



SULAMA KANALLARINDA VORTEKS TÜRBİNLERİN SCADA İLE ENERJİ ÜRETİM KONTROLÜNÜN VERİMLİLİK ÜZERİNE ETKİSİ

Muzaffer YÜCEL

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Çan Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Çanakkale, TÜRKİYE
muzaffer@comu.edu.tr

(Geliş/Received: 16.12.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 16.04.2022)

ÖZ: Bu çalışmada tarımsal sulama kanallarına kurulması uygun olan vortex tipi türbin tasarlanmıştır. Sistem kontrolünün ve elektrik çıkış değerlerinin istenilen düzeyde olması için ana kumanda scada programı yapılmıştır. Scada ve mikro denetleyici (PLC), kurulan türbin çıkış elektrik değerlerinin (Tam sinüs dalga, 50Hz, 380v) ideal olması için, PID kontrol yöntemi ile tüm değişken parametrelerini denetleyerek sisteme kumanda etmektedir. Sulama kanallarında düşü yüksekliğinin minimum seviyede ve açık kanal olmasından dolayı kurulabilecek en uygun türbin tipi olarak vortex türbin görülmektedir. Kurulan türbinde kontrol, rezervuara gelen suyun debisinin azaltılması veya artırılması ve türbin kanat açısını değiştirerek yapılmıştır. İki farklı kontrolde ideal pozisyonu sistem yazılımında hesaplanarak konumlanması hedeflenmiştir. Tek taraflı kontrol yapıldığında enerji çıkış değerleri ile iki parametre kontrolü yapıldığındaki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bunun yanında sadece iki farklı değişkenin en yüksek verimde sabit tutulduğu durumda enerji çıkış değerlerinin değişimi gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vortex, Scada, Mikrodenetleyici, Su Türbini, Yenilenebilir Enerji

The Effect of Energy Production Control with Scada of Vortex Turbines in Irrigation Channels on Efficiency

ABSTRACT: In this study, a vortex-type turbine suitable for installation in agricultural irrigation channels was designed, and a vortex-type turbine and main control SCADA program were designed to ensure that the system control and electrical output values were at the desired level. Scada and microcontroller (PLC) control the system by controlling all variable parameters with the PID control method to ensure that the installed turbine output electrical values (Full sine wave, 50Hz, 380v) are ideal. The vortex turbine is seen as the most suitable turbine type to be installed due to the minimum height of the irrigation channels and the open channel. In the installed turbine, the control was made by decreasing or increasing the flow rate of the water coming into the reservoir and changing the turbine blade angle. It is aimed to calculate and position the ideal position in the system software in two different controls. When one-sided control is performed, the energy output values are compared with the results when two parameter controls are made. In addition, the change in energy output values was observed only when two different variables were kept constant at the highest efficiency.

Keywords: Vortex, Scada, Microcontroller, Water Turbine, Renewable Energy

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tarımsal sulama kanallarında su akışı, bitkiler ekilmeye başladığı dönemden başlar ve hasat dönemine kadar devam eder. Bu süreç ortalama 7-8 aylık bir dönemdir. Sulama kanalları alt kısmında

tortu birikmesini engellemek için 1-2 m/sn hızla suyun akması sağlanacak şekilde eğim verilerek tasarlanmaktadır. Kanallar debi açısından bakıldığında akıntı büyüklüğüne göre değişebilir, 1m³ -15m³ aralığında değişen sulama kanalları mevcuttur. Sulama kanallarında akıntı hızını düşürmek ve bir alt kot değerine geçmek için savaklar yapılmaktadır. Burada su ortalama 1-2m'lik kot farkı oluşturularak bir alt kota düşürülmektedir. Bu savaklar herhangi bir altyapı maliyeti gerektirmeden vortex türbin kurmak için ideal olan yerlerdir. Savaklara kurulması planlanan türbinler sulamaya engel olabilecek bir durumda oluşturmamaktadır. Aksine var olan potansiyeli enerji elde etmek için kullanmak ekonomik kazanç getirecektir.

Çizelge 1. Teorik hesaplamalardaki denklemlerde kullanılan simgelerin açıklamaları

Table1. Descriptions of symbols used in equations in theoretical calculations

Ortalama akım hızı(m/sn)	V	Net düşü yüksekliği (m)	H
Manning pürüzlülük katsayısı	n	Suyun özgül kütlesi (kg/m ³)	ρ
Enkesit alanı (m ²)	A	Türbin mekanik verim katsayısı	η
Islak çevre(m)	P	Tork	t
Hidrolik yarıçap(m)	R	Dairesel hız (rad/sn)	ω
Kanal taban eğimi	S_0	Kanat boyu(m)	r
Debi miktarı(m ³ /sn)	Q	Tork kuvveti(N)	F
Yer çekim ivmesi	g	Vortex kuyusu akıntı yönlendirme kapakçığı açısı	β
Kanatların önündeki akıntı hızı	u_1	Kanat aç değişimi (pitch)	α
Akıntının kanatlardan sonraki hızı	u_2	Programlanabilir mantık denetleyicisi	PLC
Türbin shaft dakika devir sayısı	N_{rpm}	Ana kumanda görsel yazılım	Scada
Akıntının taşıdığı güç değeri	P_i	Kanat çevrim değeri	η_{kanat}

SULAMA KANALLARI AKINTI HIZI DEĞİŞİMİ (IRRIGATION CHANNELS FLOW RATE CHANGE)

