

**HİDROELEKTRİK SANTRALLERİ İÇİN
YENİ BİR MODEL TÜRBİN HIZ REGÜLATÖRÜ TASARIMI**

Hüseyin KÜÇÜKERDEM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MART 2015

Hüseyin KÜÇÜKERDEM tarafından hazırlanan ‘HİDROELEKTRİK SANTRALLERİ İÇİN YENİ BİR MODEL TÜRBİN HIZ REGÜLATÖRÜ TASARIMI’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Cemal YILMAZ

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Cemal YILMAZ

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. İlhan KOŞALAY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 13.03.2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hüseyin KÜÇÜKERDEM

13.03.2015

HİDROELEKTRİK SANTRALLERİ İÇİN
YENİ BİR MODEL TÜRBİN HIZ REGÜLATÖRÜ TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Hüseyin KÜÇÜKERDEM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2015

ÖZET

Günümüzde teknolojik gelişmeler ve ihtiyaçlara bağlı olarak elektrik enerjisi çok önemli bir konuma gelmiştir. Dünyada elektrik ihtiyacı hidroelektrik santraller, termik santraller, nükleer santraller, hidrojen enerjisi ve rüzgar ile güneş enerjileri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Bu enerji türlerine göre ekonomikliği ve çevreci özelliği ile ön plana çıkan hidroelektrik santraller su kaynakları bakımından zengin olan ülkemizde de giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu çalışmada hidroelektrik santralleri için yeni bir model hız regülatörü tasarlanmıştır. Sistem PLC S7-1200 denetleyici tarafından kontrol edilmiştir. PLC Sistemine bağlı bir bilgisayar, servo motor ve servo motor sürücü vardır. Kontrol sistemi çıkış şebeke frekansını sürekli kontrol etmekte ve türbin kanat açılarını frekans bilgisine göre ayarlamaktadır. Santralin baraj kapağı yine sistem üzerinden kontrol ile kapatılıp açılmaktadır. Tüm bu regülasyon sistemi yazılmış olan SCADA simülatöründe anlık olarak kontrol ve kayıt edilebilmektedir. Ayrıca santrale regülasyon sisteminin kurulduğu ilk zamandan, içinde bulunulan zamana kadar ki süreçte istenilen bir tarihe gidilip regülasyon anlık verileri incelenebilmektedir.

Bilim Kodu : 703.3.016
Anahtar Kelimeler : Regülasyon sistemi, türbin hız regülatörü, PLC kontrol, governor kontrolü, scada.
Sayfa Adedi : 70
Danışman : Doç. Dr. Cemal YILMAZ

DESIGNING A NEW MODEL OF TURBINE SPEED REGULATOR FOR
HYDROELECTRIC POWER PLANTS

(M. Sc. Thesis)

Hüseyin KÜÇÜKERDEM

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2015

ABSTRACT

Due to technologic advancements and needs, electricity has become more important today. Throughout the world, electricity is provided by hydroelectric power plants, thermal power plants, nuclear power plants and renewable energy sources such as hydrogen, wind and solar energy. Hydroelectric power plants, which stand out as with its features such as being economic and environment friendly compared to other type of energy, became widespread in our county which is rich in water resources. In this study, a new model of speed regulator is designed for hydroelectric power plants. The system is controlled by PLC S7-1200 Controller. It has a computer, servo motor and a servo motor driver connected to PLC System. Control system controls the output network frequency continuously and adjusts blade angles of the turbine according to the frequency. Floodgate of the plant is opened and closed via the system. This entire regulation system can be controlled and recorded instantaneously on the SCADA simulator. Moreover, it is also possible to go back to any date from the current time to the time when the regulation system was installed in the plant and review the regulation data.

