



Makale / Research Paper

**Rüzgâr Elektrik Santrallerinin Kontrolü İçin Kullanılabilecek
Doğrulama Kod Kütüphanesi Geliştirilmesi**

İzzet ALAGÖZ^{1a*}

¹Elektrik Üretim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü, Genel Müdürlük, Ankara/TÜRKİYE
izzetalagoz@hotmail.com

Received/Geliş: 16.02.2021

Accepted/Kabul: 02.05.2021

Öz: Rüzgâr elektrik santrallerinde (RES) karşılaşılan önemli sorunlardan biri, kontrol sistemlerindeki standartlaşma eksikliğidir. Bu nedenle üretici ve işletmeciler ya dış kurumlara bağımlı kalmakta ya da rekabetçi olabilme ve fark yaratabilme adına kendi yazılımlarını geliştirmektedir. Mevcut soruna çözüm olarak bu çalışmada, herhangi bir rüzgâr elektrik santralinin kontrolünde kullanılabilecek, pratik uygulamaları olan doğrulamalı kod kütüphanesi geliştirilmesi hedeflenmiş ve bu sayede markaya bağımlılığın en aza indirilmesi öncelenmiştir. Çalışmada geliştirilen IZARES adlı sistem, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) standartları ile uyumlu olup rüzgâr enerjisi, kontrol sistemleri ve standardizasyon alanlarında yapılan çalışmaların bir kesişim noktası durumundadır. Bundan sonraki çalışmalara öncü olabilecek ve sonradan herhangi bir türbin üreticisinin sisteme sorunsuz intibakına olanak tanıyacak olan bu doğrulamalı kod kütüphanesi sayesinde açık bir sistem elde edilerek standartlaşma yönünde bir katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr türbinleri, kontrol sistemleri, standartlaştırma, doğrulama, güç faktörü.

**Developing Validated Code Library for
Controlling Wind Power Plants**

Abstract: One of the major problems encountered in wind power plants (WPP) is the lack of standardization in the control systems. Therefore, manufacturers and operators either remain dependent on external institutions or develop their own software in order to be competitive and make a difference. As a solution to the current problem, in this study, it was aimed to develop a verified code library with practical applications that can be used in the control of any wind power plant, thus minimizing brand dependency. The system named IZARES developed in the study complies with the International Electrotechnical Commission (IEC) standards and is an intersection point of studies in the fields of wind energy, control systems and standardization. This library of validated code, which can be a pioneer in the next studies, and which will allow any turbine manufacturer to adapt to the system without any problems, has been used to obtain an open system and contribute towards standardization.

Keywords: Wind turbines, control systems, standardization, validation, power factor.

1. Giriş

Dünyanın birincil enerji kaynakları hızla tükenmekte olup var olan fosil yakıtların elde edilme maliyetleri de gün geçtikçe artmaktadır. Birincil enerji kaynaklarını çeşitlendirme veya dışa bağımlılıklarını en aza indirmeye odaklı enerji politikalarına sahip ülkeler gibi Türkiye’de de yenilenebilir enerji kaynaklarına eğilim artış göstermektedir. Rüzgâr teknolojileri de bunların arasında önemli bir yere sahiptir. Bunun sonucu olarak da rüzgâr elektrik santrali kontrol sistemlerinde standartlaşmanın önemi her geçen gün artmaktadır. Üretici ve yatırımcılar yazılım konusunda dışa bağımlılıklarının önüne geçebilme ve rekabet unsurunu işletebilme adına kendi

Bu makaleye atıf yapmak için

Alagöz, İ., “Rüzgâr Elektrik Santrallerinin Kontrolü İçin Kullanılabilecek Doğrulama Kod Kütüphanesi Geliştirilmesi”, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8 (2); 841-858.

How to cite this article

Alagöz, İ., “Developing Validated Code Library for Controlling Wind Power Plants”, El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8 (2); 841-858.
ORCID ID: *0000-0002-7167-8340

yazılımlarını geliştirmektedir. Ancak bu yazılımlar birbirleri arasında kesin farklılıklar ortaya koyduğundan, bir kontrol sistemi için yazılan bir program diğer kontrol sisteminde uygulanamamakta ve bu durum da standardizasyona ulaşmanın önünde önemli bir engel teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, açık bir sistem geliştirilmiş olup üç ana soruna katkı sağlanması hedeflenmiştir [1];

- Yatırımcıların dışa bağımlılıklarının sadece türbin kalemine indirgenerek satın alma sonrası bu bağımlılığın ciddi oranlarda azaltılması.
- Türbin üreticilerini yazılım konusunda özgürlüğüne kavuşturarak otomasyon firmalarına olan bağımlılıklarının azaltılması.
- Geliştirilen kod kütüphanesinin standart bir uygulamaya doğru gitmesi durumunda, bir santralde tecrübe edinen personelin başka santrallerde de benzer hizmetleri yürütebilmesine kolaylık sağlanması.

Çalışmada, daha yaygın olan küçük ve orta ölçekli (1000 kW ve daha küçük) rüzgâr türbinleri hedef seçilmiştir. Bu türbinlerin yatırım maliyetlerinin düşük olması, kontrol sistemi bütçelerinin de dar olması anlamına geleceğinden, ihtiyacın daha çok hissedildiği bir noktada çözüm üretmenin daha hedef odaklı olacağı düşünülmüştür. Ayrıca bu çalışmada, daha kararlı ve güvenilir bir kontrol imkânı sunan aktif kontrol sistemi tercih edilerek, şebekeye bağlı ve üretilen enerjiyi direkt çıkışa veren doğrudan uyarımlı sistemler temel alınmıştır. Donanım seçiminde yapılan tercihlerde ise geliştirilen sistemin mümkün olduğunca farklı marka ve model ile uyumlu olması amaçlanarak, rüzgâr elektrik santrallerinin kontrol sistemlerinde standartlaşma çalışmalarına, özgün ve öncül bir çalışma olarak literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

2. Rüzgâr ve Rüzgâr Türbinleri

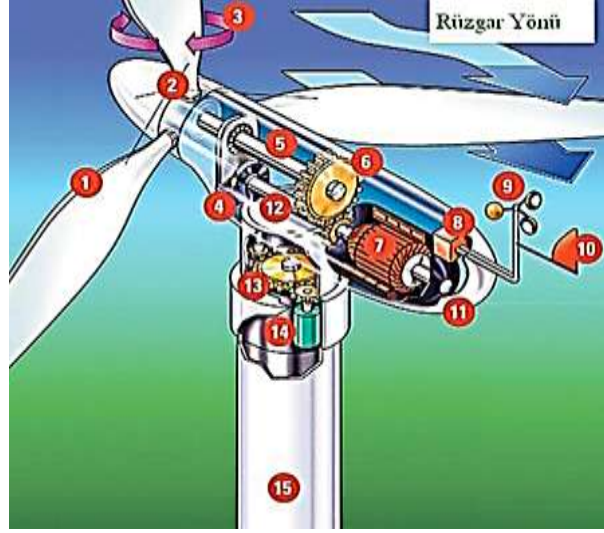
Dünyadaki enerjiye olan ihtiyaç ve talepler, diğer enerji gruplarını elektrik enerjisine dönüştürme yönünde zorunlu kılmaktadır. Birincil enerji kaynaklarının sınırlı oluşu ve çevreye verdiği zararlar dikkate alındığında, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 1. Yatay eksenli, önden rüzgârlı, üç kanatlı, durdurmalı ve değişken hızlı rüzgâr türbini

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi olan rüzgâr; kutuplar ile tropik alanlar arasındaki ısı farkından kaynaklanan küresel ısı transferidir. Rüzgârın ana kaynağı güneştir ve güneş var oldukça rüzgârda var olacaktır. Rüzgâr bu şekilde sürekli var olduğundan kaynak tüketilmesi de söz konusu olmayacaktır. Lakin değerlendirilmediği sürece varlığı sadece bir doğa

olayı olarak kalacaktır [2]. Rüzgâr türbinleri, rüzgârın sahip olduğu kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Rüzgâr türbinleri üzerine ek bir yük getirmemesi ve kanatların tüm rüzgâr hızlarında neredeyse sabit atalet momentine sahip olması sebeplerinden ötürü türbinlerde en çok rastlanan kanat sayısı üçtür [3]. Bu çalışmada da Şekil 1’de görülen; yatay eksenli, önden rüzgârlı, üç kanatlı, durdurmalı ve değişken hızlı türbinler temel alınmıştır [4]. Temel alınan bu rüzgâr türbininin mekaniksel ve elektriksel parçaları ise Şekil 2’de görülmektedir [5].



