

Rüzgar Türbinleri İçin Yapay Sinir Ağı Tabanlı Arıza Teşhis Sistemi

Artificial Neural Network Based Fault Diagnostic System for Wind Turbines

Okan YILMAZ, Tolga YÜKSEL

Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Bilecik, Türkiye

okan.yilmaz16010@gmail.com , tolga.yuksel@bilecik.edu.tr

Özetçe—Küresel boyuttaki artan enerji ihtiyacı ve azalan enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artmasına yol açmıştır. Enerjinin sürekliliği ve ulaşılabilirliği bakımından rüzgar enerjisi bu kaynaklar arasında en büyük paya sahip olmuştur. Enerji ihtiyacının büyüklüğü türbin boyutlarını da arttırmaktadır. Büyüyen türbin boyutları ve artan elektriksel güç, güvenlik ve verim faktörleri sebebi ile sistemde arızalara karşı tespit yapısı gerektirmektedir. Bu çalışmada üç kanatlı, yatay eksenli, yunuslama kontrollü, 4.8MW gücündeki türbinde arıza tespiti yapılmıştır. Sistem üzerinden alınan çeşitli veriler bir karar yapısı tarafından işlenerek sistem durumu hakkında karar vermektedir. Ölçülen veya hesaplanan giriş verileri yapar sinir ağı (YSA) ile arıza teşhisinde kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler — Rüzgar türbini; arıza teşhisi; yapay sinir ağları

Abstract— Increasing global energy demand and decreasing energy resources have led to an increase in the use of renewable energy resources. In terms of continuity and accessibility of energy, wind energy has the largest share among these resources. The size of the energy demand also increases the turbine dimensions. Due to the growing turbine sizes and increasing electrical power, safety and efficiency factors, the system requires a detection structure against failures. In this study, fault detection was carried out in a three-bladed, horizontal axis, pitch-controlled, 4.8MW turbine. Various data gathered from the system are processed by a decision structure and it makes a decision about the system status. Input data, measured or obtained by various calculations, are used in fault diagnosis with artificial neural network(ANN).

Keywords — Wind turbine; fault diagnosis; artificial neural network*

I. GİRİŞ

Sanayi devriminden bu yana artarak gelen enerji ihtiyacıyla birlikte ilerleyen teknoloji enerji ihtiyacını karşılayacak üretim sistemleri meydana getirmiştir. Ancak bu sistemler geri dönüşümü olmayan yeraltı kaynaklara ihtiyaç duymaktadırlar. Günümüzde ise bu yeraltı kaynakların rezervleri tükenmeye başladığından dolayı enerji üretirken dünyamızda bulunan iklim şartları devam ettikçe tükenmeyen yenilenebilir kaynaklar kullanımı ile elektrik üretim yöntemleri önem

kazanmıştır. Yenilenebilir enerji yöntemlerinden rüzgar sistemleri, birim üretim maliyetinin düşük olması, kaynak zenginliği bulunan alanların geniş olması, büyük güçlerdeki sistemlerde enerji sürekliliğinin olması gibi özelliklerle güneş, hidro ve bio enerji yöntemlerinden avantajlı konumdadır.

Rüzgar türbinleri buldukları coğrafi konumları dolayısıyla zorlu iklim şartlarıyla karşılaşılır. Yapıları bu şartlara uygun olmasına rağmen çevresel iklim koşulları, sistem parçalarının kullanım ömrünün dolması, çeşitli kazalar veya donanımsal arızalar sebebiyle arızalanabilmektedirler. Büyük güçteki türbinlerin ulaşımı zor ve müdahalesi her an mümkün olmadığı için verimli, çevresine veya kendisine zarar vermeden işletme durumunda kalması yunuslama açısı aktuatörleri, devir algılayıcıları ve aktarma organları gibi bileşen arızalarının erken evrelerde tespiti ile mümkündür.