Scientific Code : 703.3.016
Key Words : Regulation system, turbine speed regulator, PLC control, governor control, scada.
Number of Pages : 70
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Cemal YILMAZ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Cemal YILMAZ'a, tez süresince gösterdikleri anlayış ve katkılarından dolayı değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin SAYAN ve Yrd. Doç. Dr. Ali SAYGIN'a, ayrıca teçhizat, donanım, fikir ve çalışmaları ile sonsuz destek veren Fatih AKAN, Hidayet KIYAR ve Şaban KUMCU'ya, manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli dostum Avukat Emrullah MANAV ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. HİDROELEKTRİK SANTRALLER VE HİDROELEKTRİK ENERJİ .	9
2.1. Hidroelektrik santrallerde hız regülasyonu.....	10
2.2. Hidroelektrik santral türbinlerinde kullanılan hız regülatörü organları.....	12
2.3. Hız regülasyonunun gerçekleşmesi ve karakteristik eğrilerinin incelenmesi.....	13
2.3.1. Astatik ve statik hız regülasyonu	13
2.3.2. Daimi statik veya sürekli devir sayısı değişimi veya hız düşümü	14
2.3.3. Türbin jeneratör ünitelerinin yük dağılımı.....	15
2.3.4. Türbin jeneratör ünitesinin yükünün değiştirilmesi.....	16
2.3.5. Türbin jeneratör ünitesi hız regülatörünün statik ayarının değiştirilmesi.	17
2.3.6. Türbin jeneratör ünitesinin sistem frekansına iştirak etmesi	18
2.4. Primer frekans kontrolü	19
2.5. Ölü bant.....	24
2.6. Sekonder frekans kontrolü	26
2.7. Tersiyer frekans kontrolü.....	26
2.8. Türbin gücü.....	27

	Sayfa
3. UYGULAMA	29
3.1. Profinet haberleşme protokolü.....	33
3.2. Sistemin genel özellikleri.....	40
3.2.1. Simülasyon sisteminin özellikleri.....	41
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hidroelektrik santrallerin güçlerine göre sınıflandırılması.....	10

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Hidroelektrik santrallerin genel yapısı	9
Şekil 2.2. Astatik ve statik karakteristikli hız regülatör eğrisi.....	14
Şekil 2.3. Farklı statik karakteristikli hız regülatörleri ile regüle edilen ve paralel çalışan iki türbin jeneratör ünitesinin yük dağılımı.....	16
Şekil 2.4. Türbin jeneratör ünitesinin yükünün hız regülatörüne ait karakteristik eğrisinin kaydırılması suretiyle değiştirilmesi	17
Şekil 2.5. Karakteristik eğri.....	18
Şekil 2.6. Frekans tutmayan bir türbin jeneratör ünitesinin, sistem frekansının nominal değerinde tutulmasına iştirak ettirilmesi	19
Şekil 2.7. Frekans kontrolüne yönelik hizmetlerin hiyerarşisi	20
Şekil 2.8. Primer frekans kontrolü, temel uygulama prensipleri.....	21
Şekil 2.9. Sistem frekansının düşmesine ünitenin primer frekans kontrol tepkisi	22
Şekil 2.10. Sistem frekansının yükselmesine ünitenin primer frekans kontrol tepkisi ..	23
Şekil 2.11. UCTE Kriterlerine göre frekans trompet eğrisi	24
Şekil 2.12. Primer frekans kontrolüne katılan ünitelerin sistemdeki frekans sapmalarına göre aktif çıkışları.....	25
Şekil 2.13. Frekans kontrolünün blok diyagramı.....	27
Şekil 3.1. S7-1200 Tia ve Portal donanımı.....	31
Şekil 3.2. Hidrolik türbin jeneratör ünitelerinin regülasyonu için kullanılan hız regülatörlerinin, regülasyon devresi organları.....	40
Şekil 3.3. Tasarlanan sistemin genel görünümü.....	43
Şekil 3.4. Türbin kontrol vanaları.....	48
Şekil 3.5. Kapak kapat komutunun reset edildiği program bloğu	49
Şekil 3.6. Kapak aç komutunun reset edildiği program bloğu	50
Şekil 3.7. Kapak kapat komutun frekansının ve oranlamasının program bloğu.....	51
Şekil 3.8. Kapak kapat komutunun maksimum parametre değerinin program bloğu	51
Şekil 3.9. Kanat açısını kontrol eden program bloğu	52

Şekil	Sayfa
Şekil 3.10. Anlık olarak sayıcı durumuna göre frekans ve kanat açısının sayısal olarak değişimi.....	53
Şekil 3.11. Anlık olarak sayıcı durumuna göre frekans ve kanat açısının değişimi	56
Şekil 3.12. Anlık olarak sayıcı durumuna göre frekans ve kanat açısının değişimi	57
Şekil 3.13. Dakika olarak sayıcı durumuna göre frekans ve kanat açısının değişimi...	58
Şekil 3.14. PID scada kontrol bloğu.....	59
Şekil 3.15. PID program kontrol bloğu	60