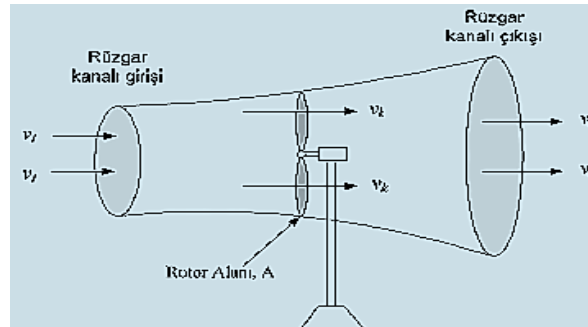
Şekil 2. Rüzgâr türbini ana öğeleri

Şekil 2’de numaralarla ifade edilen türbin parçaları;

- | | | |
|-------------------|-----------------------------|---------------------|
| 1. Kanatlar | 6. Hız ayarlaması dişlileri | 11. Nacelle |
| 2. Rotor | 7. Jeneratör | 12. Yüksek hız mili |
| 3. Pitch | 8. Kontrolör | 13. Yön sürücü |
| 4. Fren | 9. Anemometre | 14. Yön motoru |
| 5. Düşük hız mili | 10. Yönlendirici | 15. Kule |

2.1. Rüzgâr Gücü

Rüzgâr türbinleri ile ilgili ilk teorik çalışma, Göttingen Üniversitesinde Albert Betz tarafından yapılmıştır. Betz; rüzgâr türbinlerini, göbeksiz ve sonsuz kanatlı olduğunu veya diğer bir ifadeyle ideal olduğunu varsayarak hesaplarını yapmıştır. Betz’in teorisine göre, rüzgâr türbinlerinin güç ve performans hesapları aşağıdaki gibi açıklanmaktadır [6].



Şekil 3. Rüzgâr kanalı boyunca oluşan rüzgâr hızları

Rüzgâr türbinlerinde kanatlar tarafından yakalanan maximum güç; Şekil 3'te görüldüğü gibi, rüzgâr kanalı girişi ile çıkışı arasındaki kinetik enerjinin farkıdır (Eş.1) [7].

$$P_{\max} = \frac{1}{2} m (v_i^2 - v_o^2) \quad (1)$$

- P_{\max} : Rüzgârdan elde edilebilecek maksimum güç (W)
 m : Birim zamanda akan hava kütle miktarı (kg/s)
 v_i : Kanat girişlerindeki rüzgâr hızı (m/s)
 v_o : Kanat çıkışlarındaki rüzgâr hızı (m/s)

Birim zamanda akan hava kütle miktarı ise havanın yoğunluğu, kanatların süpürme alanı ve kanat düzlemindeki rüzgâr hızı ile orantılıdır (Eş.2).

$$m = \rho S v_k \quad (2)$$

- ρ : Hava yoğunluğu (kg/m³)
 S : Kanatların süpürme alanı (m²)
 v_k : Kanat düzlemindeki rüzgâr hızı (m/s)

Kanat düzlemindeki rüzgâr hızının değeri, kanat girişi ile kanat çıkışındaki rüzgâr hızının ortalamasıdır (Eş.3).

$$v_k = \frac{1}{2} (v_i + v_o) \quad (3)$$

Eş.2 ve Eş.3'ü, Eş.1'de yerine konulduğunda Eş.4 elde edilir;

$$P_{\max} = \frac{1}{2} \rho S \frac{1}{2} (v_i + v_o) (v_i^2 - v_o^2) \quad (4)$$

Eş.4 düzenlendiğinde ise Eş.5'e ulaşılır;

$$P_{\max} = \frac{1}{2} \rho S v_i^3 \left[\frac{1}{2} (1 + v_o/v_i) (1 - v_o^2/v_i^2) \right] \quad (5)$$

Eş.5'ten elde edilen Eş.6'da; rüzgârdan elde edilen maximum gücün, kanat girişlerindeki rüzgâr hızının küpü ile orantılı olduğu görülmektedir.

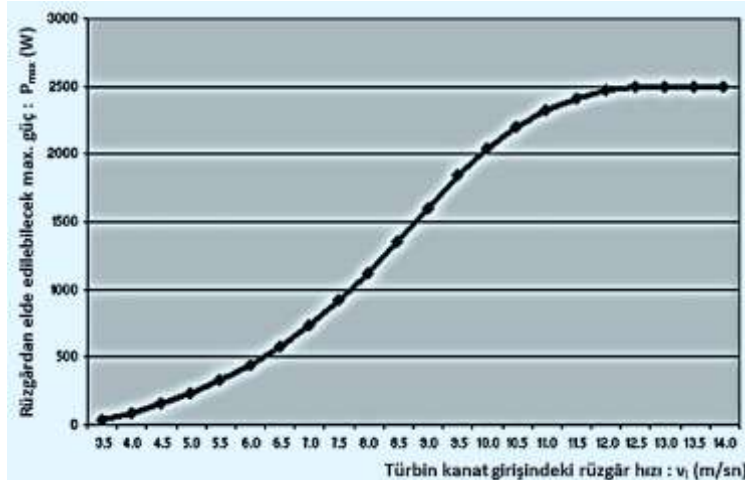
$$P_{\max} = \frac{1}{2} \rho S v_i^3 c_p \quad (6)$$

$$c_p = \frac{1}{2} (1 + v_o/v_i) (1 - v_o^2/v_i^2) \quad (7)$$

Eş.7'de yer alan c_p ise türbin güç faktörü olup rüzgârdan elde edilebilecek maksimum gücü belirten kavramdır. Eş.7'deki ifadenin türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde ise $v_o/v_i = 1/3$ değerinde güç faktörü maksimum 16/27 değerini alacaktır. Buna Betz Limiti adı verilir. Bu demektir ki, rüzgârdan elde edilebilecek maksimum güç, toplam rüzgâr gücünün 16/27'sidir. c_p değeri iki kanatlı türbinler için yüksek hızlarda 0.5'in altındadır ve daha fazla kanatlı rüzgâr türbinlerinde düşük hızlarda 0.2 ile 0.4 arasında değişmektedir. Pratik olarak maksimum rotor verimi 0.5 olarak alınırsa birim süpürme alanı için rüzgâr türbininin maksimum güç çıktısı Eş.8'deki gibi basit bir ifade ile tanımlanabilir [8].

$$P_{\max} = \frac{1}{4} \rho v_i^3 \quad (8)$$

Şekil 4'de ise bir rüzgâr türbininin, rüzgâr hızını rüzgâr gücüne çevirme oranının istatistiksel sonuçları görülmektedir [9].



Şekil 4. Rüzgâr türbininde güç-rüzgâr hızı eğrisi

Türbin 4 m/s rüzgâr hızında devreye alınır, 14 m/s rüzgâr hızına kadar çıkış gücü çizgisel olarak artar ve 25 m/s rüzgâr hızına kadar çıkış gücü sabit kalır. 25 m/s rüzgâr hızı aşıldığında ise türbin devre dışı olur. Kanatların boyları, tasarım sonrası sabit olduğu için rüzgâr gücüne katkısı da sabittir.

3. Rüzgâr Türbini Kontrol Sistemleri

Türbin dünyasının önemli isimlerinden olan Enercon Firması ürettiği rüzgâr türbinlerinde, Moeller marka XC-100-FC modüler programlanabilir mantık denetleyiciyi kullanılacağını beyan etmiştir [10]. Yine yazılım sektörünün öncülerinden olan National Instruments Firması tarafından yayınlanan bir çalışmada ise rüzgâr türbin kontrol metotları ile olası rüzgâr değerlerine karşı uygulanacak kontrol stratejileri ortaya koyularak ana kontrol parametreleri belirlenmiş lakin bu parametrelerin programlama işi dış kurumlara bırakılmıştır [11]. Bu örnekler, bu çalışmada belirtildiği gibi üretici firmaların dışa bağımlılıklarının önemli birer delili niteliğindedir. Hem üretici hem de yatırımcı tarafında yaşanan bu dışa bağımlılık neticesinde, rüzgâr türbini kontrol sistemlerinde standardizasyona gidilmesinin kaçınılmaz bir ihtiyaç olarak sektörün karşısına çıktığı görülmektedir.

