



## PI, PID ve GA-PID Kontrolör ile Rüzgâr Türbinin Kanat Hatve Açısı Kontrolü

### Pitch Angle Control of Wind Turbine with PI, PID and GA-PID controller

Ismail Mohamed Sougueh <sup>1</sup> , Göksu Görel <sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Çankırı Karatekin Üniversitesi, 18100 Çankırı, Türkiye

Başvuru/Received: 14/12/2021

Kabul / Accepted: 24/07/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 24/07/2022

Son Versiyon/Final Version: 24/07/2022

**Öz**  
Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji piyasasındaki payı yükseliş içerisinde. Bu kaynakların en önemlisi ise rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr hızına bağlı olarak rüzgâr türbin hız kontrolü önemli kontrol parametresidir. Bu hız parametresinin yüksek rüzgâr hızlarında türbin ve diğer önemli parçalara zarar vermemesi için denetim altında tutulması gerekmektedir. Bu çalışmada, PI, PID ve GA-PID kontrolör ile bir rüzgâr türbinin hatve açısını kontrol etmek için bir modelleme yapılmıştır. Yüksek rüzgâr hızlarında enerji sistemine zarar verilmemesi ve değişken rüzgâr hızının çıkış gücü etkisinin kabul edilebilir ölçülerde kalmasını sağlamak PI, PID ve GA-PID kontrolör yöntemi kullanılmıştır. Çıkış gücünün sabit tutulması hedeflenmiştir. Matlab/Simulink programında simülasyon olarak rüzgâr türbini modellenmiştir. Bu çalışmada çıkış gücü seviyesi (500 KW) GA-PID kontrolörün uygulanmasıyla daha optimum seviyede kalması sağlanmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Rüzgâr türbini, Genetik algoritma, Optimizasyon”

#### Abstract

Today, the share of renewable energy sources in the energy market is on the rise. The most important of these resources is wind energy. Depending on the wind speed, wind turbine speed control is an important control parameter. This speed parameter must be kept under control in order not to damage the turbine and other important parts at high wind speeds. In this study, a modeling has been made to control the pitch angle of a wind turbine with PI, PID and GA-PID controllers. PI, PID and GA-PID controller methods are used to ensure that the energy system is not damaged at high wind speeds and the effect of variable wind speed on output power remains acceptable. It is aimed to keep the output power constant. The wind turbine was modeled as a simulation in the Matlab/Simulink program. In this study, the output power point (500 KW) is kept at a more optimum level by applying the GA-PID controller.

#### Key Words

“Wind turbine, Genetic algorithm, Optimization”

## 1. Giriş

Dünyada elektrik üretmenin birçok yöntemi vardır. Enerjiler iki kategoriye paylaştırılmaktadır: yenilenemeyen enerjiler ve yenilenebilir enerjiler. Son yıllarda nüfus artması ve elektrik ihtiyacı olduğu için yeni bir doğal ve tükenilemez kaynaklar keşfedilmiştir (Civelek, 2013). Eski kaynakların (kömür, petrol vb.) çevreye zararlı olması nedeniyle yenilenebilir enerjiler tercih edilmektedir (Çiftçi & Dursun, 2017). Yenilenebilir enerjiler hem insanların ihtiyaçlarını karşılar hem de çevreyi korur. (Civelek et al, 2016). Farklı yenilenebilir enerjiler vardır (Güneş paneli, Hidrolik, Jeotermal, Rüzgâr türbini vb.) (Almaz, 2020). Son yıllarda küresel ısınmaya ve çevre kirliliğine neden olan yer yer altı kaynaklarının azalması ve sınırlandırılmasının gerçekleşmesi ile sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmıştır. Günümüzde elektrikli cihazlar ve teknoloji artmasıyla elektrik enerjileri çok talep edilmektedir. Rüzgâr türbini yenilenebilir enerjilerini birisidir (Işık & Ünal, 2020). Rüzgâr türbini enerjisi günümüzdeki çok kullanılan bir enerjidir. Rüzgâr hareketinden (kinetik enerjiden) elektrik enerjisi üretmektedir. İki türlü rüzgâr türbin vardır, sabit hızlı rüzgâr türbini ve değişken hızlı rüzgâr türbini. Sabit hızlı rüzgâr türbini çıkış gücüne sabittir, değişken hızlı rüzgâr türbini hava hızına göre çıkış gücünü değiştirmektedir (Işık & Ünal, 2020). Çıkış gücünün ve değişken rüzgâr hızlarına bağlı olduğu doğrulanmıştır (Çiftçi & Dursun, 2017). Rüzgâr Enerji Santralleri (RES) dünyada çok yerlerde yerleştirilmiştir fakat çıkış gücüne ve değişken rüzgâr hızına bağlı olduğu için sorun ortaya çıkmıştır. Rüzgâr türbini tarafından üretilen güç sabit değilse, şebekede bozulmalar olacaktır. Bu problemin çözülmek için kontrolörün kullanılmaktadır ve farklı kontrolör vardır. Son yıllarda klasik PID, bulanık mantık vb. kontrolörler kullanılarak rüzgâr türbinin hatve açısını kontrol edildiği çok çalışma açıklanmıştır (Civelek, 2013). Rüzgâr türbinlerinin hatve kontrolü için en çok çalışılan kontrolör orantısal-integral-türev (PID) kontrolördür. Ancak rüzgâr türbini modellemesindeki ve rüzgâr hızı profillerindeki belirsizlikler nedeniyle daha etkin kontrolörlere ihtiyaç kaçınılmazdır. PID kontrolörün parametreleri genellikle bilinmez ve tasarımcı tarafından seçilmelidir, bu ne basit bir görev ne de optimaldir. Bu dezavantajlarla başa çıkmak için, bu yazıda, perde kontrol performansını iyileştirmek için bulanık PID (FPID) ve kesirli sıralı bulanık PID (FOFPID) olarak adlandırılan iki gelişmiş denetleyici önerilmiştir. Bu arada, kontrolörlerin parametrelerini bulmak için kaotik evrimsel optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Daha sonra yapılmış olduğu çalışmaların rüzgâr türbin hatve açısını kesirli bulanık PID kontrolörleri kullanılarak sistemin kontrol edilebildiği gösterilmiştir (Amirhossein et al, 2018). Hatve açısı kontrolü, rüzgâr hızı nominal hızın üzerindeyken rüzgâr türbininin aerodinamik torkunu ayarlamak için en yaygın araçtır ve rüzgâr hızı, jeneratör hızı ve jeneratör gücü gibi çeşitli kontrol değişkenleri seçilebilmektedir. Geleneksel adım kontrolü genellikle PI kontrolörü kullandığından, sistemin matematiksel modeli iyi bilinmelidir. Sistem hakkında iyi bilinmesi gerekmeyen ve doğrusal olmayan hassasiyeti telafi etmek için ortalama rüzgâr hızının kullanıldığı bir bulanık mantık eğim açısı kontrolörü geliştirilmiştir Bulanık mantık kontrol stratejisi, sistem rüzgâr türbülansının güçlü olması gibi güçlü doğrusal olmayanlık içerdiğinde veya kontrol hedefleri yorulma yüklerini içerdiğinde potansiyele sahip olabilmektedir. Bulanık mantık kontrolörün tasarımı ve çeşitli kontrol değişkenleri ile dönüşümlü adım açısı kontrol stratejileri ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Simülasyon, bulanık mantık kontrolörün, daha düşük yorulma yükleri, daha düşük güç tepe noktası ve daha düşük tork tepe noktası gibi geleneksel adım açısı kontrol stratejilerinden daha iyi kontrol performansları elde edebileceğini göstermektedir (Jianzhong, Z. 2008). Rüzgâr türbini hatve açısı kontrol edilebilmek için kontrolörün kullanılarak kontrol edilebilmektedir. PI, PID ve GA-PID Ziegler Nichols yöntemi kullanılarak çıkış gücünün kontrol edilmiştir. Bu çalışmada ilk olarak kontrolsüz rüzgâr türbininin çıkış gücü incelenmiştir daha sonra PI, PID ve GA-PID kontrolörle uygulamasıyla çıkış gücü ayar noktası (500 KW) sabit tutulabildiği gösterilmiştir. PID kontrolörün katsayılarının genetik algoritması uygulanmasıyla sistemin optimize edilmektedir. Rüzgâr hız seviyelerinin aşırı durumlarında daha sağlıklı bir kontrol imkânı sağlamıştır.