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Projeye ait donanımların genel görünümü	29
Resim 3.2. Ethernet protokol TCP/IP seçiminin yapılması	35
Resim 3.3. Ethernet protokol TCP/IP seçiminin yapılması 2.adım	36
Resim 3.4. WinCC’de hazırlanan programa IP adres yazılması	36
Resim 3.5. WinCC’de hazırlanan programa IP adres yazılması 2.adım	37
Resim 3.6. WinCC’de hazırlanan programa IP adres yazılması 3.adım	37
Resim 3.7. WinCC’de hazırlanan programa protokol seçiminin yapılması.....	38
Resim 3.8. Su giriş vanası (kelebek vana)	48
Resim 3.9. Basınç kırıcı ayar vanası (by-pass vana).....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
GWh	Gigawattsaat
MW	Megawatt
KW	Kilowatt
kg/cm²	Kilogram/santimetrekare
kg/m³	Kilogram/metreküp
m³/sn	Metreküp/saniye
m	Metre
s	Saniye
%d	Statik veya sürekli devir sayısı değişimi
n₀	Türbin jeneratör ünitesinin yüksüz dönme esnasındaki devir sayısı
n	Türbin jeneratör ünitesinin nominal yükteki devir sayısı
d/d	Devir/dakika
f	Frekans
P	Güç
Δf	Sistem frekansındaki sapma miktarı
ΔP	Toplam güç
Hz	Hertz
mHz	MiliHertz
f₀	Sistemin frekans sapmalarına tepki vermediği frekans aralığı
Q	Debi
P_{set}	Ünite çıkış gücünün ayarlanmış değeri
Δf_G	Ünitenin ölü banttan sonra algıladığı frekans sapma miktarı
H_n	Suyun net düşüsü
γ	Suyun özgül ağırlığı
η	Verim
N	Türbün gücü

Kısaltmalar	Açıklamalar
ACE	Alan kontrol hatası
BG	Beygir gücü
CPU	İşlemci
DB	Data blok
DNS	Alan adı sistemi
EPŞY	Elektrik piyasası şebeke yönetmeliği
FDDI	Fiber dağıtılmış veri arayüzü
HES	Hidroelektrik santral
IP	İnternet protokolü
ID	Kullanıcı adı
MAC	Ortam erişim yönetimi
PID	Oransal integral türev
PLC	Programlanabilir lojik kontrol
PC	Bilgisayar
PI	Oransal integral
SCSI	Küçük bilgisayar sistemi arayüzü
TCP	İletim kontrol protokolü
TEİAŞ	Türkiye elektrik iletim anonim şirketi
UCTE	Avrupa elektrik iletimi koordinasyonu birliği