3.1. Standartlar

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu, programlanabilir mantık denetleyicilerin programlama dilleri için IEC 61131 standardını tanımlamıştır. Bu standart, elektronik otomasyon kontrol sistemlerinde yazılım belirleme noktasında temel olarak birtakım prensipler ve tasarım spesifikasyonları tanımlayarak her marka ve model için farklılıkları ortadan kaldırmaya katkı sağlamıştır [12]. Rüzgâr elektrik santrallerinin kontrol sistemleri için ise kabul görmüş uluslararası bir standart yoktur [13]. Rüzgâr elektrik santralleri kontrol sistemlerinde standartlaşma adına bu çalışmada geliştirilen sistem aynı zamanda IEC 61131 standardı ile de uyumludur. Ayrıca çalışmada doğrulama denetimleri, IEC 61131 standardı ile örtüşen, GAMP (İyi Otomasyon Üretim Pratikleri) standartları kapsamında yapılmıştır [14].

3.2. Rüzgâr Türbini Kontrol Sistemi Opsiyonları

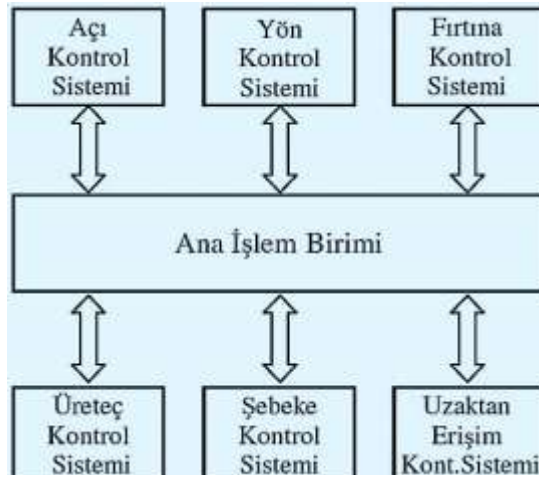
Rüzgâr elektrik santralleri projeleri için, fiyat ve performans karakteristikleri göz önüne alınarak ihtiyacı karşılayabilecek hatta yakın zamanda gerçekleşebilme ihtimali olan genişlemelere de imkan tanıyacak şekilde aşağıdaki kontrol sistemlerinden optimum özellikte olanı seçilmelidir.

- Röleli kontrol sistemleri
- Mikroişlemcili kontrol sistemleri
- Programlanabilir mantık denetleyicili (PLC) kontrol sistemleri
- Dağıtılmış kontrol sistemleri (DCS)

Röleli kontrol sistemleri en eski yöntem olup kontrol yeteneği düşüktür ve yeterli bir çözüm değildir. Mikroişlemcili sistemler ise tek başlarına kontrol sistemlerine müdahale edemeyeceklerinden özel donanımlarla desteklenmesi gerekmektedir [15]. Dağıtılmış kontrol sistemleri, genel olarak yüksek yoğunlukta endüstriyel tesislere entegre edilmiş bilişim ağı kontrol mimarisi olup pahalı ve lüks bir çözümdür [16]. Programlanabilir mantık denetleyiciler ise son kullanıcılara uygulama desteği veren ve üretim performansının geliştirilmesine yardımcı olan kontrolörlerdir [17]. Bilgisayarlarla ve diğer kontrolörlerle haberleşme imkânı tanınması ve orta ölçekli bir elektrik santrali için ideal sayıda giriş/çıkış kontrolüne olanak sağlaması da avantajları arasındadır [18]. Bu çalışmada da programlanabilir mantık denetleyicili kontrol sisteminin kullanılması optimum çözüm olarak görülmüştür.

3.3. Rüzgâr Türbini Kontrol Sistemi Birimleri

Kontrol sisteminin amacı parametreleri kontrol ederek türbin faaliyetlerini bütün iklim ve rüzgâr koşullarında en verimli enerji üretecek şekilde optimize etmektir. Sistemde kontrol edilecek tüm parametrelerin, ana işlem birimine bağlı olan diğer kontrol sistem birimlerine dağıtılması kontrol işini kolaylaştıracaktır. Her birim ne kadar mükemmel olursa olsun, rüzgâr enerjisinden en verimli şekilde elektrik enerjisinin üretilmesi, Şekil 5'de görüldüğü gibi tüm kontrol sistem birimlerinin, ana işlem birimine bağlı olarak uyum içinde çalışmalarına bağlıdır [19]. Bu uyumun en sorunsuz şekilde gerçekleştirilmesi ve bunun belli bir standarda oturtulması da çalışmanın hedefini teşkil etmektedir.



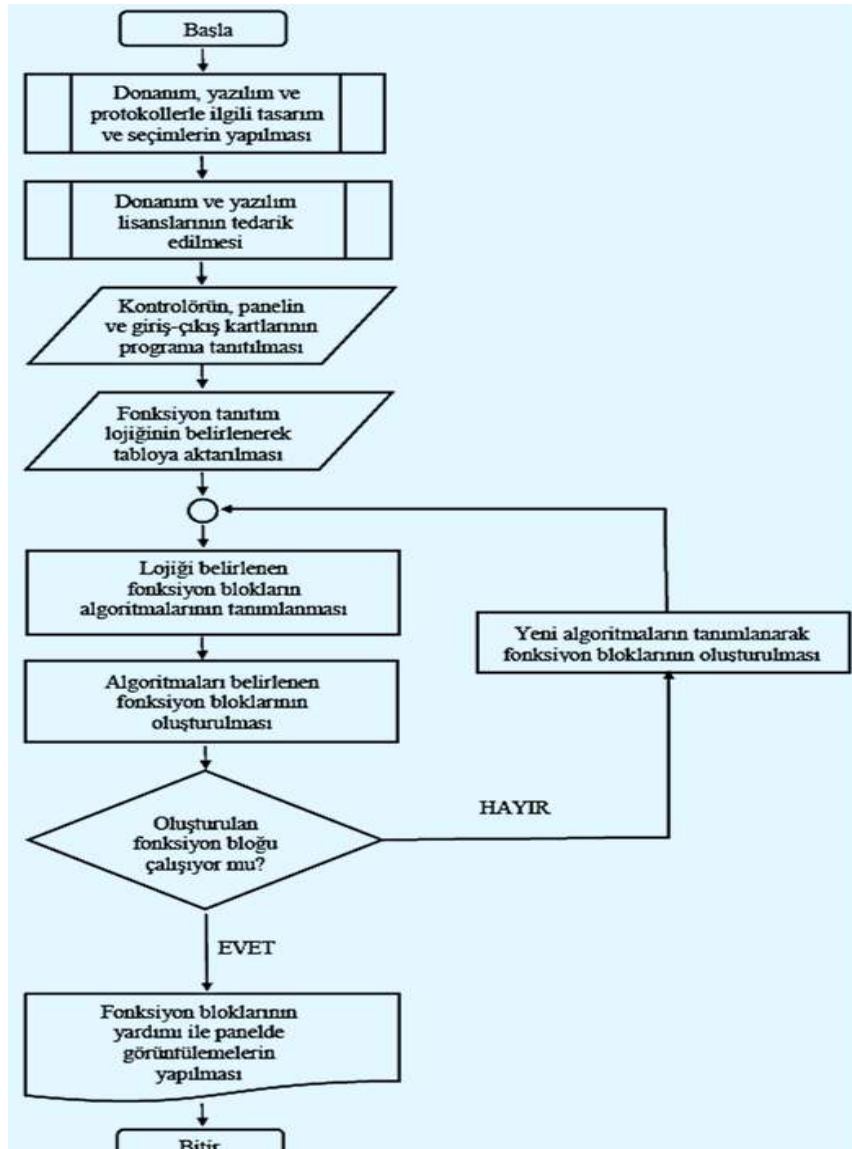
Şekil 5. Rüzgâr türbini kontrol sistemi birimleri

4. Yöntem

Bu çalışmada işlemler, üç ana başlık altında yapılmıştır.

4.1. Kod Kütüphanesinin Oluşturulması

Kod kütüphanesinin oluşturulması için aşağıdaki akış diyagramında verilen işlem adımları izlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Kod kütüphanesinin oluşturulması akış diyagramı

4.2. Doğrulama (Validasyon)

Çalışmada, standartlaşmadaki güvenilirliğin artırılması, objektif sonuçların elde edilmesi ve tarafsız bir kullanıcının gözüyle değerlendirmenin yapılması ile çalışmaya pozitif katkılar sağlanması açısından, doğrulama uygulamasının kullanılması uygun görülmüştür. Doğrulama denetimi için birinci seviye testler, program testleri kapsamında yapılmıştır. İkinci seviye testler için birinci denetim, rastgele fonksiyonlar seçilerek Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Bölümü tarafından, ikinci denetim ise sektör içerisinde faaliyet gösteren Christ-Goema GmbH tarafından yapılmış ve onaylanmıştır (Şekil 7).