Değişken hızlı türbinler çoğunlukla yük, tork, devir gibi değişkenlerin kontrolünü kanatlarının yunuslama açısını değiştirerek sağlarlar. Bu tür kompleks sistemlerde arıza tespiti için birçok verinin doğru şekilde elde edilmesi gerekir. Veriler çeşitli yöntemlerle elde edilebilir. Elde edilen veriler ile kesin sonuç veren arıza tespit yöntemlerinden biri donanım yedekliliğidir. Örnek çalışma [1]'de donanım yedekliliği ile arıza teşhisi yapılmıştır. Fakat donanım yedekliliği maliyet açısından olumsuz etki yaptığı için her zaman kullanılamaz. Diğer bir etkili ve yaygın yöntem tahminci kullanımıdır. SCADA sistemleri günümüzde tüm büyük güçlü türbinlerde bulunmaktadır. SCADA sisteminden alınan veriler ile tahminci sistemler işletilebilir. Arıza prosedürü üç aşamada incelenebilir: arıza tespiti, arıza teşhisi ve arıza toleransı kontrolü[2]. Bu çalışmada rüzgar türbinlerinde arıza tespiti ve teşhisi aşamaları ele alınmıştır.

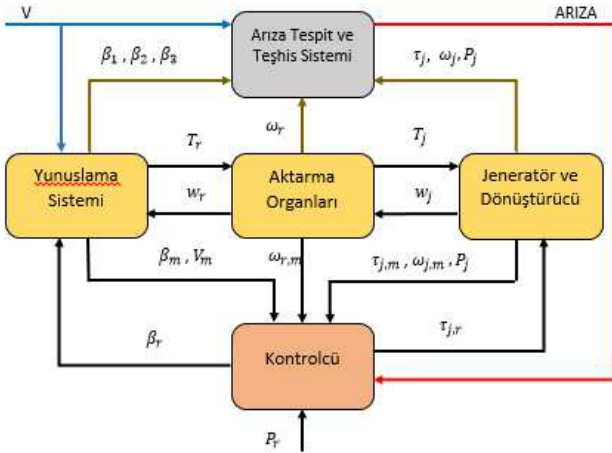
Rüzgar türbinlerinde arıza teşhis sistemleri kabaca ikiye ayrılır. Bunlar model tabanlı ve veri tabanlı teşhis yöntemleridir. Veri tabanlı teşhis sistemleri kalman filtresi ve dalgacık gibi filtreler kullanılmaktadır. Kalman filtresi durum uzayı modeli ile gösterilen dinamik sistemde giriş bilgisi ve önceki durumların giriş-çıkış bilgisine dayanan gerçek çıkış ve tahmini çıkışı kıyaslayarak durum bilgisi sağlar. Rüzgar koşullarının izlenmesi, arıza teşhisi ve arıza toleransı kontrolü

için yardımcı olabilir. [3]'de doğrusal olmayan bir sistemde veri tabanlı tahmincinin, doğrusal olmayan kalman filtresi tabanlı rüzgar tahmini uygulanması incelenmiştir. [4]'te SCADA verilerine dayalı arıza tespit çalışması verilmiştir. Yapılan çalışmalarda veri tabanlı yöntemler katı matematiksel modelleme gerektirmemesi ve rüzgar türbinlerinden ölçülen yüksek boyutlu verilerden faydalı özellikler veya temsiller çıkarıp daha sonra başka arıza koşullarında arızayı tanıyabilmesi avantajıyla diğer yöntemlerin önüne geçtiği görülmüştür.

Bu çalışmada yunuslama kontrollü, değişken hızlı bir rüzgar türbin sisteminde veriye dayalı arıza teşhisi için YSA kullanılmıştır. İzleyen bölümde önerilen arıza tespit sistemi anlatılmıştır. III. Bölümde benzetim sonuçları verilmiştir. Son bölümde çalışmanın sonuçları incelenip gelecek çalışmalar tartışılmıştır.