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kullanımı ve dolayısıyla enerji ihtiyaçlarının hızlı bir şekilde artması ve buna bağlı olarak hidroelektrik santrallerin sayısı her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde üretilen elektriğin büyük bir kısmı hidroelektrik santrallerden karşılanmaktadır ve bu her geçen gün devreye alınan yeni hidroelektrik santralleri ile giderek artmaktadır. Suyun hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bu santrallerde enerjini kontrolünün ve kalitesinin sağlanması çok önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir konuma sahip olan hidroelektrik santrallerde suyun debisini ayarlayan sistem, yani hız regülasyon sistemi önemli bir faktördür. Bu çalışmada hidroelektrik santrallerindeki kritik elemanlardan biri olan hız regülatörleri algoritmasında yeni bir model sunulmuştur. Sunulan bu modelde sistem üniteleri arasında haberleşme ve sistemin denetimi Profinet ile gerçekleştirilmiştir. Bu proje ile regülatör, Profinet ağ tabanlı olarak uzaktan ve hızlı denetim özelliklerinde, verimli bir çalışma performansına sahip olmuştur. Bu yöntemde enerji kalitesini etkileyen faktörlerin (türbin ayar kanatlarının hassas denetimi, türbin hız ve güç ölçümü) hassas bir denetim ile olumsuz etkilerin azaltılması mümkün olmuştur. Türbin kontrol sistemlerinin asıl amacı güç jeneratörlerindeki hız değişimlerini kontrol ederek buna bağlı olarak güç değişimlerini kontrol altında tutmak ve güç kalitesini sağlamaktır. Hidroelektrik santrallerinde üretilen elektrik enerjisi güç trafoları ile sabit gerilimde bir güç sistemi şebekesi ağına bağlanır. Her barajdan çekilen yükler iklim koşullarına, gün saatine ve günün özelliğine (tatil günü, mesai saati, bayram tatili vb.) göre değişkenlik göstermektedir. Toplam üretilen yük, tüketilen yük ile eşit olmak zorundadır. Hatta üretilen yük yaşanan kayıplarla tüketilen yükün toplamına eşit olmak zorundadır. Aksi halde güç sisteminin frekansı değişime uğrayacaktır. Güç sisteminde sabit frekans elde etmek için her santralde ve yük tevzide üretim kontrolü yapılmaktadır. Yük tevzide güç sistemi ağındaki üretimi kontrol eder ve tüketim ile kayıpların toplamına eşit bir üretim dağılımı sağlar. Hidroelektrik santrallerinde baraj suyunun debisi zamana bağlı olarak değişmektedir. Debideki değişim, türbinlerin dönme hızlarının değişmesine sebep olmaktadır.

Türbin dönme hızının değişmesi, üretilen elektrik enerjisinin frekans ve genliğini değiştirdiğinden elde edilen elektrik enerjisi kalite yönüyle UCTE (Avrupa Elektrik İletimi Koordinasyonu Birliği) standartlarına uymamaktadır. Günümüzde elektrik üretiminde mekanik kontrollü türbin hız regülatörleri yerine akıllı sistemlere hızla geçilmektedir.

Akıllı sistemlerde elektromekanik donanıma sahip ve yazılım ile desteklenmiş türbin hız regülatörleri kullanılmaktadır. Böylece, baraj suyu daha verimli olarak kullanılmakta ve UCTE standartlarına uygun elektrik enerjisi üretimi sağlanmaktadır [5].

Türkiye, yıllık yaklaşık 430 GWh elektrik enerjisi üretme kapasitesine sahipken bu kapasitenin teknik olarak yıllık yaklaşık 220 GWh'lik kısmı değerlendirilebilir durumdadır. Değerlendirilebilir bu kapasiteye karşılık 130 GWh hidroelektrik enerjisi üretmeyi planlamış olan ülkemiz bu potansiyelinin %35'lik kısmını hayata geçirmiş durumdadır (46 GWh). 130 GWh'lik yıllık ortalama enerji üretim değerini oluşturan 747 adet hidroelektrik santralin 142'si işletmede, 40'ı inşa halinde ve 565 adedi ise proje seviyesindedir. Ülkemizin toplam potansiyelini değerlendirebilmek için minimum 1500 adet türbin jeneratöre ihtiyaç duyulacaktır [16].

Mevcut hidroelektrik santrallerinde genellikle konvansiyonel sistemlerin kullanıldığı da dikkate alındığında ulusal üretimi olmayan akıllı sistemlere olan ihtiyacın 1500 adetten çok daha fazla olduğu değerlendirilmektedir. Tasarlanan sistem, kısaca türbine giden suyun debisini kontrol eden kanatçıklar, motorlar, algılayıcılar, üretilen elektriğin genliği ve frekans bilgisi gibi parametreleri değerlendirerek kanatçık konumunu frekansı referans olarak ayarlayan bir kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Proje kapsamında tasarlanan sistemde, mevcut sistemlerden farklı olarak, veri haberleşmesi altyapısında ve denetiminde ortaya konacak farklı bir yaklaşımla sistemin denetimi Profinet ağ tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Böylece güvenilirlik, uzaktan kontrol, veri iletimi hızı, gerçek zamanlı iletim, sistem kararlılığı gibi konularda mevcut sistemlerden daha yüksek bir performans elde edilmiştir. Bu yöntemde, enerji kalitesini etkileyen faktörlerin (türbin ayar kanatlarının hassas denetimi, türbin hız ve güç ölçümü gibi) olumsuz etkilerinin azaltılması mümkün olmuştur. Ayrıca donanımlar arası haberleşmede veri iletimi fiber optik altyapısına göre oluşturulmuştur. Sistem çalışmasının donanımdan bağımsız olarak düzenlenmesi, sistemin kolaylıkla yenilenebilmesine, giriş-çıkış ünitelerinin devreye alınması veya devre dışı bırakılmasına yazılımla olanak sağlamaktadır. Kontrol ünitesi için gerekli yazılımın paket olarak yurtdışı kaynaklardan temini mümkündür. Ancak enerji konusunun hassasiyeti göz önünde bulundurularak, yurtdışı bağımlılık yaratmamak amacı ile bu ünite için gerekli yazılım da milli olarak, proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Proje; yazılımlar, simülasyonlar, deneysel analiz ile parametre grafiklerinin kaydı ve tüm bunları kapsayan prototip tasarım aşamalarından oluşmuştur.