Fonksiyon Lojik (FL) Alarmlar								
Öğrenci Adı: İZZET ALAĞÖZ								
Proje Adı: İZARES								
Tarih: / /								
ALARMLAR					Alarm Öncelikli	Alarm Grubu	Kontrol	
Alarm No	Alarm Adı	Limit	SP	Açıklama	1 2 3	SP 1 2 3	Bonuç	Tarih / Paraf
104	Sub_FF			Test Duruşu aktif	3	1		
105	Sub_FF	SPFD	SP1	Subeksi Faz Fazla düşük	2	1		
106	Sub_FF	SPFY	SP2	Subeksi Faz Fazla yüksek	2	1		
107	Sub_FR			Küçük Kesik	2	1		
108	Sub_FR			SP Değişimi Dengensiz	2	1		
109	Sub_FR			Test Duruşu aktif	3	1		
110	Sub_FR	SPFD	SP1	Subeksi Frekans düşük	2	1		
111	Sub_FR	SPFY	SP2	Subeksi Frekans yüksek	2	1		
112	MS	EV	SP1	Falısızlık	3	1		
113	Y40mg			Küçük Kesik	2	1		
114	Y40mg			Test Duruşu aktif	3	1		
115	RES_DD		S1	Zamanlama Kontrolü Aktif Zamanlı Hata Alarmı	3	1		
116	RES_DD		S2	Motorokaj Kontrolü Aktif Zamanlı Hata Alarmı	3	1		
117	RES_DD		S3	Saklama Kontrolü Aktif Zamanlı Hata Alarmı	3	1		
118	RES_DD		S4	Çıkarılma Kontrolü Aktif Zamanlı Hata Alarmı	3	1		
119	RES_DD		S5	AVM Haraklı Kontrolü Aktif Zamanlı Hata Alarmı	3	1		
120	RES_DD		S6	YFA Haraklı Kontrolü Aktif Zamanlı Hata Alarmı	3	1		
121	RES_DD		S8	Bonkumasyon Kontrolü Aktif Zamanlı Hata Alarmı	3	1		

Validasyon test was made by me: (L.Ö.Ö.)
 Automatik & Control manager
 Christ-Goema GmbH
 Konstantin-Kalenderis
 28.12.2010

Şekil 7. Christ-Goema GmbH doğrulama denetimi

4.3. Test ve Uygulama

Programın çalışabilirliğinin ortaya konulması, aşağıdaki eylem basamakları ile gerçekleştirilmiştir;

- Programın çalıştırılarak gerekli testlerin tamamlanması
- Tamamlanmış programın simülasyonunun yapılması
- Bir santralde çalışıyormuşçasına gerçek işlemci ve panel üzerinde uygulama gerçekleştirilmesi

5. Uygulama

Bu çalışma ile geliştirilen sisteme İZARES adı verilmiştir. Sistemde, IEC 61131 standardı gereği öncelikle donanım konfigürasyonunun, daha sonra da yazılım konfigürasyonunun hazırlanması öngörülmüştür.

5.1. Donanım Konfigürasyonu

Programlanabilir mantık denetleyicisi üreticileri, bir otomasyonun tüm kontrol sistemini tek çözüm altında toplayamayacaklarından diğer kontrol sistemleri ile uyumlu çalışabilecek arayüz modülleri üretmişlerdir [20]. Bu çalışmada da geliştirilen sistemin birçok marka ve modelle uyumlu çalışabilmesi için arayüz modüller tercih edilmiştir. Şekil 8. (a)'da görüldüğü gibi, ekonomik ve entegrasyon avantajları yanında, tek başına da çalışabilecek şekilde tasarlanan ve santral modellerinin de değişebilme ihtimaline karşın, 1024 giriş/çıkış kapasiteli bir arayüz modülü olan Siemens IM 151-8 işlemcisi kontrolör olarak seçilmiştir. İşlemcinin diğer merkezi işlem birimleri ile programlanabilirliği ve çalışabilirliğinin ortaya konulması açısından, işlemciyi programlayabilmek için Şekil 8. (b)'de görülen, Siemens S7-400 tabanlı CPU 414-3 ve Siemens S7-300 tabanlı

CPU 315-2DP programlama panelleri kullanılmıştır. Giriş/çıkış miktarları dikkate alınarak seçilen ve programlanan diğer donanım elemanları ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 8. a) Siemens IM 151-8 ana işlemci; b) Siemens S7-300 işlemci ailesi

Tablo 1. Donanım Listesi

Sıra	Donanım Cinsi	Miktar	Kanal / Model	Ürün Kodu
1	CPU (Merkezi İşlem Birimi)	1	IM 151-8	6ES7 151 - 8AB01 - 0AB0
2	DI (Dijital Giriş Kartı)	44	4	6ES7 131 - 4BD01 - 0AA0
3	DO (Dijital Çıkış Kartı)	18	2	6ES7 132 - 4HB01 - 0AB0
4	AI (Analog Giriş Kartı)	11	2	6ES7 134 - 4MB00 - 0AB0
5	AO (Analog Çıkış Kartı)	4	2	6ES7 135 - 4GB01 - 0AB0

Donanımın liste halinde programa tanıtılması yanında, donanıma merkezi işlem birimi üzerinden ulaşabilmek için gerekli adresleme ve listeleme ise Simatic Manager yazılım tabanında, donanım yapılandırması içerisinde yapılmıştır (Şekil 9).

Slot	Module	Order number	Fl.	M...	I address	Q address	D...	Comment
1	IM151-8 PN/DP CPU	6ES7 151-8AB01-0AB0	V3.2					
X1	PN-D				2047*			
X1	Part 1				2046*		2046	
X1	Part 2				2045*		2045	
X1	Part 3				2044*		2044	
X2								
3								
4	PM-E DC24/48V/ AC24/230V	6ES7 138-4CB11-0AB0					2041*	
5	2AI 12/4WIRE HF	6ES7 134-4MB02-0AB0			700...703			
6	4DI DC24V ST	6ES7 131-4BD01-0AA0			700...703			
7	2RO ND 24...230V/5A	6ES7 132-4HB01-0AB0				700...701		
8	PM-E DC24/48V/ AC24/230V	6ES7 138-4CB11-0AB0					2042*	
9	2AO I ST	6ES7 135-4GB01-0AB0				700...703		
10	2AO I ST	6ES7 135-4GB01-0AB0				704...707		
11	2RO ND 24...230V/5A	6ES7 132-4HB01-0AB0				710...711		
12	PM-E DC24/48V/ AC24/230V	6ES7 138-4CB11-0AB0					2040*	
13	2AI 12/4WIRE HF	6ES7 134-4MB02-0AB0			704...707			