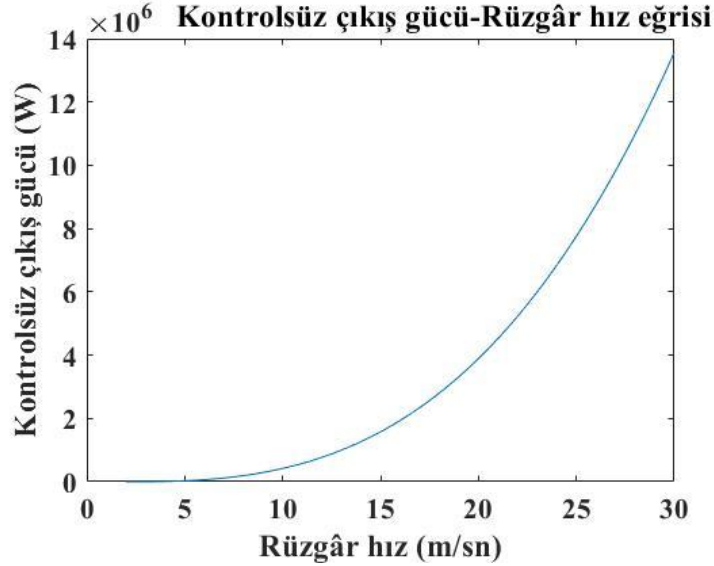
## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Rüzgâr türbin modeli

Rüzgâr kinetik gücü (P) hava hızının (V) orantılıdır, denklem (1)'de verilmiştir.

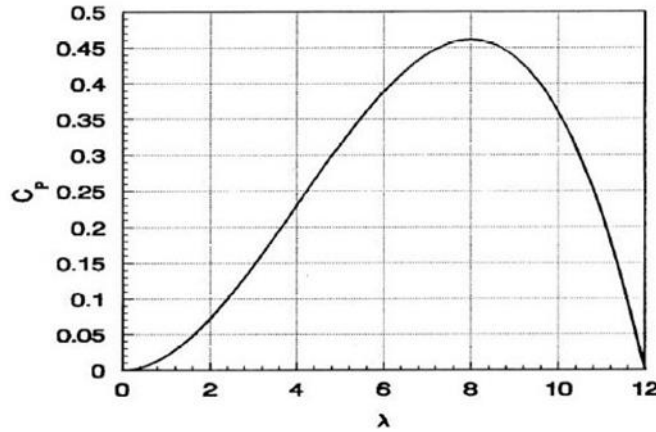
$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (1)$$

Burada, V ve A sırasıyla hava yoğunluğu, sıcaklık değeri 15 ve atmosfer değeri 1 olmalıdır, Rüzgâr hızı (m/s) ve kanatlar süpürülen alandır (m). Şekil 1'de rüzgâr hızı-rüzgâr gücü değişim eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 1. Rüzgâr hızı-rüzgâr gücü eğrisi

Güç katsayısı  $C_p$  kanat hatve açısı  $\beta$  ve kanat uç hız oranı  $\lambda$ 'nın bir fonksiyonudur. Güç katsayısı Betz limitinin göre 0.59'u geçemez ve en fazla %59'unu enerjiye çevirebilir. Şekil 2'de  $C_p$ 'nin,  $\lambda$ 'ya göre değişim grafiği verilmiştir.

Şekil 2.  $C_p$ -  $\lambda$  eğrisi

Rüzgâr türbininden elde edilebilecek mekanik çıkış gücü rüzgâr hızının küpü ile orantılıdır ve denklem (2)'de verilmiştir.

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3 C_p(\beta, \lambda) \quad (2)$$

Burada, Güç katsayısı olan  $C_p$ , rüzgârın hacmi  $\rho$  ve rüzgâr hızı  $V$  ile mekanik çıkış gücüne orandır.  $C_p(\beta, \lambda)$  ise, kanat hatve açısı ve kanat uç hız oranıdır (TSR). Rüzgâr türbinin güç katsayısı  $C_p$  denklem (3)'te verilmiştir.

$$C_p = 0.5176 \left( \frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right) e^{-\frac{21}{\lambda_i}} + 0.0068\lambda \quad (3)$$

Denklem (3)'te verilen  $C_p$  değeri, denklem (4)'te ve denklem (6)'da verilen değerler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\lambda_i = \left( \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \right)^{-1} \quad (4)$$

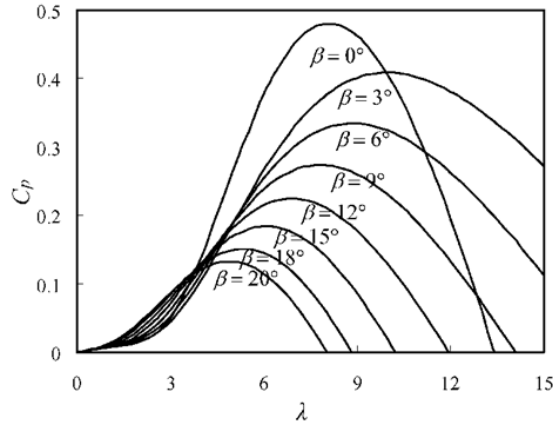
$\lambda_i$ 'yi başka bir şekilde denklemin ifade edersek.

$$\frac{1}{\lambda_i} = \left( \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \right) \quad (5)$$

TSR denklem (6)'da verilmiştir.

$$\lambda = \frac{\Omega R}{V_{ref}} \quad (6)$$

Kanat ucu hız oranı (Tip Speed Ratio), kanat açısai hızı ile rüzgâr hızının oranıdır. Burada;  $\Omega$  türbin rotoru açısai hızı (rad/s), rüzgâr türbini kanat yarı çapıdır (m). Şekil 3'te değişik beta açısı değerleri için güç katsayısı ve kanat uç hız oranı değişim eğrileri verilmiştir.



