katmandaki j. RBF'in merkezine olan öklid uzaklığını temsil etmektedir. Ağı çıkışı ağırlıklandırılmış RBF çıkışlarının toplamı şeklinde elde edilmektedir [11,12]. Bu çalışmada, ara katmanında 6 RBF nöronunun bulunduğu ve OLS (Orthogonal Least Squares) ve GD (Gradient Descent) Algoritmaları ile eğitilmiş bir ağ yapısı kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan RBF tabanlı ağ yapısının değişkenleri ve başlangıç değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Eğitim algoritmasında kullanılan başlangıç değerleri ve değişkenler

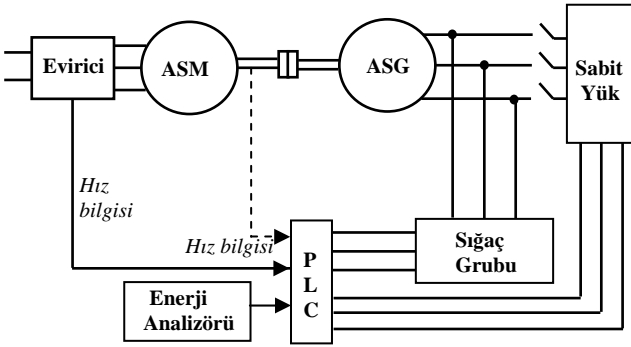
| Parametreler | Değerler |
|--------------|----------|
| μ_w | 0.003 |
| μ_c | 0.004 |
| μ_σ | 0.005 |
| RBF Sayısı | 6 |
| Yineleme | 1000 |
| W_0 | 0.1 |
| e_n^2 | 0.23597 |

μ_w = Ağırlıklar
 μ_c = Merkezler
 μ_σ = Genişlikler için öğrenme katsayıları
 W_0 = Ağırlıklar için başlangıç değeri
 e_n^2 = Son yinelemedeki hata kareler toplamı

5. Deneyler

RBF tabanlı modelleme öncesinde, rüzgar türbini hızı denetlenebilen bir asenkron motor ile benzeştirilmektedir. Böylece rüzgar hızı değerleri istenildiği gibi değiştirilebilmektedir. Asenkron generatör için gerekli reaktif enerji, PLC ile denetlenen bir dizi kontaktörle uygun sığaçların devreye alınmasıyla sağlanmaktadır. Asenkron generatör tarafından üretilen güç, lamba ve direnç yükleri üzerinde harcanmaktadır. Üretilen güç, yük değerlerine göre PLC tarafından sağlanmaktadır.

Çalışmanın daha işlevsel hale getirilebilmesi amacıyla generatörün dönme hız değerlerine karşılık gelen uygun sığaç değerleri PLC'ye girilir. Bu durumda generatörün miline bağlanan bir hız algılayıcı (enkoder) ile hız bilgisi ölçülerek karşılık gelen uygun sığaçlar PLC üzerinden, çıkışındaki kontaktörler yardımıyla devreye alınıp çıkartılarak gerçekleştirilir. Benzer düşünce ile generatörün ürettiği aktif güç bir güç ölçer ya da enerji analizör yardımıyla belirlenerek, ilgili bilgi PLC'ye girilir. Daha sonra PLC çıkışından farklı kademelerdeki yüklere kademeli olarak aktarılır. Gerçekleştirilen sistemin deney bağlantı yapısı Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4: Deney Bağlantısı Blok Gösterimi

Alınan değerler sonucunda, uygun rüzgar hızına karşılık gelecek şekilde asenkron motora bağlı olan hız denetleyicinin çalıştırılması sonucu sabit rüzgar hızları elde edilmiştir. Alınan değerlere göre belirli hızlarda uygun sığaç değeri ile sağlanabilen en yüksek güç değerleri belirlenmiştir [13]. Bu durum ile değişik sabit rüzgar hızlarındaki değerler RBF tabanlı ağ yapısı için kullanılmıştır.

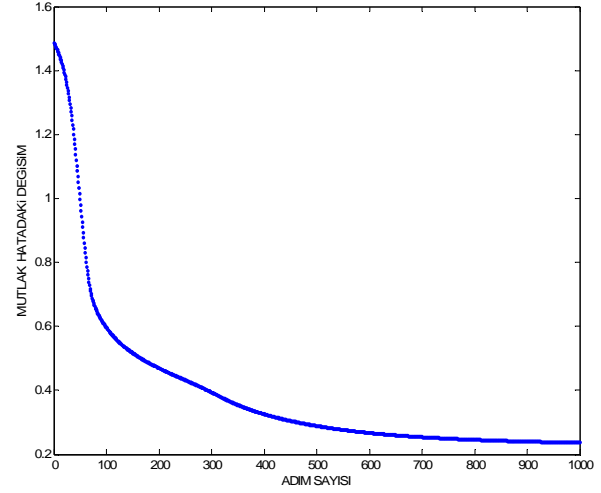
6. Sonuçlar

Yapılan çalışmada elde edilen verilerin ışığında, öncelikle sığaç uyarımlı asenkron generatörün farklı hızlarda özuyarımın sağlanması gerçekleştirilmiştir.