Şekil 9. Simatic Manager'da donanım konfigürasyonu

5.1.1. İnsan Makine Arayüzü

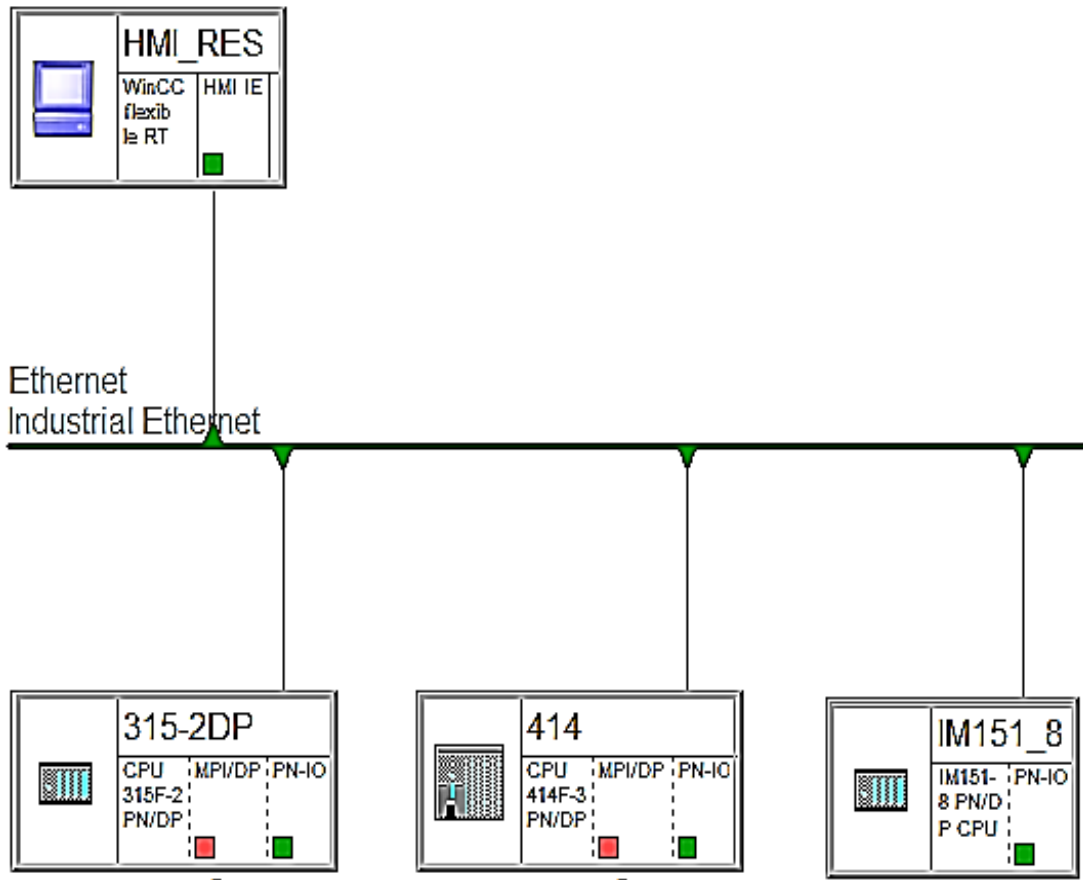
Bu çalışmada, arayüz modülü olarak programlanabilir mantık denetleyicisi seçildiğinden, insan makine arayüzü olarak ta otomasyon dünyasında yaygın olarak kullanılan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) tercih edilmiştir. SCADA, kurulu bir santrali ekranlar aracılığı ile takip ve kontrol imkânı sağladığı gibi santrallerin çalıştırılmadığı durumlarda da bir simülasyonel eğitim aracı olarak kullanılmasına olanak verir [21]. Çalışmada SCADA olarak seçilen kontrolör ile uyumlu tasarlanmış Siemens otomasyon grubunda kontrol yönetimi ve veri toplama çözümlerinden birisi olarak kullanılan ve kıyasla daha küçük sistemler için önerilen esnek uygulamalar ile haberleşme imkânlarına sahip Siemens WinCC Flexible 7.0 kullanılmıştır.

5.1.2. Haberleşme Modeli ve Protokolü

Bu çalışmada, tüm protokollerle haberleşebildiği için daha geniş bir yelpazeye hizmet verebilen, diğer kontrol sistemleri tarafından da tanınıp algılanabilen, dijital giriş/çıkış sınırlaması bulunmayan ve analog giriş/çıkış için işlemcilerle uyum problemi yaşamayan, akım ölçme temelli (4-20 mA) haberleşme standardı seçilmiştir. Ayrıca, özgün nitelikleri olan haberleşme protokolleri marka bağımlılığını beraberinde getirdiğinden, genişleyebilme ve farklı türbin markalarına hitap edebilme özelliklerinden dolayı da protokol temeli olarak, ethernet bağlantı modeli ve TCP/IP haberleşme protokolü seçilmiştir [22].

5.2. Yazılım Konfigürasyonu

Çalışmada, seçilen işlemciler Simatic Manager yazılım tabanında programlanmış ve donanım elamanları tanımlanmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. İşlemcilerin tanımlanması

5.2.1. Organizasyon Blokları

Bu çalışmada, geliştirilen sistemin Simatic Manager’da nasıl çalışacağı organizasyon blokları ile belirlenmiştir (Şekil 11). Organizasyon blokları otomatik olarak oluşmakta ve pek fazla müdahale imkânı olmamaktadır. Programın çalışma motoru olduğu için yazılacak program satırları, organizasyon bloklarının öngördüğü şekilde çalışacaktır.

Object name	Symbolic name	Created	Size	Type	Version	No.	Unlinked	Author
Systemdaten	---	---	---	SDB	---	---	---	---
OB1	Cycle Execution	LAD	80	Organization Block	0.1	---	---	---
OB35	Cycle Interrupt 5	LAD	68	Organization Block	0.1	---	---	---
OB80	Cycle Time Fault	STL	38	Organization Block	0.1	---	---	---
OB82	I/D_FLT1	STL	38	Organization Block	0.1	---	---	---
OB83	I/D_FLT2	LAD	38	Organization Block	0.1	---	---	---
OB85	OB Not Loaded Fault	STL	38	Organization Block	0.1	---	---	---
OB86	RACK_FLT	STL	38	Organization Block	0.1	---	---	---
OB87	COMM_FLT	STL	38	Organization Block	0.1	---	---	---
OB100	Complete Restart	STL	46	Organization Block	0.1	---	---	---
OB121	Programming Error	STL	38	Organization Block	0.1	---	---	---
OB122	Module Access Error	STL	38	Organization Block	0.1	---	---	---
FB1	Motor	STL	1750	Function Block	2.2	001	---	IA
FB2	GeçikmeFonksiyon	STL	328	Function Block	1.0	002	---	IA
FB3	AlarmMesajı	STL	380	Function Block	1.0	003	---	IA
FB4	GeçikmeAçılma	STL	172	Function Block	1.1	004	---	IA
FB5	OlcumCihazı	STL	3396	Function Block	2.0	005	---	IA
FB6	TetiklemeNoktası	STL	582	Function Block	1.6	006	---	IA
FB7	AnalogÇıkış	STL	646	Function Block	1.8	007	---	IA
FB8	Motorİndeksi	STL	334	Function Block	1.7	008	---	IA
FB9	OlcumCihazıİndeksi	STL	1372	Function Block	1.8	009	---	IA
FB10	AnalogÇıkışİndeksi	STL	334	Function Block	1.6	010	---	IA
FB11	Kontrolör	STL	1492	Function Block	1.8	011	---	IA
FB12	DizDenetleyici	STL	2350	Function Block	2.1	012	---	IA
FB13	AçıkKapalıZamanlayıcı	STL	314	Function Block	1.2	013	---	IA
FB14	AnalogGiriş	STL	478	Function Block	1.5	014	---	IA
FB15	Alarm	STL	1125	Function Block	1.3	015	---	IA
FB16	PLC_HMI_Konit	STL	232	Function Block	1.3	016	---	IA
FB17	UzunGünlükEyaam	STL	176	Function Block	1.3	017	---	IA
FB18	ServoMotor	STL	1750	Function Block	2.2	018	---	IA
FB19	Otomatizasyon	STL	242	Function Block	1.7	019	---	IA

Şekil 11. Simatic Manager’da organizasyon blokları

5.2.2. Fonksiyon Lojik Tabloları

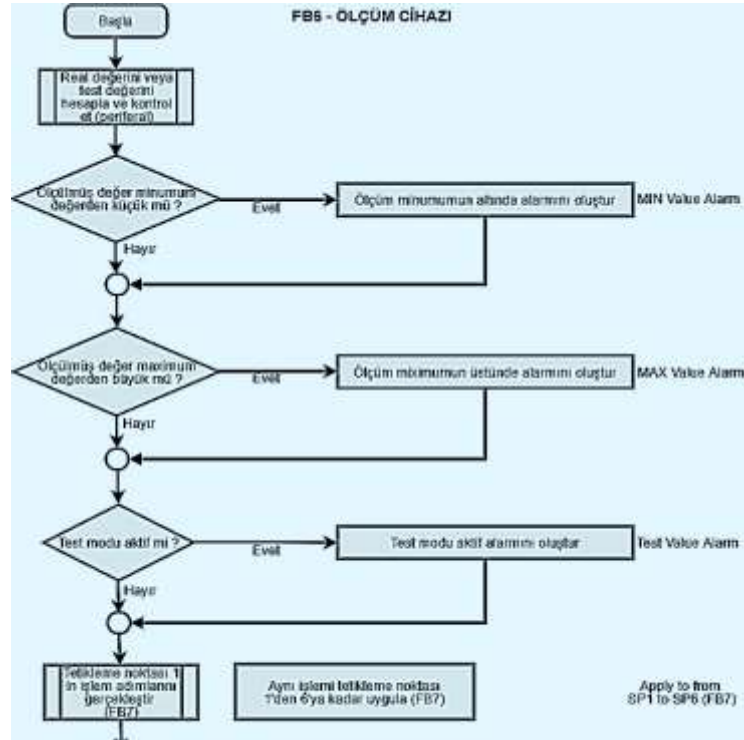
Çalışmada, kontrol programındaki tüm parçacıkların, mikro düzeyde bölünerek, tek başına çalışabilen her bir parçasının özgün ismiyle kaydedilip testlerinin yapıldıktan sonra bir kod kütüphanesi içerisinde sunulması standartlaşma açısından gerekli görülmüştür. Geliştirilen sistemin tüm öğeleri öncelikle bu şekilde tanımlanmış ve daha sonra programlamaya geçilmiştir. Ayrıca, bir rüzgâr elektrik santralinde kullanılacak fonksiyon lojik tanımları çıkartılarak tablo aracılığı ile detaylandırılmış ve fonksiyon tanım kütüphanesi oluşturulmuştur. Eklenmesi gereken herhangi bir yeni fonksiyonun, oluşturulan kütüphanede tanımlanması ile başlayacak aşamalar, mevcut format ve prensipler kullanıldığı takdirde, işlemler bilindik silsile ile sonuçlandırılacaktır. Şekil 12’de örnek olarak fonksiyon lojik motor listesi verilmiştir.