Şekil 3. Farklı  $\beta$  değerleri için  $C_p$ - $\lambda$  grafiği

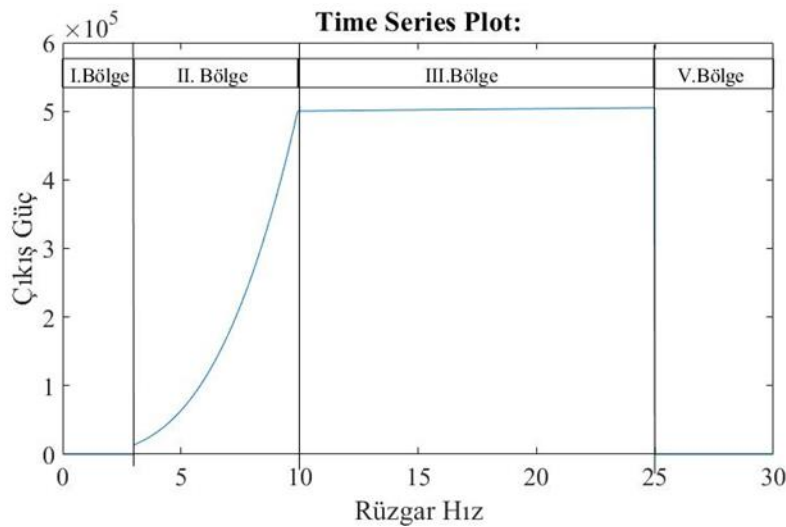
Aerodinamik tork birim açısai hız başına düşen güç miktarıdır. Rotoru süren aerodinamik tork denklem (7)'de verilmiştir.

$$T = \frac{P_m}{\Omega} \quad (7)$$

Eğer denklem (2) ve denklem (6)'e ilave edilirse denklem şöyle ifade edilmiştir.

$$T = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 V^2 \frac{C_p(\beta, \lambda)}{\lambda} \quad (8)$$

Rüzgâr türbinin çıkış gücü kontrolü çalışması prensibi kısaca: Rüzgâr hız değişken olduğundan, mekanik çıkış gücü de değişkendir. Denklem (6)'e göre  $\Omega$  veya  $V_{ref}$ 'deki herhangi değişim,  $\lambda$ 'yı değiştirir. Bu da  $C_p$ 'yi değiştirir, sonuçta elde edilebilecek güç miktarı değişecektir. Güç katsayısının değişimi hatve açısının değişimine bağlıdır böylece çıkış gücü kontrol edilmiştir. Şekil 4'te rüzgâr türbininin çeşitli çalışma bölgeleri görülmektedir.

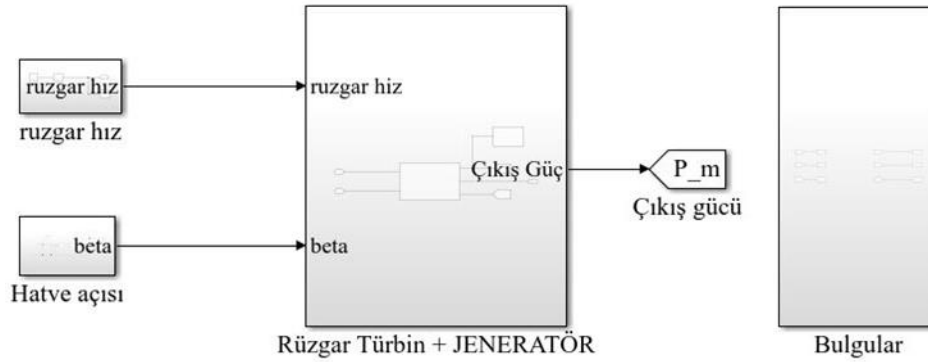


Şekil 4. Rüzgâr türbini çalışma bölgeleri

Rüzgâr türbinin çıkış gücü dört bölgeye ayrılmıştır. I bölgedeki "Cut-in" denir ve bu bölge de çıkış gücü sıfırdır. II bölge 'ise çıkış gücü sıfır ve nominal çıkış gücü arasında bir bölgedir. III bölgedeki rüzgâr türbininden üretilen güç nominal gücü eşitleştirildiği bölgedir. Sonuçta IV bölgede "Cut-out" denir ve bu bölgede rüzgâr hız limitin aşamasıdır dolayısıyla türbini güvenlik açısından kapatılır.

## 2.2. Rüzgâr türbine ve jeneratör modeli

Genel görüntü Matlab ortamında modellemesi Şekil 5'te görmektedir. Rüzgâr türbini üç farklı blok şeması içermektedir. Rüzgâr hız, hatve açısı, rüzgâr türbin ve jeneratör şema blok modellenmiştir.



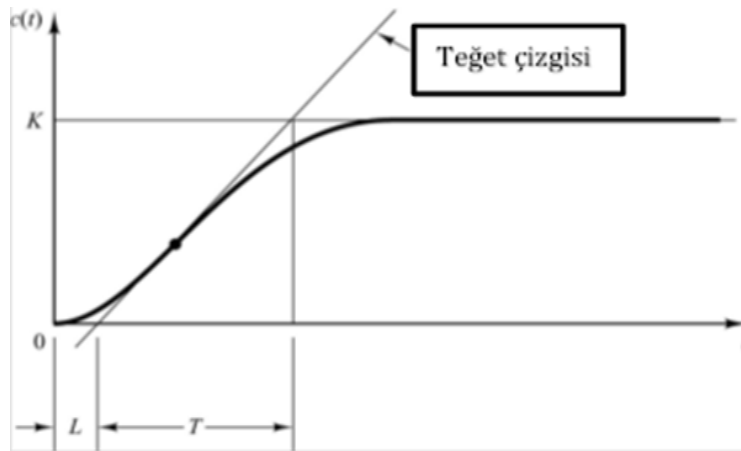
Şekil 5. Rüzgâr türbini sistemin genel görüntü

Rüzgâr türbinlerin herhangi kontrolörle kullanılmadan Şekil 1'de eğrisi göstermektedir. Bu çalışmada PI, PID ve GA-PID kontrolörle kullanarak Şekil 4'te gösterilen eğri gibi çıkış gücünü olacağı gösterilmiştir. Matlab ortamında simülasyon iç yapısı aşağıda açıklanmıştır:

Ramp ve saturation bağlanarak değişken rüzgâr hız sistemin bloğu modellenmiştir. Parametreleri düzenli yaparak rüzgâr hızı gitgide artmaktadır. Hatve açısı blok modeli çok şey içermektedir. DC Servo motor (Aktüatör), PI, PID ve GA-PID kontrolörler ve sinyal hata hesaplayan programı bulunmaktadır. Rüzgâr Türbini ve Jeneratör bloğu modeli iki kısımdan oluşmaktadır. Son olarak bulgular blok modeli görüntüleme cihazlarını (Scope, Toworkspace, vb.) içermektedir.