II. ÖNERİLEN ARIZA TEŞHİS SİSTEMİ

Şekil.1.'de önerilen arıza teşhis sistemi, türbin sistemi modeli ve bloklar arası aktarılan değişkenlerle verilmiştir. Modelde 4 adet doğrusal olmayan alt model vardır. Bunlar; yunuslama, aktarma organları, generatör ve dönüştürücü, kontrolör modelidir. Bu çalışmada, algılayıcı, eyleyici ve dinamik sistem arızalarını modelleme ve simülasyon gerçekleştirme imkanı sağladığı için IFAC Supervision and Safety of Technical Processes 2009'da rüzgar türbin arıza toleranslı kontrol için yarışma modeli kullanılarak bir arıza teşhis sistemi önerilmiştir [5]. Bu yarışma modeline ait gauss kernel destek vektör mekanizması kullanılarak elde edilen diğer hata teşhis sistemi [6]'da bulunabilir. Aynı modele ait gözlemci ve kalman filtresi birleşik kullanımı ile arıza teşhis mekanizması detaylı incelemesi [7]'de bulunabilir. Modeldeki yapı nominal 4.8MW güçlü, yatay eksenli, yunuslama kontrollü, değişken hızlı rüzgar türbinleri üzerine oluşturulmuştur.



Şekil 1. Rüzgar Türbini Kontrolcü Şeması

İlgili modeldeki tanımlanması gereken değişkenler şunlardır; V: rüzgar hızı ve yönü (m/s)
 τ_r : Rotorun sağladığı tork (Nm)
 τ_j : Generatörün sağladığı tork (Nm)
 $\tau_{r,m}$: Rotorun sağladığı ölçülen tork (Nm)

$\tau_{j,m}$: Generatörün sağladığı ölçülen tork (Nm)
 $\tau_{j,r}$: Generatöre gönderilen referans tork (Nm)
 ω_r : Rotor açısal hızı (rad/s)
 ω_j : Generatör açısal hızı (rad/s)
 $\omega_{r,m}$: Rotor açısal hızı ölçülen (rad/s)
 $\omega_{j,m}$: Generatör açısal hızı ölçülen (rad/s)
 β_r : Yunuslama açısı referans (der)
 β_m : Yunuslama açısı ölçülen (der)
 P_r : Rüzgardan elde edilen rotor gücü (W)
 P_g : Generatörden elde edilen güç (W)

Kullandığımız yarışma modelinde 5 adet alt model bulunmaktadır. [5]'de rüzgar modeli, kanat ve yunuslama modeli, aktarma organları modeli, generatör ve dönüştürücü modeli ve kontrolcü modeli detaylı şekilde açıklanmıştır. Aşağıdaki tablolarda modelde kullanılan parametreler verilmiştir.

Rüzgar modelini oluşturan bileşenler (1)'de verilmiştir.

$$v_w(t) = v_m(t) + v_s(t) + v_{ws}(t) + v_{ts}(t) \quad (1)$$

Burada $v_w(t)$ toplam rüzgar, $v_m(t)$ ortalama rüzgar, $v_s(t)$ stokastik rüzgar, $v_{ws}(t)$ rüzgar kesmesi ve $v_{ts}(t)$ kule gölgesidir.

Kanat ve yunuslama modeli transfer fonksiyonu (2)'de verilmiştir.

$$\frac{\beta(s)}{\beta_r(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2)$$

Burada ω_n doğal frekans, ζ sönümleme faktörü, β yunuslama açısı, β_r referans sönümleme faktördür.

Aktarma organları transfer fonksiyonu (3)'de verilmiştir.

$$\dot{\theta}_\Delta(t) = \omega_r(t) - \frac{1}{N_g} \omega_g(t) \quad (3)$$

Burada ω_r rotor hızı, ω_g generatör hızı, N_g dişli oranıdır.

Generatör ve dönüştürücü transfer fonksiyonu (4)'de verilmiştir.

$$\frac{\tau_g(s)}{\tau_{g,r}(s)} = \frac{\alpha_{gc}}{s + \alpha_{gc}} \quad (4)$$

Burada τ_g generatör torku, $\tau_{g,r}$ generatör torku referans, α_{gc} generatör ve dönüştürücü model parametresidir.