Tarımsal sulama kanallarının en kesitleri genellikle trapez yapıdadır. Bu şekil yapılarında akıntı hızı ideal olduğundan dolayı altta tortu ve çamur birikmesi az olmaktadır.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$Q = AV = \frac{1}{n} \frac{A^{5/3}}{p^{2/3}} S_0^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$



Şekil 1.Türbin tasarımının denendiği ve hesaplamaların yapıldığı Balıkesir/Gönen tarımsal sulama kanalı

Figure 1. Balıkesir/Gönen agricultural irrigation canal where turbine design is tested and calculations

Kanaldaki suyun debi değerini bulunması için kanal sıvı izi kesit alanından birim zamanda geçen sıvı miktarı debi değerini vermektedir. Kanallardaki hızı ve debi değerleri Eşitlik 1' de Manning denklemleri ile bulunmaktadır (Bulu s.43, 2011). Formüldeki n ifadesi kanallarda kullanılan yapı malzemesinin karakteristik katsayısı olarak adlandırılır. Farklı malzemelerden yapılmış kanalların n değerleri Çizelge 1' de listelenmiştir.

Yapılan çalışmada kanal akıntı hızı hesaplamalarında Manning katsayı değeri kanal yapı malzemesi olarak beton kullanıldığından dolayı 0,012 olarak alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 2. Yapay kanallarda malzeme yapısına bağlı olarak değişen Manning katsayısı değeri (s.42 hidroelektrik santrallerin tasarım ve hesapları(Bulu, 2011).

Table2. Manning coefficient value changing depending on the material structure in artificial channels (s.42 hidroelektrik santrallerin tasarım ve hesapları A. Bulu)

KAPLAMASIZ KANALLAR	n		KAPLAMALI KANALLAR	n	
	Toprak	0,016-0,020		Beton	0,013-0,017
Çakıl tabanlı	0,022-0,030	Taban beton şevler taş	0,020-0,025		
İçinde ot büyümüş	0,022-0,033	Taban beton rip-rap şev	0,020-0,030		
Kaya	0,025-0,045	Kanalizasyon borusu	0,012-0,015		
		Kaya kazı beton kaplama	0,017-0,020		

VORTEX HESAPLAMALAR(VORTEX CALCULATIONS)

Bir hidroelektrik santralde üretilebilecek elektriksel ve mekanik enerji hesabı Eşitlik 3 ve Eşitlik 4' deki formül ile hesaplanmaktadır($r = 1000 \text{ kg/m}^3, g = 9,81 \text{ m/s}^2$) (Sritram ve diğ., 2021).

$$P_h(\text{watt}) = gQH = rgQH \quad (3)$$

$$P_{\text{mekanik}} = \eta P_h = \eta rgQH \quad (4)$$

Türbin içerisindeki basınçlı suyun kanatlarda oluşturduğu basınca karşı koyma gücü, frenleme kuvveti, kanatların açılma hızı ile kanat şaftında meydana gelen torkun çarpımıdır (Saleem ve diğ., 2020). Eşitlik 6' da Kanal içerisindeki akıntı, bir hızla sahipse, bir engelle karşılaştığında, engele momentumunu aktarır. Engelin akıntıyı durdurma yönündeki bu etkiye frenleme etkisi denilmektedir. Engel aerodinamik bir yapıyla tasarlanmış bir akıntı türbin kanadı ise taşınan bu momentum kanatlarda bir itme ve kaldırma kuvvetine neden olur. Bu kuvvetlerin bileşkesi kanatlar bir şafta bağlandığında, dönme

etkisi oluşur. Doğrusal olarak kanatlara çarpan akıntı dairesel hareket meydana getirir. Şaftta meydana gelen karşı kuvvet frenleme kuvveti Eşitlik 5' te gösterilmiştir. Vortex kuyusu içerisine giren su, düşü yüksekliği ve basınç değişimine bağlı olarak kuyu duvarlarına teğet hız yaparak aşağı doğru düşme meydana gelmektedir. Bu hareket esnasında kuyunun tam ortasında bir hava boşluğu oluşmaktadır. Teğet hız ile hava boşluğu doğru orantılıdır (Ullah ve diğ., 2020).

$$P_{frenleme} = \tau\omega = rF \omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (5)$$

Gelen akıntının taşıdığı kinetik enerjinin tasarlanan kanat yapısı ile şaftta meydana gelen tork kuvveti ile dairesel harekete dönüşür. Şaftta bağlı olan alternatör mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Bu dönüştürme esnasında kayıplar meydana gelir. Kayıpların oranı verimi belirlemektedir. Eşitlik 6' da de verim, gelen enerjinin elde edilen elektrik enerjisine oranı mekanik verim değerini belirlemektedir.

$$\eta = \frac{P_{h(watt)}}{P_{frenleme}} \% \quad (6)$$

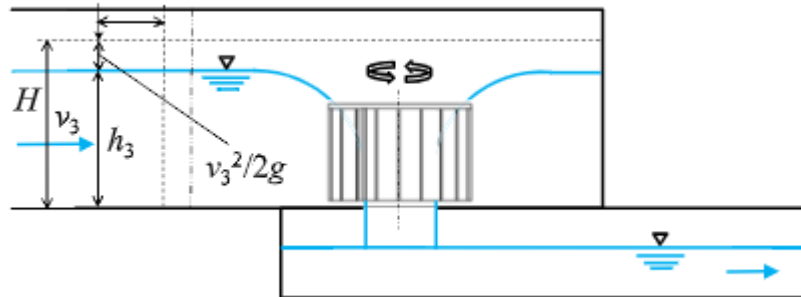
Governor Hesapları (Governor Accounts)