Projenin mekanik sistemlerinin imalatının da istenildiğinde yurtiçinde gerçekleştirilebilecek olması yaygınlık etkisini artıracaktır. Proje sonucunda prototipinin üretimi yapılan tasarımın seri üretimi gerçekleştirilirse Türkiye hidroelektrik santrallerinde bu yeni teknolojinin kullanımı ile yurtdışı bağımlılık ortadan kaldırılacak, yeni istihdam ortamları yaratılacak, hidroelektrik enerjisi üretim potansiyeli daha verimli olarak kullanılacak ve büyük ekonomik yarar sağlanacaktır.

Proje kapsamında yapılan araştırmalar sonucu bundan önce yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

(1) Tripathy ve arkadaşları (1995), araştırmalarında, küçük güçlü su türbinleriyle çalıştırılan jeneratörlerin otomatik jeneratör kontrolünü incelemişlerdir. Hindistan'daki çeşitli kırsal bölgelerde çok sık kullanılan küçük güçlü hidroelektrik santrallerin jeneratör ünitelerinin dinamik ve kontrol mekanizmaları iki farklı çalışma şekliyle incelenmiştir. Bunlardan birincisi izole şebeke, ikincisi ise enterkonnekte şebekelerdir. İzole şebekede, jeneratörün frekans ve yükü tamamen mekanik hız regülatörü ile kontrol edilmiştir. Enterkonnekte şebekede ise frekans ve yük, hız regülatörüyle, integral etkili bir kontrolcünün beraber çalışmasıyla kontrol edilmiştir. Dijital simülasyon sonuçlarından, integral etili kontrolün daha başarılı olduğu anlaşılmıştır.

(2) Özdemir (2002), küçük güçlü hidroelektrik santrallerde düşü, debi, yük ve verim ilişkilerini incelemiştir.

(3) Stojkovic (2003), yaptığı çalışmada, Sırbistan-Karadağ güç sistemindeki yük frekans kontrolüne ait problemleri incelemiş ve kendine has bir yaklaşım geliştirerek çözümünü anlatmaya çalışmıştır. Yük frekans kontrolünün tamamı, tek bir bilgisayar üzerinden yapılmaktadır. Regülasyon ünitesinin hareketi ve düzenli regülasyon gücü etkisi için geliştirilen algoritma, kompakt bir dizayna sahip birçok PI kontrolcüsünün karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Bu algorithmada kullanılan yük- frekans kontrolcüleri, geri planda scada sisteminin yardımıyla ve enerji şirketlerinin de katkılarıyla geliştirilerek güvenilir ve etkin bir hale getirilmiştir.

(4) Köklükaya ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada, akıllı denetim esasına dayanan bir yük frekans denetleyicisi önermişlerdir. Önerilen yeni kontrolör sinir ağları ve bulanık

mantık teknolojilerinin sakıncalı taraflarının üstesinden gelmekte ve her birinin üstün taraflarını kullanmaktadır. Kendi işlem birimlerinde geciktiriciler ve integratörler gibi dinamik elemanları içeren bir dinamik bulanık ağı (DBA), bir yük frekans denetimi tasarımında kullanılmıştır. Tasarım, DBA parametrelerinin hesaplanmasına dayanır. Bu da yük frekans hata masraflarını içeren bir ölçütün en aza indirilmesi ile sağlanır. Gerekli olan ölçütün ağ parametrelerine göre gradyanları, adjoint duyarlılık analizi ile hesaplanmıştır.