IFAC yarışma modelinde tercih edilen kontrolcü PID yapısındadır. Kontrolcü, transfer fonksiyonu (5)'de verilmiştir

$$\tau_{g,r}[n] = \frac{P_r[n]}{\eta_{gc} \omega_g[n]} \quad (5)$$

Burada P_r referans güç, η_{gc} generatör ve dönüştürücü verimliliğidir.

Arızalar oluştuğu bölgelere göre algılayıcı arızaları, aktuatör arızaları ve bileşen arızalarıdır. Zaman karakteristiklerine göre sadece artan ve ani arızalardır.

Yarışma modelinde tanımlı arızalar şu şekildedir. Her kanatçığın yunuslama açısının farklı eyleyiciler tarafından kontrol edildiği düşünüldüğünde Arıza1; Yunuslama eyleyici

1'de algılayıcı 1'de sabit değer arızası 10.000 örneklem süresince algılayıcı değeri 5 derece olarak ayarlanmıştır. Arıza 2; Yunuslama eyleyici 2'de algılayıcı 2'de çarpımlı arıza 10.000 örneklem süresince algılayıcı derece değeri 1,2 ile çarpılarak ayarlanmıştır. Arıza 3; Yunuslama eyleyici 3'de algılayıcı 1'de sabit değer arızası 10.000 örneklem süresince algılayıcı değeri 10 derece olarak ayarlanmıştır. Arıza 4; Rotor hızı algılayıcı 1'de sabit değer arızası 10.000 örneklem süresince algılayıcı değeri 1,4 rad/s olarak ayarlanmıştır. Arıza 5; Rotor hız algılayıcı 2'de algılayıcı rad/s değeri 1,1 ile çarpılarak & generatör hız algılayıcı 1'de algılayıcı değeri rad/s 0,9 ile çarpılarak çarpan değer arızası 10.000 örneklem süresince ayarlanmıştır. Arıza 6; Yunuslama eyleyici 2'de sistem hidroliginde yüksek hava oranı 10.000 örneklem süresince sönümlenme faktörü (ξ) değeri 0,45 ve doğal frekansı (ω_n) 5,73 'e ayarlanmıştır. Arıza 7; Yunuslama aktuatör 3'de düşük basınç arızası 3.000 örneklem süresince artan, 4.000 örneklem süresince sabit, 3.000 örneklem süresince azalan sönümlenme faktörü (ξ) değeri 0,90 ve doğal frekansı (ω_n) 3,42 'e ayarlanmıştır. Arıza 8; Dönüştürücü torkunda değer kayması arızası 10.000 örneklem süresince generatör verimliliği (η_{gc}) 100 değerinde ayarlanmıştır. Arıza 9; Aktarma organları dinamiği değişimi 20.000 örneklem süresince generatör verimliliği (η_{dt}) 0,92 çarpanı ile ayarlanmıştır [5].

Bu çalışmada arıza tespiti için YSA kullanılmıştır. Her bir arıza için ayrı YSA oluşturulmuş ve girişine 8 adet giriş sinyali uygulanmıştır. Çıkış sinyali ilgili arızanın varlığını tahminini vermektedir. YSA'nın girişine uygulanan veriler; hub seviyesindeki rüzgar hızı, rotor açılma hızı, generatör açılma hızı, generatör torku, generatör elektriksel gücü, 1.kanat yunuslama açısı, 2.kanat yunuslama açısı, 3.kanat yunuslama açısıdır. 8 adet girdi sinyali ile modeldeki 9 farklı arızanın 9 adet YSA kullanılarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. YSA giriş ve çıkışları Şekil.2.'de gösterilmiştir.