Funktion Lojik (FL)														
Motor Listesi														
Öğrenci Adı: İzzet ALAGÖZ										Revizyon: 00				
Proje Adı: IZARES														
Cihaz Adı	Ölçüm Aralığı			SP(Switch Point)				Alarm			İsim/ Fonksiyon	Kontrol		
	Birim	4mA	20mA	Limit Değ.	Fonksiyon	SP-Nr.	Aktif	Geçilme	Nr.	Öncelik		Grp.	Sonuç	Tarih/Paraf
YM_3 <														
							YMUSS < SP1Alarm ve YMASS > SP1Alarm						Sola Dönen Yön Motoru 3	
							Her zaman						İznil	
							SP1 < YS < SP2						Günlük Yok	
							Her zaman		93	1	1		Otomatik Çalışma	
							Her zaman		94	1	1		Motor Koruma Alarmı	
							Her zaman		95	3	1		Elektrik GeriBesleme Alarmı	
							Her zaman						Özel Alarm	

Şekil 12. Fonksiyon lojik motor listesi

5.2.2.1. Akış Diyagramları

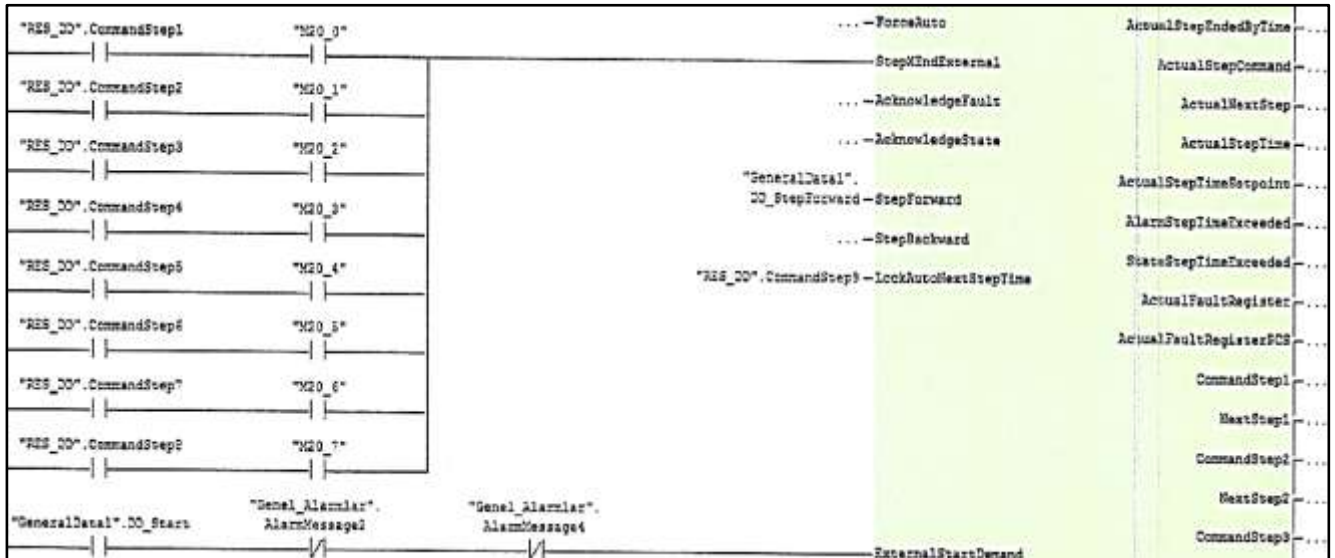
Fonksiyon lojik tanımlamaları yapılmış olan santral prosesinin akış diyagramlarının yapılması bir sonraki adım olarak görülmüştür. Programlanan tüm fonksiyonların akış diyagramları hazırlanmıştır. Örnek olarak, ölçüm cihazına ait akış diyagramı Şekil 13’de verilmiştir.



Şekil 13. Ölçüm cihazı akış diyagramı

5.2.3. Fonksiyonlar ve Fonksiyon Blokları

Program, fonksiyon bloklarına bölünerek yazılmıştır. Fonksiyonlar içerisinde program satır satır yazılarak fonksiyon blokları oluşturulmuş ve sistem yapı taşları hazırlanmıştır (Şekil 14). Doğrulama uygulamasına temel teşkil eden program parçacıkları işte bu fonksiyon bloklarıdır.



Şekil 14. Fonksiyonların yazılması

Programlama dilinin alfa numerik yapısından dolayı sadece İngilizce karakterlere müsaade edildiğinden, programın yapı taşı niteliğindeki fonksiyon bloklarının içeriği ve pinler de İngilizce yazılmıştır. Oluşturulan fonksiyon blokları Tablo 2’de görülmektedir. Bloklar, data base adresleri ile çağrılarak kullanılmakta ve işlem bitimine kadar gerekli diğer fonksiyon blokları da çağrılarak çalıştırılmaktadır. Sırası veya süresi dolan fonksiyon bloğu tekrar ihtiyaç duyulduğunda merkezi işlem birimi tarafından çağrılmak üzere data base adresinde saklanmaktadır.

Tablo 2. Fonksiyon blokları

Blok Kodu	Blok Adı	Programlama Dili	Data Base Adresi	Blok Açıklaması
FB1	Motor	S T L	1750	Fonksiyon Bloğu
FB2	Gecikme Fonksiyonu	S T L	328	Fonksiyon Bloğu
FB3	Alarm Mesajı	S T L	380	Fonksiyon Bloğu
FB4	Gecikmeli Açılma	S T L	172	Fonksiyon Bloğu
FB5	Ölçüm Cihazı	S T L	3396	Fonksiyon Bloğu
FB6	Tetikleme Noktası	S T L	592	Fonksiyon Bloğu
FB7	Analog Çıkış	S T L	646	Fonksiyon Bloğu
FB8	Motor İndeksi	S T L	334	Fonksiyon Bloğu
FB9	Ölçüm Cihazı İndeksi	S T L	1372	Fonksiyon Bloğu
FB10	Analog Çıkış İndeksi	S T L	1412	Fonksiyon Bloğu
FB11	Kontrolör	S T L	1492	Fonksiyon Bloğu
FB12	Dizi Denetleyici	S T L	2350	Fonksiyon Bloğu
FB13	Açık Kapalı Zamanlayıcı	S T L	314	Fonksiyon Bloğu
FB14	Analog Giriş	S T L	478	Fonksiyon Bloğu
FB15	Alarmlar	S T L	1126	Fonksiyon Bloğu
FB16	PLC-HMI Kontrolör	S T L	232	Fonksiyon Bloğu
FB17	Uzun Süreli Sayıcı	S T L	176	Fonksiyon Bloğu
FB18	Servo Motor	S T L	1750	Fonksiyon Bloğu
FB19	Oranlama	S T L	242	Fonksiyon Bloğu
FB97	Common Supply	S T L	3380	Fonksiyon Bloğu

5.2.3.1. Motor Fonksiyon Bloğu

Rüzgâr elektrik santrallerinde, servo motor dışında motorlarında kullanılabileceği ihtimali ile daha geniş bir perspektif elde edebilmek amacıyla, motor fonksiyonları için hazırlanmış algoritmaya göre, FB1 motor fonksiyon bloğu hazırlanmıştır (Şekil 15). Bu fonksiyon bloğu hazırlanırken, algoritmada belirtilen giriş-çıkış ve statik pinleri fonksiyon blok arayüzlerine girilmiştir. Sonrasında bu pinler arasında ilişkiyi kuracak mantık satırları, fonksiyon blok içindeki network mikro programlama ünitelerinde programlanmıştır. Artık bu motor fonksiyon bloğu rüzgâr türbinlerindeki her bir motor için kullanılmak üzere hazırdır. Sadece ayırt edici özellik katan data base numaraları atamaları ile de farklı motorlara ait programlama yeteneğine kavuşulmuştur. Motor fonksiyon bloğu üzerinde; programlama dili (STL), data base adresi (1750), versiyon numarası (2.2) ve bloğu oluşturanın imzası (IA) gibi bilgiler blok etiketinde yer almaktadır.