(5) Kishor ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada, bir hidroelektrik santralinde cebri borulardaki suyun debisinin değişim etkisini, irrasyonel matematik fonksiyonuyla tanımlamışlardır. Bu çalışmadaki fonksiyonda, düşük değerli bir h -sonsuz yaklaşım metodu kullanılmıştır. Ayar kanat açıklığı, türbin gücü, doğrusal olmayan kararlı durum karakteristiği, bu indirgenmiş yükleme fonksiyonu ile modellendikten sonra, zaman ve frekans düzleminde türbin güç simülasyonları oluşturulmuş ve çok iyi bilinen pade yaklaşımı ile karşılaştırılmıştır. Dijital simülasyonlardan görülmüştür ki; hidrolik santrallerde arıza sonucu ortaya çıkan yüklenmelerde, hız regülatörü frekans kontrolü noktasında tek başına etkili değildir. Bununla beraber, hız regülatörü, izole edilmiş jeneratör sistemlerinde mevcut tek kontrolördür.

(6) Ansel ve arkadaşları (2006), yaptıkları çalışmada governor sisteminde kullanılan jeneratöre paralel bir jeneratör daha çalıştırarak Doubly Fed Induction Generator (DFIG) yöntemini tasarlamışlardır. Bir jeneratör çalışırken frekans dalgalanması sırasında paralel bağlanan diğer jeneratör frenleme mantığıyla hızı azaltarak frekansı dengelemeye çalışmaktadır.

(7) Doğan (2007), yaptığı çalışmada hidroelektrik santrallerde çalışan jeneratör türbinlerinin dönmesini sağlayan su akışını kontrol eden cebri boruların kontrolünün PLC ile daha kolay daha hızlı ve daha güvenilir gerçekleştirileceğine dair benzetim modeli hazırlamış ve sistemi çalıştırmıştır.

(8) Xiaocong ve arkadaşları(2007), çalışmalarında, yine hidroelektrik santrallerde governor kontrolü ile ilgili olarak geleneksel ve doğrusal olmayan yöntemleri diferansiyel dayanan kontrol kuramı ile yönteme uygun bir çıkış fonksiyonu kullanarak matlab simulink ile simüle etmişlerdir.

(9) Akçay (2007), yaptığı çalışmada santrallerde yük-frekans denetimini ele almıştır. Orta büyüklükteki iki santral olan Sır ve Berke hidroelektrik santrallerinin frekans kontrolüne katkısını araştırmıştır. İki santralin oluşturduğu güç sistem modeli, dıgsilent kullanılarak bilgisayar ortamına aktarmıştır. Modelleme işleminden sonra, söz konusu örnek sistemde, yük akış değişimleri, açma kapama olayları ve kısa devre gibi işletmede her an karşılaşılabilen olayları bilgisayar benzetimleri ile sisteme uygulamıştır.

(10) Abdolmaleki ve arkadaşları (2008), daha önce geliştirilen DFIG yöntemini ele alarak, frenleme sırasında oluşabilecek sarkmalar üzerinde durmuşlardır. Bu geçici sarkmaların jeneratörlerin kutuplarıyla ve kutup konumlarıyla oynayarak ortadan kaldırılabileceğini öne sürmüşlerdir. Governor Geçici Sarkma Yapısı (Temporary Droop Structure Governor) diye tasarladıkları bu yönteme TDGS ismini vermişlerdir.

(11) Özbay ve arkadaşları (2009), yaptıkları çalışmada, küçük bir hidroelektrik santralin bilgisayar ortamında, yük-frekans kontrolünü yapabilmek amacıyla, türbin, jeneratör ve regülatör modellerini ayrı üniteler halinde oluşturmuşlardır. Daha sonra bu modelleri birleştirerek, küçük bir hidroelektrik santral modeli elde etmişlerdir. Doğrusal türbinli hidroelektrik santral modeli, farklı yüklenme durumları için çalıştırılarak, güç ve frekansın zamana göre değişimleri elde edilmiştir. Çalışma sadece matematik modellemeden ve küçük bir deney setinden ibarettir.