Şekil.2. YSA

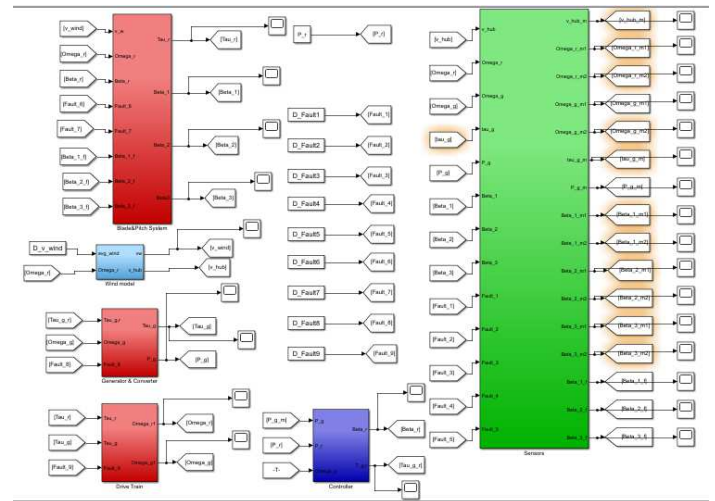
III. BENZETİM SONUÇLARI

Yarışma modelinde değişken hızlı, yunuslama kontrollü, 4.8MW güçte, üç kanatlı türbin seçilmiştir. Önerilen rüzgar türbini arıza tespit sisteminde MATLAB SIMULINK ve Neural Network Toolbox kullanılmıştır.

Bu çalışmada arıza tespit süresi T_t , örneklem süresi T_s olarak tanıtılmıştır. Kontrol sistemleri için $T_s=0,01$ s olarak

alınmıştır. Arıza algılama gereksinimleri arızanın kritik seviyelere ulaşmadığı, aynı zamanda arıza genliği göz önüne alındığında tespit zor olacağı şekilde belirlenmiştir[5]. Algılayıcı arızaları $T_t < 10.T_s$ 'yi, dönüştürücü arızaları $T_t < 3.T_s$ 'yi, yunuslama sistemde düşen pompa basınç arızası $T_t < 8.T_s$ 'yi, yunuslama sistem hidroliginde hava karışması arızası $T_t < 100.T_s$ 'yi sağlayacak şekilde tespit edilmelidir. Arızan aktarma organları sürtünmesi için zaman sınırı bulunmayıp sistem zarar görmeden tespiti beklenir. Yanlış örnekler art arda en fazla 3 örnek olmalıdır.

Yarışmada kullanılan simülasyon modelinin MATLAB SIMULINK görüntüsü Şekil.3.'de verilmiştir. SIMULINK uygulamasında modelimiz altı bloktan oluşmaktadır. Her arıza gerçekleştiği bloğunda modellenmektedir. Simülasyon blokları yarışma modelinde tanımlı 5 alt model ve ek olarak algılayıcı modelinden oluşmaktadır.

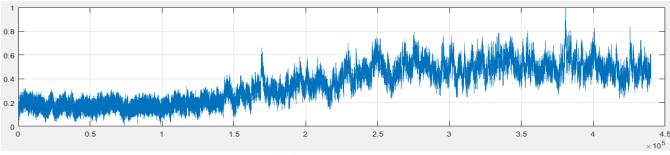


Şekil 3. SIMULINK Rüzgar Türbin Modeli

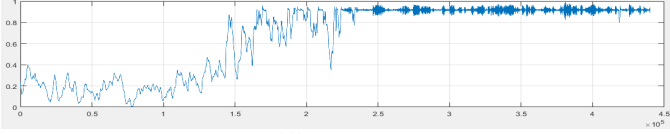
Her simülasyonda uygulanan arızanın çıkış verileri Neural Network Toolbox kullanarak eğitilmiştir. YSA'ya giren 8 veriden her biri 440.000 örnekleme sahip 1×440.000 'lik matrislerdir. YSA girişine 8×440.000 boyutlu bir giriş matrisi uygulanmıştır. Sinir ağına hedef verisi olarak 1×440.000 boyutlu arıza bilgisini içeren matris verilmiştir. Çıkışta türbin sistemindeki ilgili arızayı tahmin eden 1×440.000 boyutlu matris elde edilmektedir. 8×440.000 boyutlu giriş matrisi normalize edilmiştir. 1×440.000 boyutlu giriş verilen target verisi ise türevlenebilir olması için 0 değerleri 0,1'e, 1 değerleri de 0,9'a çekilmiştir.