## 2.3. PI ve PID kontrolör tasarımı

PI ve PID kontrolörü için gerekli katsayılar hesaplanırken kullanılan L ve T değerleri Şekil 6'ya göre Matlab ortamında çıkış gücünün eğrisi sonuçları dikkate alınarak belirlenmiştir. Matlab ortamında rüzgâr türbinin sistemin hiçbir kontrolöre uygulamadan çıkış gücü eğrisi bakarak dört bölgeye paylaşılır. I bölgede Cut-in denir ve bu bölgede L değerinin bulunmaktadır. II bölgede ise T değerinin hesaplanabilir. IV bölgede Cut-out bölgesi denir ve K değerinin hesaplanabilir. Bu çalışmada Ziegler Nichols yöntemini kullanarak çıkış gücü eğrisi II bölgesinde teğet çizgisini çizerek T değerin hesaplanmıştır. L değerin ise I-II bölge arasında Cut-in kısmında x eksenini belirtmektedir. PI veya PID kontrolör kullanılarak L ve T değerlerini her zaman farklıdır. Bu kısımda hesaplandığı ya da belirttiği değerlerin rüzgâr sistemin hatve açısının sıfır olmalıdır. Bundan sonra tablo 1'de formülere göre  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  kolay bir şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 6. PI ve PID kontrolör katsayılarının L ve T eğrisi

PI ve PID katsayıları  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  hesaplanmak için Tablo 1'e göre açık döngü sistemin kullanılarak hesaplanmıştır. L ve T değerlerin Matlab simülasyonunda bakarak bulunmaktadır.

**Tablo 1.** PI ve PID açık döngü katsayıların hesaplanması

Kontrolör	K <sub>p</sub>	T <sub>i</sub> =K <sub>p</sub> /K <sub>i</sub>	T <sub>d</sub> =K <sub>d</sub> /K <sub>p</sub>
P	T/L	∞	0
PI	0.9T/L	L/0.3	0
PID	1.2T/L	2L	0.5L

Bu çalışmada sistemin açık döngüsü olmadığı için bu yöntem kullanılamamaktadır. Kapalı döngüsü yöntemin aşağıda ifade edilmiştir. PI ve PID kontrolörün kapalı döngüsün yöntemi aşağıdaki Tablo 2'ye göre katsayıların hesaplanmıştır:

**Tablo 2.** PI ve PID kapalı döngü katsayıların hesaplanması

Kontrolör	K <sub>p</sub>	K <sub>i</sub>	K <sub>d</sub>
P	0.5K <sub>u</sub>	0	0
PI	0.45K <sub>u</sub>	1.2K <sub>p</sub> /T <sub>u</sub>	0
PID	0.6K <sub>u</sub>	2K <sub>p</sub> /T <sub>u</sub>	K <sub>p</sub> T <sub>u</sub> /8

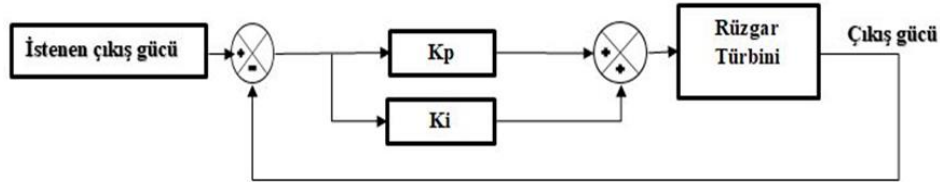
Ziegler Nichols kapalı döngü yöntemin uygulanarak ve K<sub>u</sub> ve T<sub>u</sub> değerinin Matlab'ta bakarak K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub> ve K<sub>d</sub> Tablo 2'ye göre hesaplanmıştır.

#### PI kontrolör tasarımı

PI kontrolörün transfer fonksiyonu Şekil 7'de gösterilmiştir. Kontrolörün integral kısmı kontrolör giriş işaret üretir. PI kontrolör, sistemin kararlı hal hatasını bir derece iyileştirir (Kumar et al, 2015).

PI kontrolörün transfer fonksiyonu Denklem (9)'de verilmiştir. Bu çalışmada Ziegler Nichols yöntemin uygulamasıyla rüzgâr türbini çıkış gücü ayar noktası tutulmak için iyi optimize eder. PI kontrolörün sadece K<sub>p</sub> ve K<sub>i</sub> içermektedir.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (9)$$

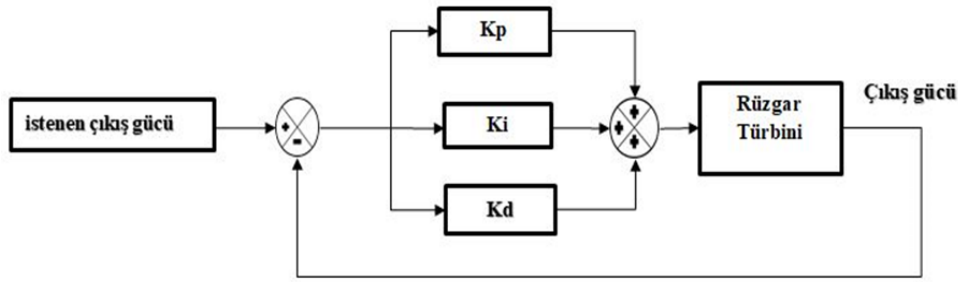
**Şekil 7.** PI kontrolörün transfer fonksiyonu

#### PID kontrolör tasarımı

PID kontrolörün 'ise K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub> ve K<sub>d</sub> içermektedir ve transfer fonksiyonunun Şekil 8'de gösterilmiştir. PID kontrolörünün integral kısmı kontrolör giriş işaretinin zaman integrali ile orantılı bir işaret üretir (Kumar et al, 2015).