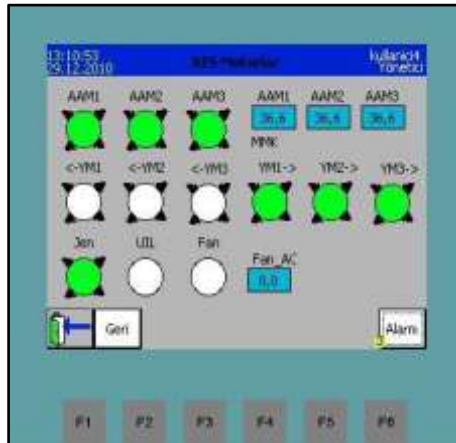
Şekil 15. FB1 motor fonksiyon bloğu

5.3. Ekran Görüntüleri

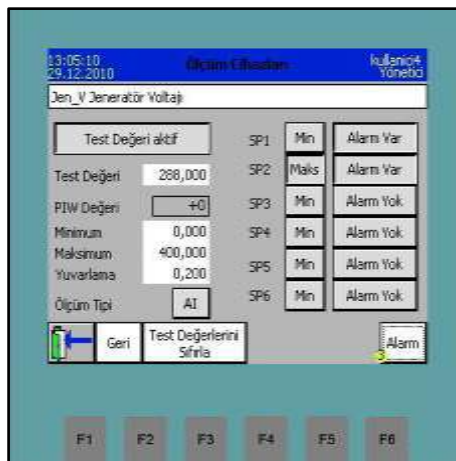
Çalışmanın ihtiyacı karşılayan bir niteliği olması açısından, SCADA ekranları ile dokunmatik panel ekranlarının operatör tarafından kullanılmasında kolaylık sağlayacak kullanım kılavuzu, Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde hazırlanmıştır [23]. Örnek ekran görüntüleri ise Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 16. Rüzgâr elektrik santrali ölçümleri ekran görüntüsü



Şekil 17. Rüzgâr elektrik santrali motorları ekran görüntüsü



Şekil 18. Rüzgâr elektrik santrali sistem ölçüm cihazları ekran görüntüsü

5.4. Sistem İndeksleri

Çalışmada, ekranda görüntülenebilecek bir indeks sistemi geliştirilerek tüm listenin bir sayfada düzenlenebilmesi sağlanmıştır. Şekil 19’da örnek olarak motorlara ait index verilmiştir. Sistemdeki tüm indeksler Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde hazırlanmıştır.

Text lists		
Name	Selection	Comment
001_Şifre Seviyesi	Range (... - ...)	Şifre Seviyesi
002_Ölçüm cihazları	Range (... - ...)	Ölçüm cihazları
003_Motorlar	Range (... - ...)	Motorlar
004_Analog Çıkışlar	Range (... - ...)	Analog Çıkışlar
005_RES_DD	Range (... - ...)	dizi Denedeydi

List entries		
Default	Value	Entry
<input type="radio"/>	0	AAM_1 Adm Aç Motoru Kanat 1
<input type="radio"/>	1	AAM_2 Adm Aç Motoru Kanat 2
<input type="radio"/>	2	AAM_3 Adm Aç Motoru Kanat 3
<input type="radio"/>	3	YM_1_Sol Sola Dönen Yön Motoru 1
<input type="radio"/>	4	YM_2_Sol Sola Dönen Yön Motoru 2
<input type="radio"/>	5	YM_3_Sol Sola Dönen Yön Motoru 3
<input type="radio"/>	6	Jen Jeneratör
<input type="radio"/>	7	UL Uçak İkaz Lambası
<input type="radio"/>	8	Fan Fan Motoru
<input type="radio"/>	9	YM_1 Sağ Sağa Dönen Yön Motoru 1

Şekil 19. Rüzgâr elektrik santrali motorlar indeksi

5.5. Sistem Alarmları

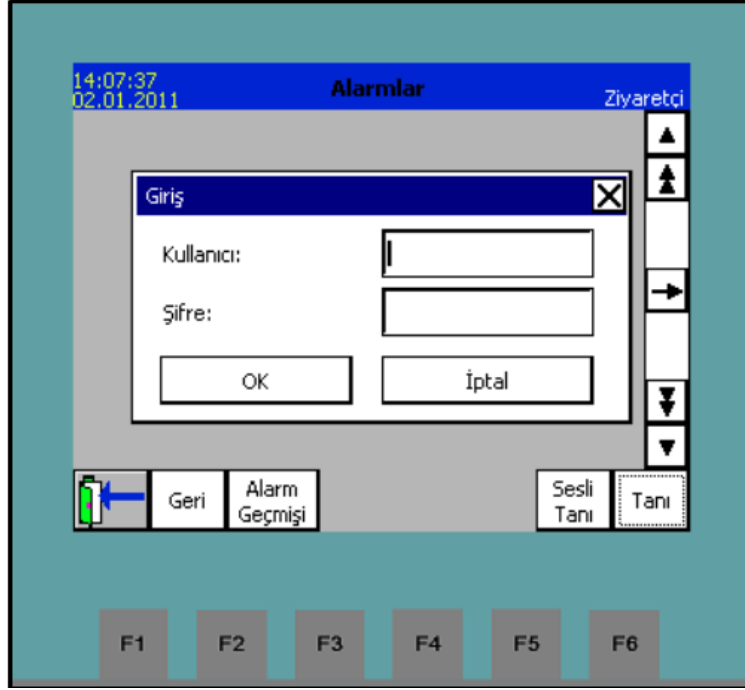
Alarm alındığında, operatör tarafından sorunun kolaylıkla anlaşılması için alarmlar Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde yazılmıştır. Rüzgâr elektrik santralindeki tüm cihazların hata durumlarını önem derecesine göre gösteren öncelikli bir alarm sistemi oluşturulmuştur. Sadece bilgi vermek amaçlı gelen hataların alarm önceliği 3, daha önemli cihazların hatalarında alarm önceliği 2, en hayati hataların alarm önceliği ise 1’dir. Şekil 20’de örnek bir alarm tanımlaması verilmiştir.

Fonksiyon Lojik (FL)							
Alarmlar							
Öğrenci Adı: İzzet ALAGÖZ							Revizyon: 1/1
Proje Adı: İZARES							
ALARMLAR					Alarm Önceliği	Alarm Grubu	Kontrol
Alarm No	Cihaz Adı	Limit	SP	Açıklama	1=Alarm Önc. 1 2=Alarm Önc. 2 3=Alarm Önc. 3	1=151-9 2=215 3=444	Sonuç Tarih / Paraf
33	Jen_FR			Kablo Kesik	2	1	
34	Jen_FR			SP Değerleri Dengesiz	2	1	
35	Jen_FR			Test Değeri aktif	3	1	

Şekil 20. Örnek bir alarm tanımlaması

5.6. Sistem Şifreleri ve Kullanım Seviyeleri

Sistem şifre sorgulama ekranı Şekil 21’de görülmektedir. Sisteme ayrıca misafir, operatör, süpervizör ve bakım seviyelerinde de girişler olabileceğinden, şifre seviye düzenlemeleri de yapılmıştır.