Sistem gelen akıntının kanatlar üzerinden geçerek enerjisini kanatlara aktarma prensibine dayanmaktadır. Kanatlar maksimum enerjiyi üzerine alabilmek için özel tasarlanmış aerodinamik yapıya sahiptir. Kanat açısı değişimi (pitch) kontrol mekanizması sayesinde maksimum enerji üretebilecek ideal açıda konumlandırılmaktadır. Eşitlik 7'de Vortex önündeki akıntı hızı vortex kanalındaki teğet hızına sürtünme ihmal edildiğinde eşit olmalıdır. Vortex kanalında yerçekimine bağlı olarak düşey bir hız oluşmaktadır (Saleem ve diğ., 2020).

$$u_1 = u_2 \quad (7)$$

Yapılan çalışmalarda vortex kuyusunun yüksekliği ile teğet hız arasında Eşitlik 8' deki gibi bir ilişki bulundu (Nishi ve diğ., 2020).

$$H = h_3 + \frac{v_3^2}{2g} \quad (8)$$

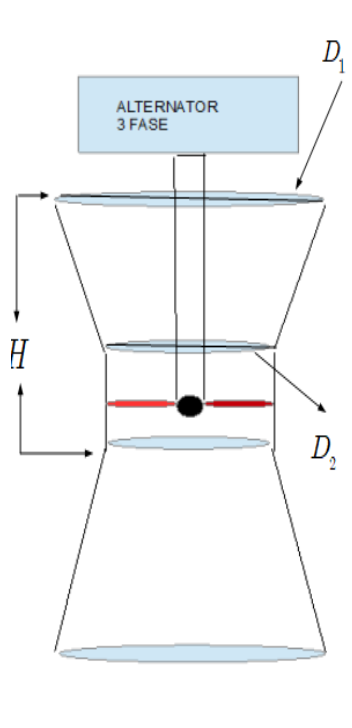


Şekil 2. Vortex türbin düşü yükseklikleri ve akıntı hız değişimi arasındaki ilişki (Nishi ve diğ.,2020).

Figure 2. The relationship between vortex turbine head height and flow velocity variation (Nishi ve diğ.,2020).

Vorteks kuyusunda akıntı hızının artması belirleyici özelliktir. Akıntı ile ilgili yapılan çalışmalarda tork ve elde edilen güç değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir (Dhakal ve diğ., 2014). Vortex kuyusunun tabanına yerleştirilen türbin kanatlarının açısı akıntının hız yönüne dik konumlandırılması verimi

artıracaktır. Bu şekilde akıntı basıncının kanatlara iletilmesi verimi artırmaktadır. Ancak buradaki teğet hız, gelen akıntının miktarına göre yönü değişir. Bunun açılışına sahip olan kanatların kullanılması avantaj sağlar. Vorteks kuyusu ve teğet hızların farklı tarzdaki tasarım davranışlarını bazı araştırmacılar tarafında incelenmiş ve matematiksel modeller çıkarılmıştır (Dhakal ve diğ., 2015).



Şekil 3. Vortex türbin genel yapısı,
Figure 3. The general structure of the vortex turbine,

Şekil 3'deki yön ve açı değerlerine bakıldığında gelen akıntı yönü ve hızı ile çıkan akıntı yönü ve hızı arasında Denklem (9)'da ki gibi trigonometrik oran vardır (Saleem ve diğ., 2020).

$$\frac{u_1}{\sin a_1} = \frac{u_2}{\sin a_2} \quad (9)$$

Eşitlik 10' da kanatlardan önceki ve sonraki akıntı hızı devir (rpm) ve vorteks kuyusu giriş ve çıkış çaplarına göre değişimini göstermektedir. Hızın değerlerinin artması ile şaft devir hızı arasında doğru bir orantı vardır (Guzmán ve diğ., 2021).

$$u_1 = \frac{pD_1 N_{rpm}}{60}, \quad u_2 = \frac{pD_2 N_{rpm}}{60} \quad (10)$$

Kanatlardan önceki ve sonraki hız değişim oranı kanatların verim katsayısını belirlemektedir. Eşitlik 11' de h_b kanat çevrim oranının akıntı hız değişim oranı olarak belirlenmektedir. Eşitlik 13' te $P_{şaft}$ değeri kanatlarda oluşan dönme tork değeri şaft üzerindeki mekanik güç değeridir. Eşitlik 12 ile gösterilen ifadede P_i değeri akıntının taşıdığı güçtür. Vortex kuyusunun derinliği elde edilen enerjiyi artırmaktadır. Bu derinliğe bağlı olarak tabandaki kanat açıları da değişmektedir (Saleem ve diğ., 2020). Bir şafta bağlı olan kanatların aerodinamik yapısından dolayı gelen akıntıyı şaftta dönmeye yönelik bir tork kuvveti oluşturur.