PID kontrolörün transfer fonksiyonu Denklem (10)'de verilmiştir. Burada Ziegler Nichols yöntemin uygulamasıyla rüzgâr türbini çıkış gücü ayar noktası tutulmak için PI kontrolörden daha iyi optimize eder. PID kontrolörün içinde K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub> ve K<sub>d</sub> bulunmaktadır.

$$G_c(S) = K_p + K_d S + \frac{K_i}{S} \quad (10)$$



Şekil 8. PID kontrolörün transfer fonksiyonu

#### 2.4. Aktüatör modeli

Bir DC motor kullanarak (servo-motor) hatve açısı kontrol etmektedir. Pitch aktüatör sistemleri hidrolik veya elektrikli olarak kontrol edilebilir. Elektrikli aktüatörde; her bıçak bir servo motor ile ayrı ayrı ayarlanabilir. Dünyanın en büyük rüzgâr türbini tedarikçileri, elektrikli eğim açısı kontrol sistemleri kullanmaktadır. Bu çalışmada aktüatör olarak (DC) servo motor kullanılmıştır. Servo motor tasarımında, pozisyon kontrol transfer fonksiyonu Denklem (11)'de verilmiştir (Civelek, 2013).

$$G_P S = \frac{1}{s(s+1)} \quad (11)$$

#### 2.5. Rüzgâr türbinin optimizasyonu

Farklı olası çözümler arasında daha iyiyi veya en iyisini bulmak için optimizasyon kullanılmaktadır. Optimizasyon, koşulların en iyi ve en uygun olduğu optimum noktadır. Optimizasyon problemi: Belirli bir durumda mevcut olan bir dizi seçeneği temsil eden, bir kümeye göre bazı fonksiyonların maksimize veya minimize edilmektedir. İşlev, hangisinin "en iyi" olabileceğini belirlemek için farklı seçeneklerin karşılaştırılmasına olanak tanınmaktadır. Optimizasyon yöntemleri, bir mal veya hizmetin üretiminde maliyetleri en aza indirmek, karı en üst düzeye çıkarmak, bir malın geliştirilmesinde hammaddeyi en aza indirmek veya üretimi en üst düzeye çıkarmak gibi bazı çalışma parametrelerini en üst düzeye çıkararak veya en aza indiren çözümler bulmak için birçok çalışma alanında kullanılmaktadır. Rüzgâr türbinin optimize etmek için birçok yöntemin kullanılabilir. Bu çalışmada Genetik Algoritması (GA) yöntemini kullanılarak sistemi optimize edilmiştir (Ben Jemaa, 2015).

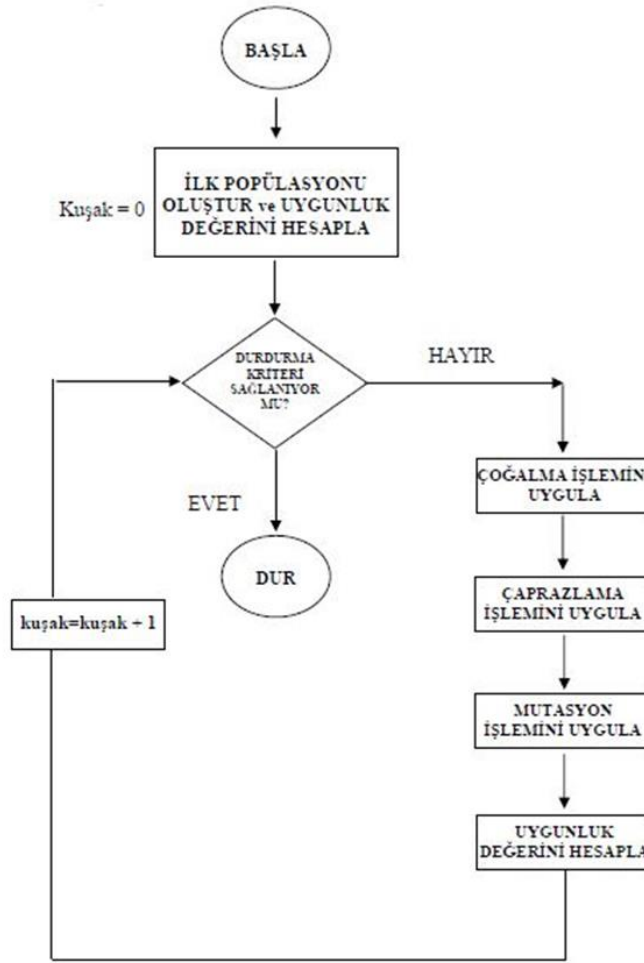
##### Genetik Algoritması optimizasyonu

Genetik Algoritması stokastik bir optimizasyondur. Genetik algoritması rüzgâr türbinin çıkış gücüne ayar noktası (500 KW) sabit tutulmak için en iyi  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  kendisini hesaplanır ve en uygun sonuç vermektedir. Parametrelerin şöyle ayarlanmaktadır: Genetik algoritma (GA), bir seferde potansiyel çözümler popülasyonunu manipüle eden bir meta-sezgiseldir. Bir GA'nın çalışma modu, doğal seçilimin biyolojik ilkeleri ve çevreye en uygun bireylerin hayatta kalması üzerine modellenmiştir (Darwin, 1876). Doğal seçim, birbirini izleyen nesillerdeki değişikliklerin, türlerin maruz kaldığı dış baskılar (örneğin, kaynak kısıtlamaları, çevresel değişiklikler, avcılar ve parazitler, vb.). Sonuç olarak, çevreye en iyi uyum sağlayan bireyler daha uzun süre hayatta kalma ve daha sık üreme eğilimindedir. Bu mekanizmadan yararlanarak (Holland, 1975) "genetik algoritmalar" adı verilen optimizasyon yönteminin temellerini atılmaktadır. Bu yöntemin önerildiği sonuçları takiben, kombinatoriyal optimizasyon problemleri üzerine birçok çalışma ele alınmıştır. Genetik algoritma, doğal seçim ve genetikten ilham alan bir optimizasyon yöntemidir. Algoritma, arama uzayında rastgele başlatılan bir dizi olası çözümden başlamaktadır. Bireyler, tasarım değişkenleriyle veya bunların kodlanmasıyla (kromozom) temsil edilmiştir. İlk popülasyonun bazı çözümleri, genetik operatörlerden (çaprazlama, mutasyon vb.) yeni bir popülasyon oluşturmak için kullanılmıştır. Bu, yeni nüfusun öncekinden daha iyi olacağı umuduyla motive edilmiştir. Yeni çözümler oluşturmak için kullanılacak çözümler, değerlerine göre rastgele seçilir (oluşturulan probleme özgü, en aza indirilmesi veya en üst düzeye çıkarılması gereken bir amaç fonksiyonu ile temsil edilir): birey ne kadar iyi olursa, hayatta kalma şansı o kadar yüksek olur ve bir yakınsama kriteri sağlanana kadar yeniden üretmek (tipik olarak sabit sayıda nesil veya amaç fonksiyonu tarafından ulaşılan bir hedef değer). Genetik algoritmaların bazı avantajları aşağıda sayılmaktadır (Ben Jemaa, 2015):

- Hem sürekli hem de ayrık veya karışık problemlere uygulanabilir yöntemin genelliği.
- Yalnızca amaç fonksiyonunun değerini kullanırlar (türevini veya bir ara hesaplamayı kullanmazlar).
- Amaç fonksiyonunun olası süreksizliklerinin bu algoritmaların yakınsaması üzerinde çok az etkisi vardır.
- Yerel optimumlar tarafından kolayca tuzağa düşürülmezler.
- Çok sayıda parametreyi işleyebilirler ve paralel hesaplama için çok uygundur.

Tüm bu özellikler, çok çeşitli optimizasyon problemleri için genetik algoritmaların verimliliğine katkıda bulunmaktadır. Genetik algoritmalar genellikle üç tür genetik operatör kullanmaktadır. Bu operatörler, popülasyondaki bireylere genetik özelliklerini iyileştirmek ve çevrelere uyum sağlamalarını sağlamak amacıyla uygulanmaktadır (Ben Jemaa, 2015).