Çalışmada arıza kestirimi için oluşturulan 3 katmanlı YSA'da eğitim metodu Levenberg-Marquardt, ilk iki katmanda nöron sayısı 10 seçilmiştir, çıkış katmanı bir sınıflandırma yapabilmek için aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant sigmoid(TANSIG) seçilmiştir [8].

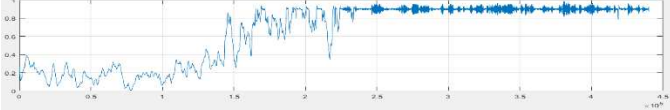
Önerilen sistemin çalışmasını göstermek için Arıza1; Yunuslama eyleyici 1'in algılayıcı 1'de sabit değer arızası seçilmiştir. 200.000 ile 440.000 'inci örneklem süresince algılayıcı değeri sabit 5 derece olarak alınması ayarlanmıştır.



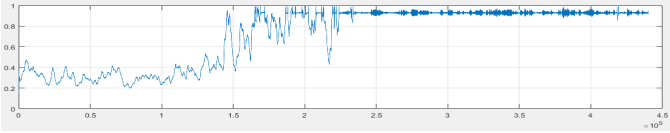
Şekil.4. Rüzgar Hızı



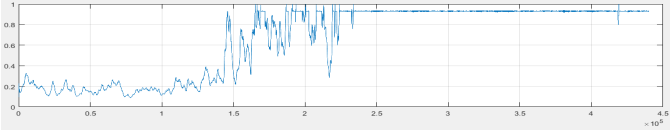
Şekil.5. Rotor Hızı



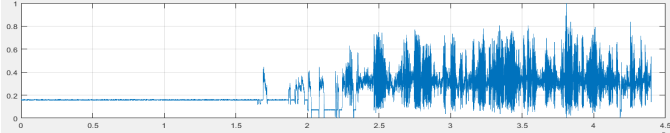
Şekil.6. Generatör Hızı



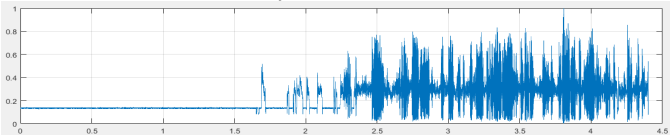
Şekil.7. Generatör Torku



Şekil.8. Generatör Elektrik Gücü



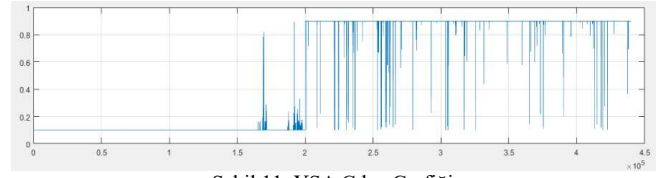
Şekil.9. Beta 1



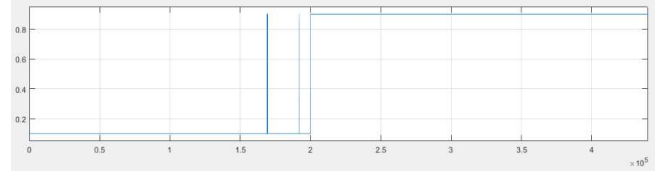
Şekil.10. Beta 2,3

Normalize edilmiş YSA giriş verileri Şekil.4-10 arasında verilmiştir. YSA çıkışındaki arıza kestirim verileri, arıza tespit süresine bağlı olarak ön işleme sokulmuştur. Ön işlemenin amacı tespit süresinden az örnekleme sahip hatalı tespitleri ortadan kaldırmaktır. Bu ön işleme örnekteki 1. arıza için örneklemeden önceki dokuz örnekleme hafızaya alıp işleme sokmuştur. Ön işlemeden önceki YSA çıkışı Şekil.11.de verilmiştir. İşleme sonucu iyileştirilmiş verinin grafiği Şekil.12.da verilmiştir.