$$\eta = \frac{u_2}{u_1} = \frac{P_{şaft}}{P_i} \% \quad (11)$$

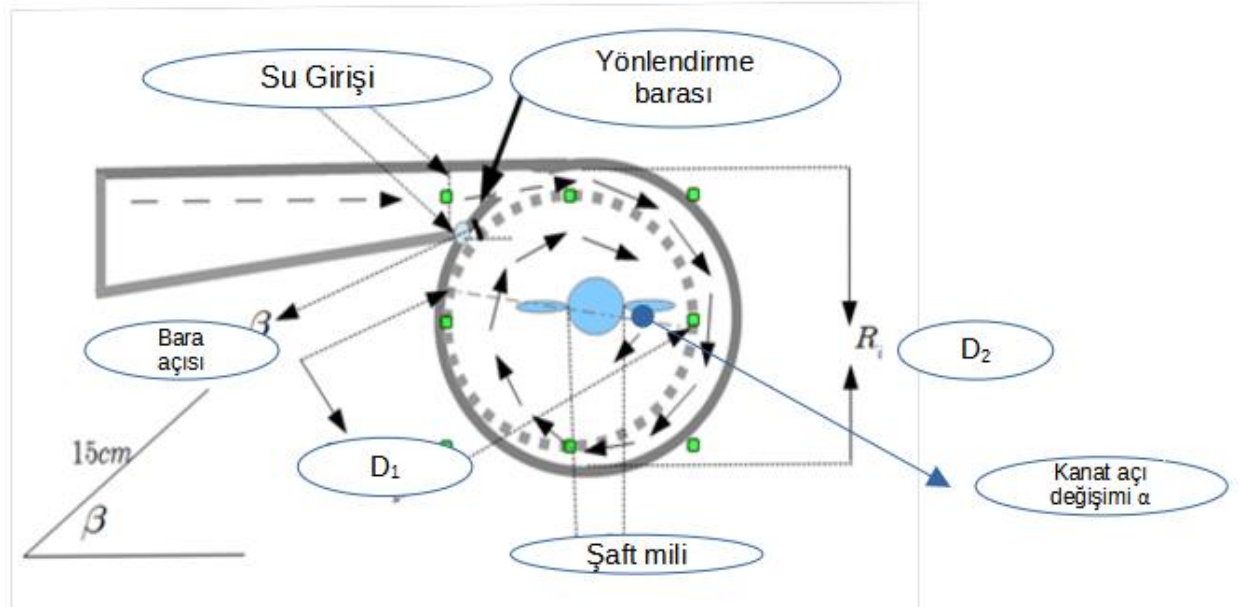
$$P_i = \frac{1}{2} r Q u_1^2 = r Q g H \quad (12)$$

$$P_{\text{şaft}} = \tau \omega \quad (13)$$

MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Materyal (Material)

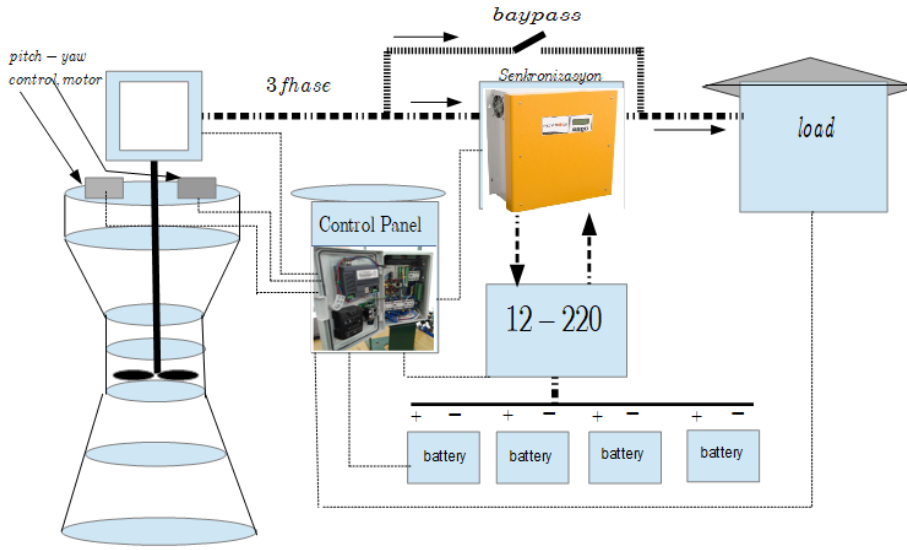
Yapılan çalışmada alternatör çıkışındaki frekans, gerilim, akım, aktif güç, reaktif güç değerlerinin değişimi sürekli kontrol edilmektedir. Bu değerlerin istenilen değer aralığında olması için türbin kanat (pitch) açısı değiştirme step motoru ve vortex akıntı girişi yönlendirme kanatçığı hareket step motoru ile kontrol edilir. Step motorların hızları ve pozisyonları, türbin çıkış veri değerlerinin değişim hızına ve ivmesine göre, PID kontrol ile yapılmaktadır.



Şekil 4. Tasarlanan türbin su girişi kısmı ölçü değerleri

Figure 4. Measured values of the designed turbine water inlet

Şekil 4' te gösterildiği gibi Türbinde su girişinin sağlandığı daralan bir kanal bulunmaktadır. Kanalın vortex kuyusu girişinde debi kuyuya giren akıntı miktarını ve akıntı yönlendirme kapakçığı bulunmaktadır. Bu sayede akıntı vortex kuyusu duvarlarında teğet hızı artmaktadır. Buna bağlı olarak vortex kuyusundaki akıntı hızının vektörel yönü değişmektedir. Teğet hızı yönü türbin kanatlarına dik açıda çarpması durumunda maksimum verim elde edilebilmektedir. Kanatların akıntı teğet hızına dik yönelmesi için yönelme (pitch) açıları bir step motor tarafından sağlanmaktadır. Yönlendirme barası kapakçığı ve kanat yönelme açısı (pitch) değişimleri başlama konumunda sıfır pozisyonundadır. Kapakçık açılmaya başladığında kanat açıları da buna senkron açılmaya başlar enerji çıkış değeri eğimi sıfır olunca her iki kontrol mekanizması durur. Durduğu bu nokta maksimum verimin elde edildiği noktadır.