- ✓ Çaprazlama.
- ✓ Mutasyon.
- ✓ Seçim.



Şekil 9. Genetik algoritmasının akış şeması.

#### Amaç fonksiyonu

Genetik algoritma uygulamasındaki en önemli adım, her bir kromozomun uygunluğunu değerlendirmek için kullanılan amaç fonksiyonlarının seçilmesidir. Bazı çalışmalar performans indekslerini amaç fonksiyonu olarak kullanmaktadır. Amaç fonksiyonları olarak genellikle dört performans indeksi vardır. Mutlak Hata (MHZI) ile çarpılan Zamanın İntegrali, Hatanın Mutlak büyüklük İntegrali (HMI), Kare Hatasının (KHI) İntegrali ve Kare Hatası ile çarpılan Zaman İntegrali (KHZI). Burada, hata sinyalini minimize etmek için performans endeksleri olarak mutlak hata (MHZI) ile çarpılan zaman integralini kullanılmaktadır. Performans endeksleri şu şekilde tanımlanır (Ben Jemaa, 2015):

$$MHZI = \sum_0^{t_{max}} t |e(t)| \quad (12)$$

$$HMI = \sum_0^{t_{max}} |e(t)| \quad (13)$$

$$KHI = \sum_0^{t_{max}} e(t)^2 \quad (14)$$

$$KHZI = \sum_0^{t_{max}} t e(t)^2 \quad (15)$$

#### Kontrolör parametrelerinin optimizasyonu

Burada  $e(t)$  zaman alanı hata sinyalidir. Bu çalışmada MHZI'nin kriteri kullanılmaktadır ve aşağıda kontrol kanununu hesaplama adımları algoritmada özetlenmiştir.

##### 1) Aşağıdaki parametrelerin tanıtımı:

- $max_{pop}$  Popülasyon başına düşen birey sayısı.
- Başlangıç popülasyonu.



- $gen_{max}$  Jenerasyon sayısı.
- 2) Jenerasyon sayacının başlatılması ( $gen = 1$ ).
- 3) Birey sayacın başlatılması ( $j = 1$ ).
- 4)  $t = 1$  sn'den  $t_{max}$ 'a, popülasyondaki j-inci bireyin etkinliğinin değerlendirilmesi.
- 5) Bireysel sayacın artışı ( $j = j + 1$ ).
  - Eğer  $j < max_{pop}$  4. adıma geri dönün.
  - Aksi halde: yeni popülasyonun oluşumu için genetik operatörlerin (Seçim, Çaprazlama, Mutasyon) uygulanması
- 6) Üretim sayacının artışı  $gen = gen + 1$ ,  
Eğer  $gen < gen_{max}$  3. adıma dönün.
- 7) Son popülasyonun en iyi bireyine (en iyi uyumu oluşturan birey) karşılık gelen  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  alın.

Aşağıda, genetik algoritma, 100'e eşit jenerasyon sayısı ile karakterize edilmiştir. Popülasyon çaprazlama kesri 0.8, popülasyon mutasyonu 0.08 ve popülasyon başına düşen birey sayısı 30'ye eşittir. Şimdi, Matlab'da en iyi katsayıları bulmak için adımlar aşağıdaki gibidir:

Önce Matlab'da optintool yazılarak optimizasyon sayfada açılmıştır sonra GA optimizasyon seçilerek boş olan yerler parametreler doldurulmaktadır. Son olarak GA optimizasyonu "başlatma" tıklayarak başlamıştır. Yüz kere optimize ettikten sonra artık  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  elde edilmektedir ve sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

$$K_p = -0.9841851386559535 ;$$

$$K_i = -1.6419620431000405 e^{-5};$$

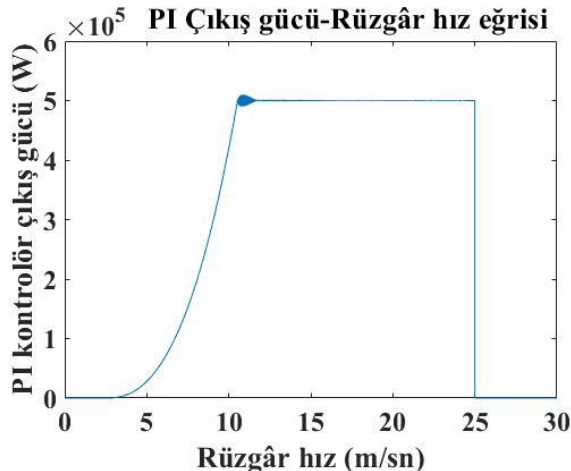
$$K_d = -0.9460994760497939 ;$$

### 3. Bulgular

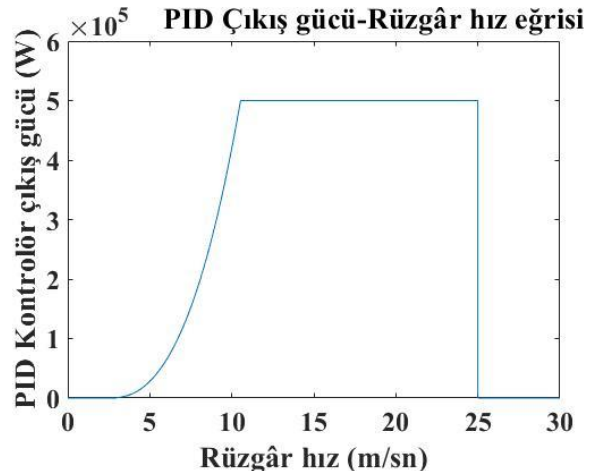
Bütün kontrolörün ve katsayılarının şöyle Tablo 3'te toplanmıştır.

Tablo 3. Kontrolörlerin katsayıları			
Kontrolör	PI	PID	GA-PID
<b>K<sub>p</sub></b>	-1	-0.9	-0.9841851386559535
<b>K<sub>i</sub></b>	-0.00001	-0.000016	-1.641962043100 e <sup>-5</sup>
<b>K<sub>d</sub></b>		-0.9	-0.946099476049793