(12) Luz ve arkadaşları (2010), hidroelektrik santrallerde kullanılan türbinlerin governor sistemlerinin modellenmesini bilgisayar ortamında tasarlayıp senkron ve asenkron jeneratör modellemesini yapmıştır.

(13) Yetim (2011), yaptığı çalışmada fiber optik sistemlerin tarihçesini incelemiş, iletim karakteristikleri, sistemin üstünlükleri, kullanım alanları ve Türkiye’de fiber optik kablo üretiminin mevcut durumunu incelemiştir. Aynı zamanda fiber optik kablolarda ışığın yansımalarını inceleyerek single mode fiberin kullanımını uygun görmüş ayrıca fiber optik kablolardaki zayıflamaları incelemiştir.

(14) Öztürk ve arkadaşları (2011), yaptıkları bu çalışmada, Türkiye’nin küçük su kaynakları yönünden mevcut potansiyelini araştırarak, bu potansiyelin değerlendirilmesi amacıyla kurulacak olan küçük ve çok küçük güçlü hidroelektrik santrallerin özellikleri ve

otomasyonu üzerinde durulmuşlardır. Özellikle gerilim ve frekans kontrolünün sağlanmasına yönelik otomasyon çalışmaları yapmışlardır. Hazırlanan deney seti üzerinde PLC ile PID kontrol sağlanarak; endüktif ve omik yük durumlarında frekans ve gerilim değişimleri incelenmiştir.

(15) Öztürk ve arkadaşları (2011), yine benzer bir çalışmalarında kapalı çevrim çalışan çok küçük bir hidroelektrik santral tasarlamışlar ve önceki çalışmalarındaki bulgularını bu set üzerinde gerçekleştirmişlerdir.

(16) Nadar ve arkadaşları (2011), bir bildiri yayınlamışlar ve bu bildiride, küçük ölçekli tipik bir hidroelektrik santrali için prototipi geliştirilen bir kontrol kumanda, ölçme ve koruma sisteminin, tasarımından test ve entegrasyonuna kadar geçen tüm süreçleri ve bu süreçlerde yapılması gerekli çalışmaları, gerçekleştirilen proje üzerinde anlatmışlardır. Proje scadada tasarlanmış yazılımı PLC olarak yazılmamıştır. Kontrol bilgisayarları olarak endüstriyel bilgisayarları kullanmışlardır.

(17) Naik ve arkadaşlarının (2011), yaptıkları çalışmada governor kontrol sistemini küçük hidroelektrik santrallere göre tasarımını PID kontrol kullanarak gerçekleştirmişler ve frekans denetimini grafiksel olarak simüle etmişlerdir.

(18) Scherer ve arkadaşları (2011), yaptıkları bu çalışmalarında mikro hidroelektrik santralleri üzerinde durmuşlardır ve temaslarını doğrusal olmayan mikro hidroelektrik santrallerinde kullanılan indüksiyon jeneratörleri üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Bir gerilim kaynağını inverter kullanarak güç kontrolü (VSI) şebekesine paralel olarak bağlamışlardır.

(19) Qian ve arkadaşları (2011), çalışmalarında bir hidrolik jeneratör hız kontrolü sistemini francis türbine göre ele alıp dört ana fonksiyon halinde tasarlamışlardır. Bu fonksiyonlar hidrodinamik, mekanik, servo, bloklarından oluşmaktadır ve sistemin matematiksel modellemesini yapmışlardır.