Şekil.11'de sadece birinci arızanın tespitini yapan YSA sistemin çıkışı görülmektedir. Sınıflandırma için eşik değeri 0.5 olarak seçilmiştir. Sağlıklı durumda çıkış 0.1, arızalı durumda 0.9 değerindedir. Sistem sağlıklı iken 0.5'in üstündeki tahminler Yanlış Pozitif kabul edilmiştir. Arızalı durumda ise 0.5'in altındaki değerler Yanlış Negatif kabul edilmiştir. Çıkıştaki ön işlemlerin karmaşıklık matrisi oluşturulursa Doğru Pozitif: 239.999, Yanlış Negatif: 1, Doğru Negatif: 199.997, Yanlış Pozitif: 3 değerleri elde edilmiştir. Sistemin doğruluğu ise %99,9'dur. Yarışma modeli tespit



Şekil.11. YSA Çıkış Grafiği



Şekil.12. Ön işleme Sonrası Çıkış Grafiği

süresi algılayıcı arızası için 10 örnekleme iken 2 örnekleme içinde arızanın tespitini yapmıştır.

IV. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışma değişken hızlı, yunuslama kontrollü, yüksek güçlü yatay eksen üç kanatlı türbinlerde arıza tespiti ve teşhisi üzerine yönelmiştir. Önerilen sistemin klasik artıklık veya kestirimci sistemlerden farkı arıza tahmini için YSA yapısı kullanmıştır. YSA'nın giriş verileri olarak hub seviyesinde rüzgar, rotor ve generatörün açılma hızı, generatör elektriksel gücü ve torku, her üç kanatın yunuslama açıları ve türbinin arıza durumunu içeren çıkış matrisi kullanılmıştır. Sistemin çalışmasına 1. yunuslama sisteminde sabit değer algılayıcı arızası olan arıza 1 ile örnek verilmiştir. YSA ile türbin arıza kestirimi yapılmıştır. YSA yapısı, seçilen eğitim modeli, verilerin normalizasyonu ve çeşitli filtreler ile yarışma modelinde arıza 1'i başarılı şekilde tespit etmiştir. İleriki çalışmalarda arıza tespit sisteminden beklenen performans 9 adet arıza modelinin hepsinde başarımlar sağlamasıdır.

V. KAYNAKLAR

- [1] Zhang, X., Zhang,Q., Zhao, S., Ferrari,R., Polycarpou, M. M. And Parisini, T., "Fault Detection and Isolation of the Wind Turbine Benchmark; an Estimation-based Approach", Proceedings of the 18th World Congress The International Federation of Automatic Control Milano (Italy), August 28-September 2, 2011.
- [2] Zhang, X., Polycarpou, M. M. And Parisini, T., "A Robust Detection and Isolation Scheme for Abrupt and Incipient Faults in Nonlinear Systems", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.47, No.4, April 2002.
- [3] Nguyen, H. N., "Nonlinear Kalman Filters Based Rotor Effective Wind Speed Estimation: An Experimental Comparison", Renewable Energy, December 31, 2021.
- [4] Pang, Y., He, Q., Jiang G. and Xie, P., "Spatio-temporal Fusion Neural Network for Multi-class Fault Diagnosis of Wind Turbine Based on SCADA Data", School of Electrical Engineering, Yunshan University, Qinhuangdao, 066004, China, 2020.
- [5] Odgaard, P. F., Stoustrup, J., Kinnaert, M., "Fault Tolerant Control of Wind Turbines: A Benchmark Model", IEEE Transactions on Control System Technology, Vol. 21, No.4, July 2013.
- [6] Laouti, N., Sheibat-Othman, N. and Othman, S., "Support vector machines for fault detection in wind turbines", in Proc. IFAC World Congr., Aug.-Sep. 2011.
- [7] W. Chen, S. X. Ding, A. H. A. Sari, A. Naik, A. Q. Khan, and S. Yin, "Observer-based FDI schemes for wind turbine benchmark," in Proc. IFAC World Congr., Aug.-Sep. 2011.
- [8] Haykin, S., "Neural Networks and Learning Machine" Third Edition, January 1, 2016.