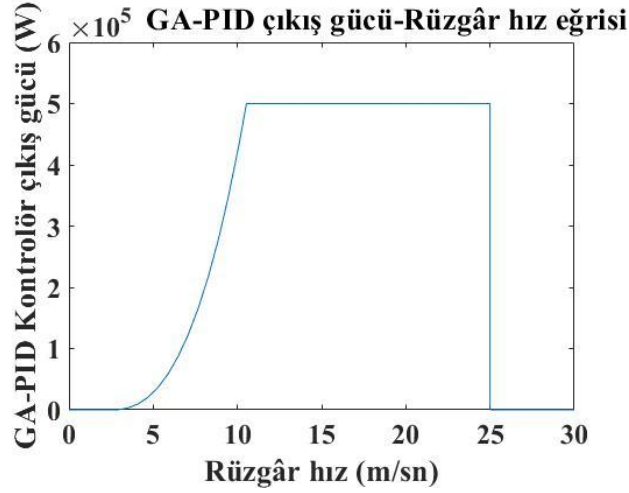
Simülasyon sonuçlarına göre Şekil 10'da görüldüğü gibi PI kontrolörle hatve açısının uygulamasıyla çıkış gücünü ayar noktası (500 KW) tutulmuştur ama 10-20 m/sn. arasında kararsızlığı görünmektedir. Rüzgâr türbini PI kontrolörü uygulandığında çıkış gücü  $\pm 10\%$  yaklaşık ayar noktası geçtiği Şekil 10'da görünmektedir. PID kontrolörün kullanılarak istenen ve ayar noktası çıkış gücünü artık elde edilmiştir. PID kontrolöre PI kontrolörden daha iyi optimize ettiği Şekil 10'da ve Şekil 11'de görünmektedir. Genetik algoritması ile PID parametrelerinin ayarlayarak rüzgâr türbini çıkış gücü kontrolör sonucu Şekil 12'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi PI ve PID kontrolörden daha optimum sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 10. PI rüzgâr türbinin çıkış gücü

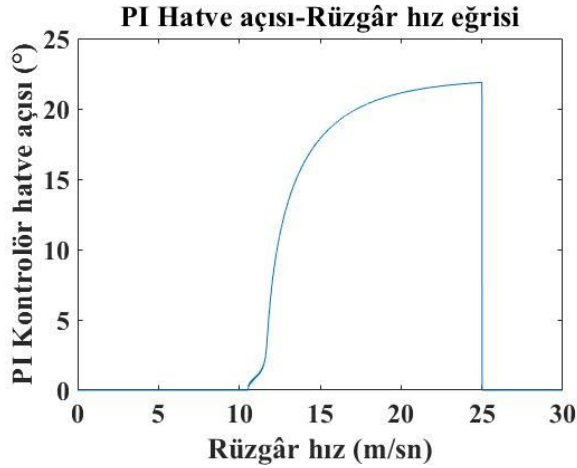


Şekil 11. PID rüzgâr türbinin çıkış gücü

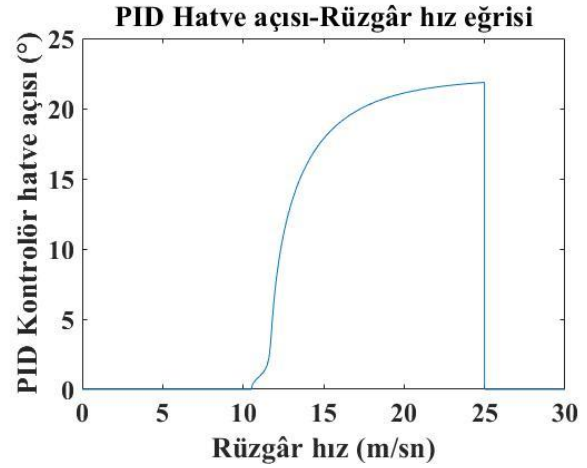


Şekil 12. PID-GA rüzgâr türbinin çıkış gücü

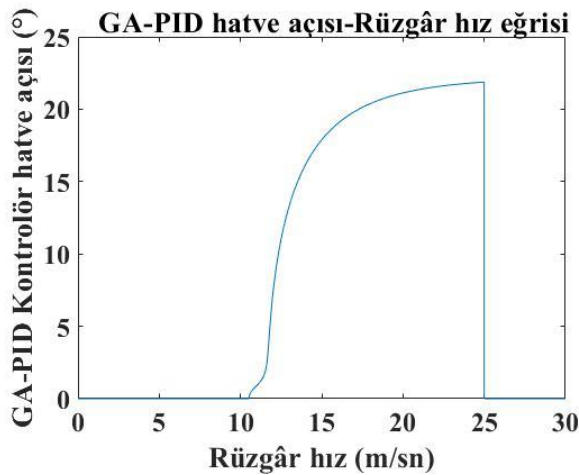
Şekil 13, 14 ve 15'te hatve açısının değişimi görülmektedir. Rüzgâr türbini nominal hız olduğunda (12 m/sn.) çıkış gücü (500 KW) tutulmak için servo motor tarafından hatve açısı değişmeye başlar. PI, PID ve GA-PID kontrolör kullanılarak servo motor tarafından uygun hatve açısı ayarlanmaktadır. Rüzgâr hız ( $\geq 25$  m/sn.) olduğunda rüzgâr türbinin güvenlik açısından kapatılmaktadır.