Şekil 5. Türbin elektrik diyagramı gösterimi

Figure5. Turbine electrical diagram representation

Sistemde yazılımı yapılan PLC ve SCADA, üretilen elektrik değerleri ve şebeke elektrik değerlerini sürekli kontrol eder. Buna bağlı olarak gelen su yönlendirme barasını ve kanat aç değişimini kumanda eder. Şekil 5' de gösterilen sistemde üretilen elektrik kullanımı için yük kontrol modeli (load) tasarlanmış ve evin içerisinde olan elektrikli eveşyaları devreye alınıp çıkarılarak türbin davranışları incelenmiştir. Elektrik doğru akıma (DC) sonra tekrar 220V, 50Hz frekans değerine dönüştürülmektedir. Elektrikli cihazların devreye alınması sırasında frekans düşmesi yaşanmaması için akülerdeki enerjiden destek alınmaktadır. Sistem 2 farklı şekilde kontrolü yapılmaktadır.

a)= By-Pass modu

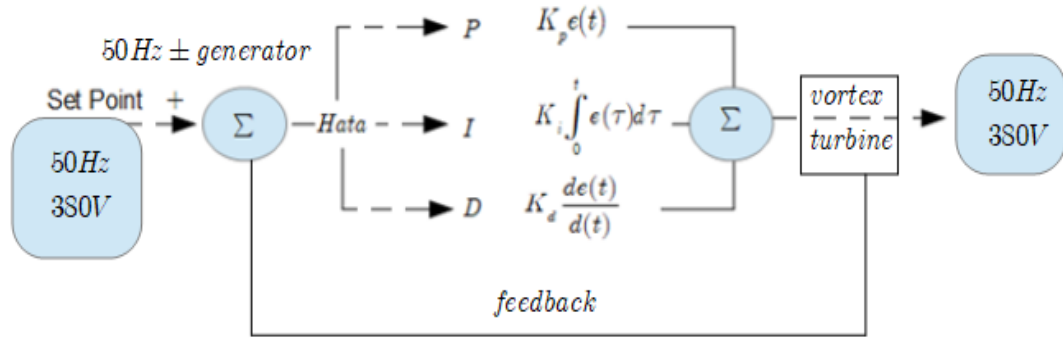
b)= Senkronizasyon modu

Yapılan çalışma ve SCADA yazılımı her iki farklı yöntemini de denetlemektedir. Eğer frekans değişim değeri verilen tolerans değerinin üzerine çıkarsa sistem akü destekli çalışır. Frekans tolerans değerleri arasında kalırsa By-Pass modun da ve sürekli SCADA denetiminde çalışmaktadır. Bundan sonraki çalışma By-Pass modu üzerinden devam edecektir.

Method(Method)

Kontrol Otomasyonu (PID)

Türbin kontrolü, kullanıma gönderilen elektriğin frekans ve gerilim değerleri sürekli kontrol edilir. Bu değerlerin grafiğindeki değişimin ivme değerine bakılarak bu ivmenin sıfır olması için yönlendirme barası hareket motoru ve kanat aç değişimini sağlayan pitch kontrol motorunun hız ve adım değerleri PID kontrol ile denetimi yapılmaktadır. Ancak PID kontroldeki kazanç değerleri sistemin set değeri çıkış frekans değerlerine bağlı olarak 50Hz, 380V seviyesinde sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Elektriğin bağlı olduğu evde, elektrik aletlerin güç değerleri farklı olduğundan, yüke giren aletler üretilen frekansta değişim oranına PID kazanç değerleri (K_p , K_i , K_d) türbin devrinin frekans değerine eşit olması için sürekli değişmektedir.



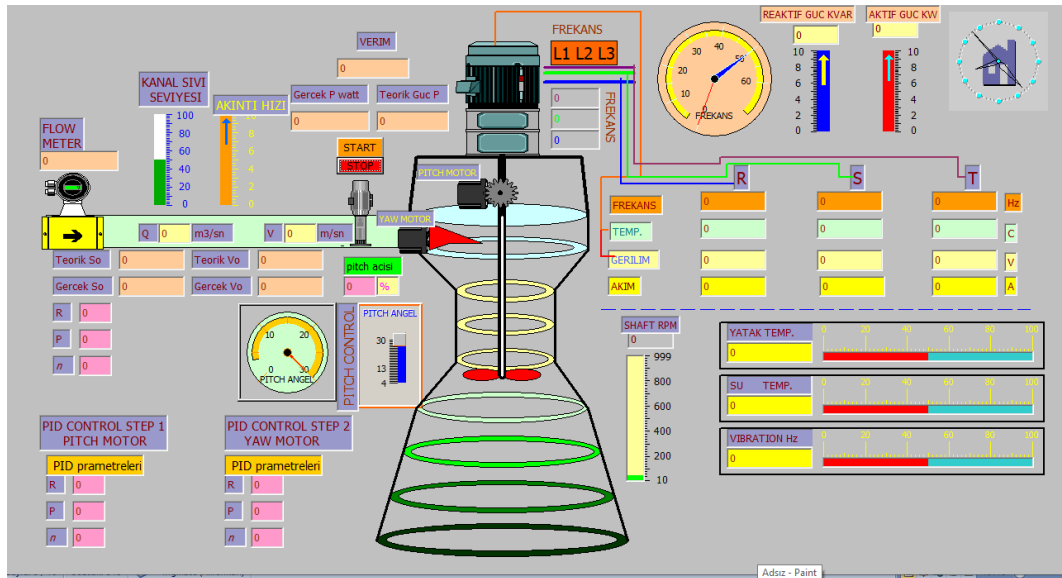
Şekil 6. PID kontrol sisteminin kontrol mekanizması aşamaları gösterimi

Figure 6. Control mechanism stages illustration of PID control system

PID Sistemli kontrollerde temel prensip set-point değerinde olması gereken değer ile alternatör çıkışındaki değer arasındaki hata değişim grafiği; oransal, türevsel, ve integral yöntemi ile denetlenerek, olması gereken set-point değerinde sabit tutulmaya çalışılır. Şekil 6'da bu değerlerin sisteme katkı değerlerinin hesaplama yöntemi gösterilmiştir.