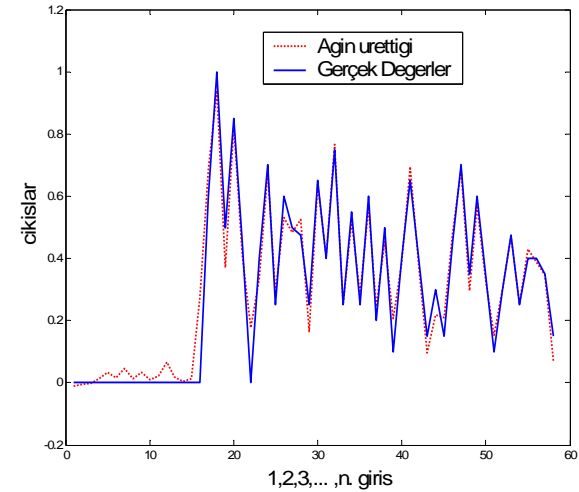
Ağın eğitilmesi için çeşitli R, C ve n değerlerine karşılık ölçülmüş P değerlerinden oluşan bir veri seti

kullanılmıştır. Yapılan 116 deney sonucu elde edilen verilerin 58 tanesi ağın eğitilmesinde geri kalan 58 tanesi ise ağın test edilmesinde kullanılmıştır.

Şekil 5, eğitimin her yinemesindeki mutlak hatanın değişimini göstermekte olup, son yinelemede elde edilen mutlak hata değeri, $|e| = 0.23597$ dir. Modele ait benzetim sonuçları normalize edilmiş giriş-çıkış değerleriyle oluşturulmuş ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5: RBF Ağının Eğitilmesi Sırasında, Her Yinelemedeki Mutlak Hatanın Değişimi



Şekil 6: Ağın Test Veri Seti İçin Ürettiği Çıktılar İle Olması Gereken Çıktılar

Bu çalışmada kullanılan RBF Ağına ait yapı yukarıda verilen Şekil 3 ile gösterilmiştir. Şekil 6 ise yapılan modellemenin ne ölçüde başarılı olduğunun bir göstergesidir. Kullanılan başlangıç değerleri değiştirilerek modelin başarımı artırılabilir. Bunlardan, başarımı en çok etkileyecek olan kullanılan RBF sayısıdır. Elde edilen model sadece 6 nörondan oluşan bir RBF ağı kullanılarak üretilmiştir.

7. Kaynakça

- [1] Sürgevil, T., Akpınar, E., “Rüzgar Gücünden Elektriksel Güç Elde Etmede Kullanılan Dönüşüm Sistemleri ve Kontrol Teknikleri,” *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, YEKSEM, 2001*, s. 234-237, İzmir
- [2] Yerebakan, M. , “Rüzgar Enerjisi”, *İstanbul Ticaret Odası, Yayın No:2001-33, 2001*
- [3] Karadeli, S. , “Rüzgar Enerjisi”, *Temiz Enerji Vakfı, Kasım 2001*
- [4] Walker, F. J. and Jenkins, N, “Wind Energy Technology”, *UNESCO Energy Engineering Series, John Wiley & Sons, 1997*
- [5] Bansal, C. R. : “Three-Phase Self-Excited Induction Generators: An Overview”, *IEEE Trans. On Energy Conv., Vol. 20, No. 23, June 2005*
- [6] Heier, S. , “Grid Integration Of Wind Energy Energy Conversion Systems”, *John Wiley & Sons, 1996*
- [7] Chan, T.F. , “Capacitance Requirements Of Self-Excited Induction Generators”, *IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol.8, No.2, June 1993, pp.304-311*
- [8] Chapman, S.P., “Electrical machinery Fundamentals”, *MCGRAW-HILL , 1991*
- [9] Rabinovici, R. , “Autonomous excitation of induction generators “, *IEEE Trans On Magnetics, 1998, Vol 34, Iss 3, pp 664-670*
- [10] Wang, L., And Lee, C.H., “A Novel Analysis On The Performance Of An Isolated Self-Excited Induction Generator”, *IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol.12, No.2, June 1997, pp log-115*
- [11] Namyong Kim, Hyung-Gi Byun, and Ki Hyeon Kwon, “Learning behaviors of Stochastic Gradient Radial Basis Function Network Algorithms for Odor Sensing Systems”, *ETRI Journal, Volume 28, Number 1, February 2006, pp. 59-66*
- [12] Friedhelm S., Hans A. K. , Günther P. , *Three Learning Phases for radial - basis-function networks*, *Neural Networks 14*, pp. 439-458, 2001 Elsevier
- [13] Demirci, E. , Önbilgin, G. , Şenlik, İ. , “Yel Enerjisi İçin Sayısal Denetimli Asenkron Generatör Dizgesi” *4. Otomasyon Sempozyumu, 2007, s. 103-108 ,Samsun*