Şekil 21. Sistem şifreleri sorgulama ekranı

6. Sistemin Çalışması

Sistemde 0° ile 70° arasında döneceği kabul edilmiş, her biri bir kanadı yöneten üç adet adım açılı motoru bulunmaktadır. Ancak bu değerler üretici firmalar tarafından belirlendiğinden, her bir santrale uygun olması için operatör tarafından değiştirilen ve hafızada kaydedilen bir sistem geliştirilmiştir. Anemometrenin alt sınır değeri olan 4 m/s 'nin altında ve üst sınır değeri olan 25 m/s 'nin üstünde santral durdurulmaktadır. Anemometre 4 m/s ölçtüğünde adım açılı motoru 0° , 25 m/s ölçtüğünde ise 70° 'dir. Adım açılı motorunun hareket açısını belirleyen bir ortalama değer sistemi mevcuttur. Son 3 dakika içerisinde her 2 saniyede bir değer ölçülerek toplam 90 değer ortalaması alınır ve ortalaması alınan açılı değerlerinin karşılığı olan analog çıkış ile adım açılı motoru istenilen seviyeye getirilir. Örnek üzerinde açıklarsak; 0. saniye ile 180. saniye arasında anemometre ortalama 15 m/s hızla dönmüştür. Bu alınan 90 değer ortalamasıdır. Ardından üretici firmanın belirlediği 15 m/s hızla dönmeye karşılık gelen 35° değeri elde edilmiştir. 35° 'ye karşılık olarak %50'lik bir çalışmayla motor istenen noktaya getirilmiştir. 180. ve 360. saniyeler arasında devamlı 35° bir açı ile durmaktadır. Bu sırada anemometre yeni ortalama değerini elde etmektedir. Bu elde edilen yeni değer ile de 360. ve 480. saniyeler arasında bulunacaktır. Sistem bu şekilde çalışmasına devam etmektedir. Diğer önemli bir konu ise yön motorudur. Programda 6 tane yön motoru varmış gibi görünse de aslında üç adet yön motoru bulunmaktadır. İkinci ve üçüncü motorlar birinciye paralel olarak tasarlanmıştır. Sol ve sağ diye ayrılan yön motorlarının ayrılma sebebi ise dönme yönüdür. Yön sensöründen rüzgâr yönü ile ilgili 0° ile 180° arasında bir değer gelirse o zaman sol isimli yön motorları hareket edecektir. Ancak 180° ile 360° arasında bir değer elde edilirse o zaman sağ isimli motorlar hareket edecektir. Aslında motor, geliştirilen programda sağ ve sol olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Gerçekte bu 2 adet fonksiyon bloğunu ve 1 adet gerçek

motoru temsil etmektedir. Dolayısıyla 3 adet yön motoru için 6 adet fonksiyon bloğu bulunmaktadır.

7. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada geliştirilen kod kütüphanesinde, her santral projesinde kullanılması zorunlu olan aç ve yön kontrol sistemi, eşleme, meteorolojik sensör ve buna benzer uygulamaların yanı sıra herhangi bir endüstriyel proses uygulamasında da kullanılacak motor kontrol, motor index, ölçüm cihazı, analog giriş/çıkış ve alarm gibi fonksiyonlar da bloklar halinde tanımlanmıştır. Kod kütüphanesinin oluşturulmasından sonra donanım ve yazılım parametreleri de esas alınarak programlama çalışmaları yapılmıştır. Sistemin kendi yazılım diline ve birçok haberleşme protokolüne uyumlu olan bir PLC programından sonra da SCADA yazılımı oluşturulmuştur. Oluşturulan kod kütüphanesinin tarif edildiği şekilde çalışıp çalışmadığının denetlemesi için doğrulama uygulamasının akademik yeterlilikte bir ekip ile birlikte yapılması ve onaylanması programının güvenilirliğinin kanıtı olması açısından gerekli görülmüştür. Kullanılan donanımın ve geliştirilen programın testi, gerçek kontrolör ve panel üzerinde uygulanmış ve yapılabirliği kanıtlanmıştır. Geliştirilen program farklı türbinlere uygulanırken, devreye alınması çalışmalarından önce doğal olarak birtakım revizyonların gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulabilir.

8. Sonuçlar

Bu çalışmada, açık bir sistem olarak geliştirilen IZARES adlı sistem ile rüzgâr elektrik santrali projelerinde kullanılacak ve diğer kontrol programlarına da temel olabilecek bir fonksiyon kod kütüphanesi geliştirilmiş olup türbin üreticilerinin ve yatırımcılarının kontrol sistemleri konusundaki marka bağımlılıklarının önüne geçilerek her marka işlemci ile kontrol programlaması yapabilmenin temelleri belirli bir standarda oturtulmaya çalışılmıştır. Bu sayede rüzgâr elektrik santrali kontrol sistemlerinde standardizasyonun sağlanmasına katkı sağlanmış ve türbin üreticilerinin başka alanlara yoğunlaşmalarının önü açılmıştır. İhtiyaçların çeşitliliğine bağlı olarak da geliştirilebilir özellikte olan bu sistem, hem bundan sonraki çalışmalara öncü olabilecek özellikte, hem de Türkiye ve dünyadaki sanayiciler için incelenebilecek niteliktedir. Bundan sonraki adım ise; küçük ve orta ölçekli (1000 kW ve daha küçük) rüzgâr türbini için geliştirilmiş olan bu sistemin, daha büyük güçteki türbinler ve rüzgâr tarlaları için de genişletilerek geliştirilmesi olacaktır.

Teşekkür

Doğrulama denetimlerindeki katkılarından dolayı Ege Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümüne, Christ Goema GmbH Türkiye Koordinatörü Sayın Konstantinos Kaleadis'e ve donanım desteği için ABT Endüstri Enerji Sistemleri San.Tic. ve A.Ş. Genel Müdürü Sayın Murat Alagöz'e teşekkürlerimi sunarım.

Yazar Katkıları

İA çalışmayı yapmış ve makaleyi hazırlamıştır, makalenin son halini onaylamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, rakip çıkarları olmadıklarını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- [1]. Alagöz İ., “Rüzgâr Elektrik Santrallerinin Kontrolü için Kullanılabilecek Validasyonlu Kod Kütüphanesi Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [2]. Ülgen K., “Güneş Santralleri”, Ders Notları, İzmir, 2007.
- [3]. Çetin N.S., “Rüzgar Türbinleri Güvenli Çalışma Modelleri”, Ders Notları, İzmir, 2008.
- [4]. Kısar A.O., “Rüzgardan Enerji Üretimi ve Rüzgar Türbinlerinin Evrimi”, EMO İstanbul Şube Bülteni, İstanbul, 2009.
- [5]. Sülün M., “Rüzgar Enerjisi”, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2007.
- [6]. Gül İ., Kolip A., “Parça Kanatlı Savonius Rüzgâr Türbin Performansının İncelenmesi”, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 2018, 5(3): 816-827.
- [7]. Tanrıöven M., “Rüzgâr ve Güneş Enerjili Güç Sistemleri”, Ders Notları, İstanbul, 2009.
- [8]. Yüksel Y.E., Öztürk M., “Evsel Uygulamalar için Birleşik Rüzgar-Güneş-Hidrojen Sisteminin Termodinamik Analizi”, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 2016, 3(3): 401-416.
- [9]. Duellmann R., “EIC Workshop”, Wind Turbine Technology, Nordex Company Technical Publications, England, 2010.
- [10]. Enercon Gmbh, “Enercon Magazine for Wind Energy”, Germany, 2009.
- [11]. NI Engineer Ambitiousl, <https://www.ni.com/en-tr/innovations/white-papers/08/wind-turbine-control-methods.html>, Erişim Tarihi: 30.04.2019.
- [12]. IEC 61131, “Programlanabilir Mantık Denetleyiciler (PLC)”, 1993.
- [13]. Ackermann T., “Wind Power in Power Systems”, EMO Yayınları, Ankara, 2009.
- [14]. Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Good_automated_manufacturing_practice, Erişim Tarihi:10.05.2019.
- [15]. Arifoğlu B., Beşer E., “Otomasyon Sistemleri Ders Notları”, Kocaeli, 2015.
- [16]. Bodur A., “Pratik Dağıtılmış Kontrol Sistemleri”, Bileşim Yayınları, İstanbul, 2006.
- [17]. Alcı M., “PLC Programlama Esasları”, Ders Notları, İzmir, 2008.
- [18]. Yağımlı M., Akar F., “Programlanabilir Lojik Denetleyiciler”, Beta Yayınları, İstanbul, 2008.
- [19]. Ataseven M.S., Ataseven S., “Senkron Rüzgar Türbinleri ve Kontrol Sistemleri”, EMO 4. Otomasyon Sempozyumu, Samsun, 2007.
- [20]. Suss T., “An Introductory to PLC Programing Blocks”, Goema Technological Seminars, Stuttgart, 2006.
- [21]. Linemann S., “Low Level SCADAs”, Siemens Seminars, Holland, 2002.
- [22]. Bolton W., “Mekatronik - Makine ve Elektrik Mühendisliğinde Elektronik Kontrol Sistemleri”, Dahi Yayınları, İstanbul, 2009.
- [23]. Panel KTP-600 Türkçe Kullanım Kılavuzu, <https://yadi.sk/i/McHzUMSNnrigXQ>, Erişim Tarihi:10.01.2020.