Scada (Ana Kumanda Görsel Ekran)(Scada (Main Control Visual Display))

Türbin kontrolü mikro denetleyici (PLC) ile yapılmaktadır. Buna bağlı olarak türbinde meydana gelen değişiklikler ve olması gereken değerler bir ana kumanda merkezi yazılımı (scada) ile denetlenmektedir. Şekil 7' de türbin ana kumanda merkezi ekran görüntüsü üzerindeki türbin ile ilgili tüm verilerin izlenimi gösterilmektedir.



Şekil 7. Türbin kontrol ana kumanda merkezi (scada) yazılım ana ekran görünümü

Figure 7. Turbine control main control center (scada) software main screenview

DENEYSEL BULGULAR (EXPERIMENTAL FINDINGS)

Akıntı hızı değişimi (Current Velocity Change)

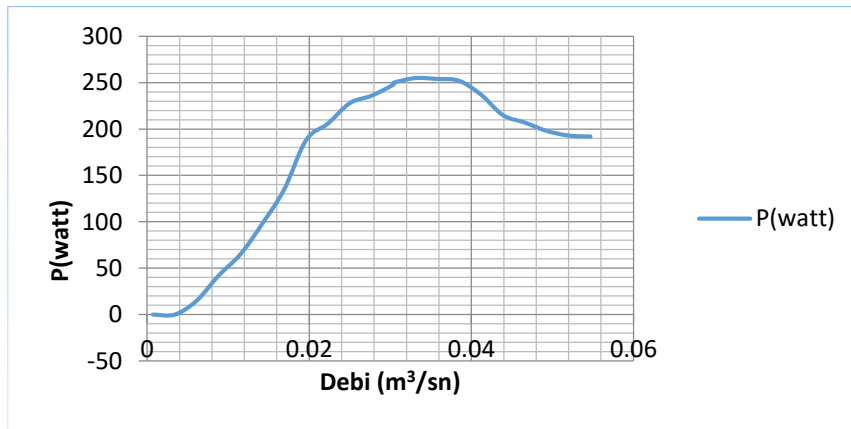
Denklem 1 ve 2' de verilen formül ile akıntı hızı ve debi değişimini hesaplamak için Manning denklemleri kullanılmıştır. Sistemin kurulu olduğu kanaldaki akıntı hızı $V=0,714\text{m/sn}$, $Q =0,054\text{m}^3/\text{sn}$ debi miktarı da bulundu. Aşağıdaki Şekil 8'da tasarlanan türbin sulama kanalındaki savak kısmına kurulmuştur.



Şekil 8. Kurulumun yapıldığı türbin farklı bölgelerden çekilmiş görüntüsü
Figure 8. The image of the turbine, where the installation is made, taken from different regions

Debi – Güç Değişimi (Flow–Power Variation)

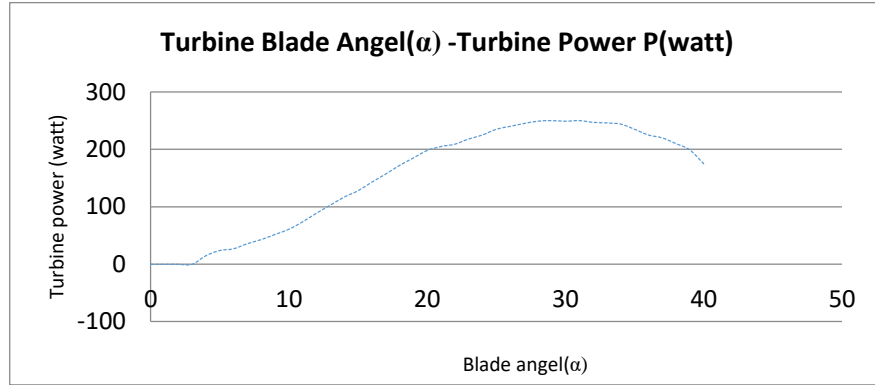
Şekil 9' da gösterilen grafikte debi değerinin artması elde edilen elektrik enerji değerinin artmasını sağlamaktadır. Ancak bu durum debinin artması sürmesine rağmen elde edilen elektrik enerjisi sabit olup artmamaktadır. Daha sonra bu değer bir miktar azalıp sabit olarak devam etmektedir. Sonuç olarak debinin artması vortex merkezindeki hava boşluğunun azalması ile suyun dönme etkisi azalır, burada enerji değeri de azalmaktadır.