Şekil 13. PI hatve açısı

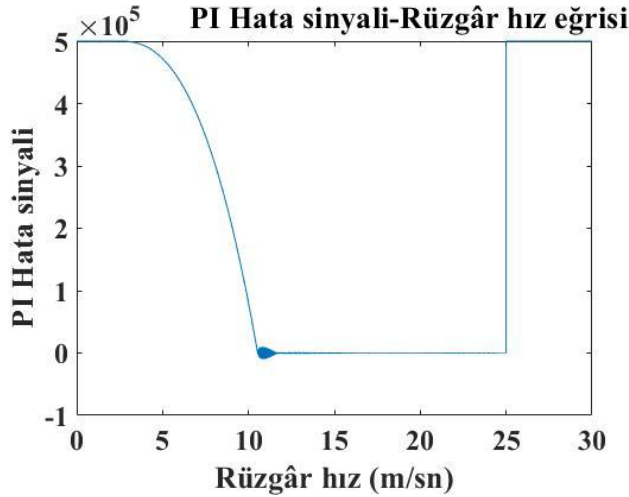


Şekil 14. PID hatve açısı

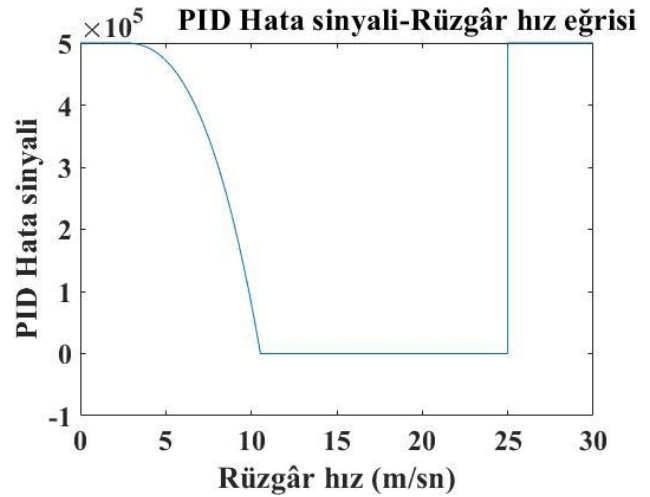


Şekil 15. PID-GA hatve açısı

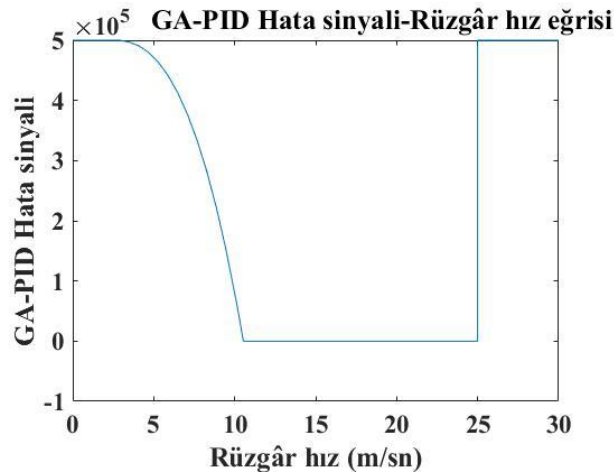
Şekil 16, 17 ve 18’de PI, PID ve GA-PID kontrolörler düzleteceğini hata değişimleri gösterilmektedir. Şekil 18’de Genetik Algoritması Genetik algoritmanın hata değerini klasik kontrolörlerden daha minimum değere indirdiği gösterilmiştir. Genetik Algoritması kullanılmasıyla en iyi  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  değerlerinin ayarlanması sonucu en iyi çıkış gücü değişimi Şekil 12’de, en iyi hatve açısı değişimi Şekil 15’de ve en iyi hata sıfırda sınırlandırıldığı Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 16. PI hata sinyali



Şekil 17. PID hata sinyali



Şekil 18. PID-GA hata sinyali

#### 4. Sonuçlar

Rüzgâr türbinin ürettiği çıkış gücü kontrol edilmesi önemlidir. Rüzgâr türbini hatve açısı kontrol edilebilmek için birçok yöntem vardır. PI kontrolörün Ziegler Nichols yöntemin kullanılarak  $K_p$  ve  $K_i$  hesaplanmasıyla çıkış gücü Şekil 10’da gösterilmiştir. İstenen sonuçlar elde edilmiştir ancak kararsızlık görülmektedir. Rüzgâr hızına bağlı olarak 12 m/sn’den 18 m/sn’ye arasında rüzgâr türbinin çıkış gücü eğrisi  $\pm 10\%$  seviyesi (500 KW) geçtiği görünür. Bu hata düzeltmek için PID kontrolörün Ziegler Nichols yöntemin kullanılarak yine de  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  hesaplanmasıyla eğri daha optimum bir seviyede sabit tutulduğunu gözlenmiştir. Ancak Ziegler Nichols yöntemlerin PI ya da PID kontrolörün hesaplandığında  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  katsayıların yaklaşık değerler verilmektedir. PID kontrolörün katsayılarını Genetik Algoritmasıyla ayarlayarak çıkış gücünün en iyi sonuç elde edilmiştir ve Şekil 12’de gösterilmiştir. PID kontrolörün katsayılarını GA ile ayarlayarak en iyi  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  hesaplayarak rüzgâr türbin sistemi daha iyi optimize edilmiştir. Sonuçta rüzgâr türbini hatve açısının kontrol edilebildiği ve çıkış gücünü daha sabit seviyede tutulduğu gösterilmiştir.

## Kaynakça

- Almaz, R. (2020). Değişken kanat açılı düşey eksenli rüzgâr türbini tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- Baburajan, S., & Ismail, A. (2017). Design and control of the pitch of wind turbine through pid. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume 4, Issue 9.
- Ben Jemaa, A. (2015). Coopération méta heuristique et logique floue pour le dimensionnement d'une installation hybride. Thèse pour obtenir le grade de docteur, Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims, France.
- Boulegroune, I. (2020). Etude et réalisation d'une turbine éolienne. Mémoire de Fin d'Etudes Master, Université Mohamed Khider Biskra, Biskra, Algérie.
- Civelek, Z. (2013). Bulanık PID kontrolör ile rüzgâr türbininin hatve açısının kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye.
- Civelek, Z., & Lüy, M., & Çam, E., & Görel, G. (2016). A new fuzzy controller for adjusting of pitch angle of wind turbine. The Online Journal of Science and Technology, Volume 6, Issue.
- Çiftçi, A., & Dursun, M. (2017). Değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde kullanılan sabit mıknatıslı senkron generatör ile maksimum güç noktası izleme algoritması. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Volume 5, Issue 2.
- Göktaş, M., & Kılıç, F. (2019). Savonius rüzgâr türbini çevresindeki hava akışının hesaplanabilir akışkanlar dinamiği yöntemi ile analizi. Politeknik dergisi 22(1): 11-17, (2019).
- Gupta, J., & Kumar, A. (2012). Fixed pitch wind turbine-based permanent magnet synchronous machine model for wind energy conversion systems. Journal of Engineering and Technology Volume 2, Issue 1.
- Hamad, C. (2017). Pitch angle control system design for wind turbine. Master thesis, Yüzüncü Yil University, Van, Türkiye.
- Hwas, A & Katebi, R. (2012). Wind Turbine Control Using PI Pitch Angle Controller. Industrial Control Centre, University of Strathclyde, Glasgow, UK. IFAC Proceedings Volumes, Volume 45, Issue 3.
- Iov, F., Daniela, A., Sorensen, P., & Blaabjerg, F. (2004). Wind Turbine Blockset in Matlab / Simulink General Overview and Description of the Models. Aalborg University, Denmark.
- Işık, E. & Ünal, O. (2020). Rüzgâr Türbini Kanat Tasarımı ve Analizi. Makina mekanik tasarım projesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
- Jourieh, M. (2007). Developpement d'un modele representatif d'une eolienne afin d'etudier l'implantation de plusieurs machines sur un parc eolien. These pour obtenir le grade de Docteur, l'Ecole Nationale Superieure d'Arts et Metiers, Paris, France.
- Kumar, P., Parimi, A., & Rao, U. (2015). Investigation of small pmsg based wind turbine for variabl wind speed, International Conference on Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering (RDCAPE).
- Leithead, W., & Connor, B. (2010). Control of variable speed wind turbines: dynamic models. International Journal of Control, Volume 73, Issue 13.
- Multon, B. (1999). L'énergie électrique: analyse des ressources et de la production, Journées de la section électrotechnique du club EEA 1999, Jan 1999, 22p. (hal-00674084), Paris, France.
- Rolan, A., Luna, A., Vazquez, G., Aguilar, D & Azevedo, G. (2009). Modeling of a Variable Speed Wind Turbine with a Permanent Magnet Synchronous Generator, 2009 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 5-8 July 2009 conference. Seoul, Korea (South).
- Sami, K. (2018). Modélisation et commande d'un système éolien. Thèse de doctorat, Université 8 mai 1945 Guelma, Guelma, Algérie.
- Yin, M., Li, G., Zhou, M., and Zhao, C. (2007). Modeling of the Wind Turbine with a Permanent Magnet Synchronous Generator for Integration, IEEE Power Engineering Society General Meeting. Tampa, Florida, USA.