Şekil 9. Vortex Türbin'de debi miktarına bağlı olarak elde edilen enerji miktarı değişimi
Figure 9. Change in the amount of energy obtained in the vortex turbine depending on the amount of flow

Türbin Kanat Açısı (pitch) (α) – Elektrik Enerjisi (watt)(TurbineBladeAngle (pitch) (α) – ElectricalEnergy (watts))

Mikro denetleyici (PLC) kontrollü türbinde PID kontrollü step motor kontrol çıkışı ve şebeke yük girişindeki frekans ve gerilim değerlerini sürekli takip ederek kontrol yapar. Bu kontrolü step motora bağlı olan türbin kanat açılarını değiştirerek devir kontrolünü gerçekleştirir. Şekil 10' daki gösterimde kanat açısı değişiminin 30° değerlerinde maksimum güç elde edildiği gözlemlenmiştir. Burada üretilen maksimum gücün (250w), ev elektrik aletleri ile kullanıldığında durum bu şekildedir. Örneğin 100w enerji kullanıldığında 50hz frekansı yakalamak için kanat açılarını değiştirmektedir. Kanat açıları(α) 15-17° değerinde olmaktadır.

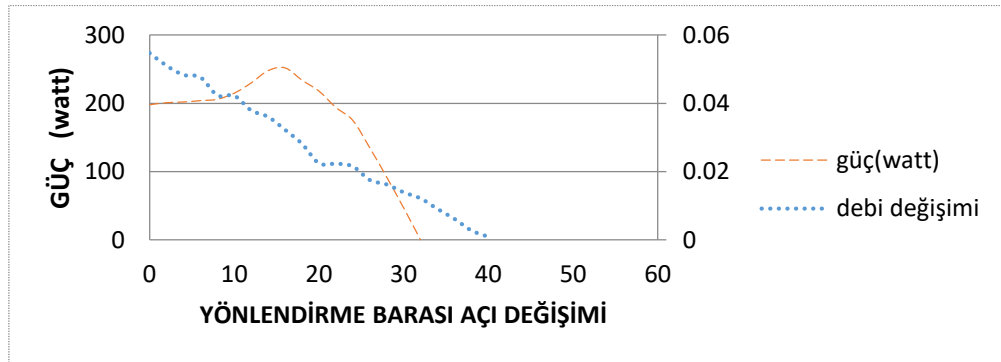


Şekil 10. Türbin kanat açısı değişimine bağlı gerçekleşen elektrik enerjisi değişimi gösterimi

Figure 10. Display of electrical energy change due to turbine blade angle change

Yönlendirme barası(β) – Güç(watt)- Debi(m^3/sn) değişimi (Directionbus(β) – Power(watt)- Flow(m^3/sec) change)

Bu çalışmada, türbin vortex kuyusuna su girişini kontrol eden yönlendirme barası(β) ve kanat açısı değişimi(α) ile kontrol sağlanmaktadır. Şekil 11' deki gösterimde yönlendirme barası ($\beta = 0^\circ$) değerinde kontrol maksimum su girişi olmakta ancak vortex etkisi görülmemektedir. Ancak açısı değeri ($\beta = 17^\circ$) gibi değerlerde maksimum vortex etkisi görüldüğünden güç değeri maksimum seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Ancak ($\beta = 17^\circ$) üzerinde olduğu kapanma durumunda akıntı debisi değeri azaldığından güçte bu oranda düşmüştür. Yapılan çalışmalarda türbin verimi %43 olarak bulunmuştur. Çift yönlü kontrol mekanizması kullanıldığında bu verim değeri %47,28 değerlerine çıkmıştır (Sritram ve diğ., 2016).



Şekil 11. Vortex türbin 'deki debi(m^3/sn) değeri – güç – yönlendirme barası(β) açısı değişim grafiği

Figure 11. Flow rate (m^3/sn) value in Vortex turbine–power–directionbus (β) angle change graph

Yüke Bağlı Frekans Değişimi(Frequency change depending on load)

Sistemde frekans kontrolü yapılması denetlemek için 10w gücünde rezistansları devreye bağlayarak denemeler yapıldı. 10w gücündeki rezistans devreye alındığında frekans değerinde meydana gelen değişim ve alternatörün tekrar aynı frekans değerine (set) gelmesi için geçen süreler Çizelge 3 de gösterildiği gibi gözlemlendi. Alternatör çıkışına kısa devre olarak bağlana 10w rezistansların sayısı arttıkça veya güç artışı oranında kontrolde ve set değerine geçiş süreci uzamaktadır. Bu durum su basıncının artması ile aç kontrolü yapan motorların yavaşlaması ile alakalıdır. Bunun yanında üretilen güç ihtiyacı arttıkça kontrolde zorlaşmaktadır.

Çizelge 3. PLC ile(α) ve (β) çift kontrol 20Hz alternatör çıkış frekansı +10W kısa devre ekleme sonucu frekans değişimi ve kontrol sisteminin set değerine ulaşmak için geçen zaman değeri

Table 3. Doublecontrolwith PLC (α) and (β) 20Hz alternatör output frequency +10W short circuit addition, frequency change and time taken to reach the set value of the control system

(α) ve (β) çift kontrol		
Devreye bağlanan rezistans(watt)	Frekansdeğeri(Hz)	20Hz frekansa set olma Süresi (sn)
0	20(set değeri)	
+10	19,75	1,4
+10	19,74	1,6
+10	19,71	1,9
+10	19,68	2,1
+10	19,65	2,19
+10	19,61	2,28
+40W bilgisayar	19,56	2,31
+80W elektrik motoru	19,4	2,32

SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Bu çalışmada vortex türbin, su girişi kontrolü (β) ve kanat açısı değişimi (α) olmak üzere iki farklı kontrol yöntemi ile elektrik enerjisi değerleri kontrol altında tutulmaya çalışılmıştır. Sistem için bir scada programı tasarlanmış bu program ile tüm sistemin kontrolünün yapılabildiği ve denetlendiği gözlemlenmiştir. Üretilen elektrik enerjisi bir ev ortamında olabilecek elektrikli aletlerin devreye alınması ile frekans değişiminin mikro denetleyici (PID) yazılım ile 1-1,5 saniye gibi çok kısa sürede tekrar düzenli hale gelerek yükün doğrudan türbin üzerinden desteklendiği görülmüştür. Tek parametrelili kontrol yapıldığında (β) frekans değerinin \pm % 15 değiştiği gözlemlenmiştir. Sadece kanat açısı değişimi yapıldığında \pm % 9 oranında değişim göstermiştir. (β)su girişi kontrolü ve (α) kanat açısı değişimi kontrolü yapıldığında \pm % 1,2 gibi değerler arasında kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum 50Hz şehir şebekesi frekans değişim değerleri arasında olduğundan kabul edilebilir bir durumdur. SCADA ve Microdenetleyici (PLC) yazılım elektrik çıkış parametreleri frekans (Hz), güç(watt), gerilim(Volt) grafiksel değerlerini okur, değişim miktarını, eğimini hesaplar ve istenilen değerden sapma olduğunda giriş parametresi (β) ve (α) değerlerin step motorlarına PID yöntem ile müdahale eder. Sistem PLC program tarama süresi kadar kısa bir zaman aralığında müdahale ederek kontrol altında tutar. Ancak burada mekanik tasarımda(β)ve (α) değişimini sağlayan step motorlarının hızının maksimum olması için yüksek tork ve minimum ve maksimum dönüş değerlerinin kısa olması gerekmektedir. Buradaki sistemde \pm % 1,2 hata değeri step motorların minimum ve maksimum hareket zamanından kaynaklanmaktadır. Bunu önlemek için farklı teknikler düşünülmelidir.

Yapılan çalışmada su yönlendirme barası ve kanat açısı değişimi güç çıkışı scada ile denetlenerek maksimum veri çıkışının sağlanabilmesi için 2 farklı kontrol mekanizmasını en iyi konumda olması yazılım ile sağlanmıştır. Scada kontrol sonucunda %47,28 verimle çalıştığı gözlemlenmiştir. Tek yönlü kontrol yapılan sistemlerde bu verim değeri %37 civarında olduğu görülmüştür. İki farklı yöntem ile kontrol sisteminde daha yüksek verim ve ideal (50Hz) frekansa ulaşılmıştır.

Tasarlanan sistem ile ulusal şebekeye bağlantısı olmayan bölgeler için mikro pilot şebeke özelliği taşıdığı ve kullanılabilir olduğu ispatlanmıştır. Sistem sulama kanalları, dere, ırmak ve çay kenarları gibi düşü değeri az olan bölgelerdeki kurulan tesislerde kullanıma uygundur.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- Bulu A., 2011, "Hidro elektrik Santrallerin Tasarım ve Hesapları", *Okan Ünv. Mühendislik Fak.*(2011)
- Guzmán, V.J., Glasscock J.A., 2021, "Analytical solution for a strong free-surface water vortex describing flow in a full-scale gravitational vortex hydropower system", *Water Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.wse.2021.03.004>.
- Dhakal, S., Timilsina, A. B., Dhakal, R., Fuyal, D., Bajracharya, T. R., Pandit, H. P., Amatya, N., 2015, "Mathematical modeling, design optimization and experimental verification of conical basin: gravitational water vortex power plant", *World's largest hydro conference*, at Portland, or, USA; July 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.1762.0083
- Dhakal, S., Nakarmi, S., Pun, P., Thapa, A. B., Bajracharya, T. R., 2014, "Development and testing of runner and conical basin for gravitational water vortex power plant", *Journal of the Institute of Engineering*, Cilt10, Sayı1, ss. 140-148.
- Kadu, C. B., Patil, C.Y., 2016, "Design and Implementation of Stable PID Controller for Interacting Level Control System", *Procedia Computer Science*, Cilt2016, ss. 737-746, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.03.097>.
- Nishi, N., Suzuo, R., Sukemori, D., Inagaki, T., 2020, "Loss analysis of gravitation vortex type water turbine and influence of flow rate on the turbine's performance", www.elsevier.com/locate/renene, *Renewable Energy*, Cilt155, Sayı 2020, ss. 1103-1117.
- Saleem, A.S., Cheema, T.A., Ullah, R., Ahmad, S.M., Chattha, J.A., Akbar, B., Park, C.W., 2020, "Parametric study of single-stage gravitational water vortex turbine with cylindrical basin", www.elsevier.com/locate/energy, *Energy*, Cilt 200, Sayı 2020, ss. 117464.
- Sritram, P., Suntivarakorn, R., 2021, "The Efficiency Comparison of Hydro Turbines for Micro Power Plant from Free Vortex", *Energies*, Cilt 14, Sayı 23, ss. 7961, <https://doi.org/10.3390/en14237961>.
- Sritram, P., Suntivarakorn, R., 2016, "The effects of blade number and turbine baffle plates on the efficiency of free-vortex water turbines", *Pongsakorn Wichian and Ratchaphon Suntivarakorn / Energy Procedia*, Cilt 100, Sayı 2016, ss. 198 – 202.
- Ullah, R., Cheema, T.A., Saleem, A.S., Ahmad, S.M., Chattha, J.A., Woo Ç., 2020, "Preliminary experimental study on multi-stage gravitational water vortex turbine in a conical basin", *Renewable Energy*, Cilt145, Sayı2020, ss. 2516-2529.