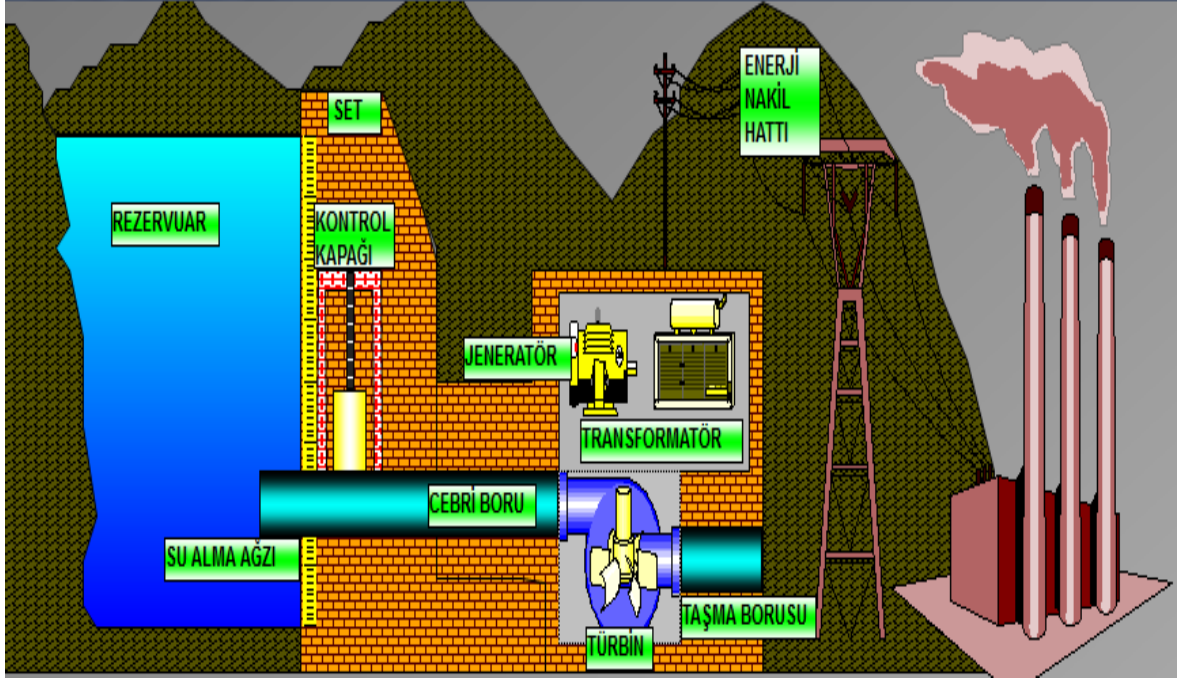
(20) Gökdemir ve arkadaşları (2012), yaptıkları çalışmalarında Türkiye'deki hidroelektrik santrallerine genel bakış yapmışlardır. Türkiye'de mevcut durumda kurulu bulunan, kurulması planlanan projeler ve potansiyelleri hakkında araştırmalar yapmışlardır.

(21) Zaevev ve arkadaşları (2012), çalışmalarında diğerlerine benzer şekilde hidroelektrik sistemlerdeki hız regülasyonu üzerinde durmuşlardır. Matematiksel modellemesini yaptıkları çalışmalarını C programını kullanarak bilgisayar ara yüzü oluşturmuşlardır. Simülasyon için ise matlab simulink kullanmışlardır. Verimlilik ve güvenlik konusunda önerilerde bulunmuşlardır.

(22) Saikia ve arkadaşları (2013), governorlerin mekanik kontrollerini tasarlamışlar ve matlab programı ile simüle etmişlerdir. Ayrıca bu tasarımda Integral (I), Proportional – Integral (PI), Integral – Derivative (ID), Proportional – Integral – Derivative (PID), Integral - Double Derivative (IDD), modelleme yöntemlerini kullanmışlardır.

(23) Thomasset (2014), yaptığı araştırmasında hidroelektrik sistemlerde üretilen güçlerin doğrultucuları üzerinde durmuş, yüksek güçlerinde düşürülmeden doğrultulabileceğini araştırarak bir DC-DC konvertörü tasarımı yapmıştır.

2. HİDROELEKTRİK SANTRALLER VE HİDROELEKTRİK ENERJİ



Şekil 2.1. Hidroelektrik santrallerin genel yapısı

Hidroelektrik enerji akarsu veya durgun suyun potansiyel enerjisini kullanıp kinetik enerjiye çevrilmesi ile sağlanan bir enerji türüdür. Suyun belirli yüksekliklerden aşağı doğru düşürülmesi sonucu oluşturduğu enerji türbinlerin dönmesini sağlar ve elektrik enerjisi üretilir. Hidroelektrik enerji üretiminde potansiyel, yağış rejimine de bağlıdır. Yani iklim değişiklikleri, küresel ısınma gibi şartlardan etkilenen hassas bir enerji türüdür. Hidroelektrik santrallerde öncelikli konu suyun baraj tarafından tutularak biriktirilmesidir. Biriktirilen su yükselerek potansiyel enerji depolanır. Depo edilen ve yükselen su bir cebri boru tarafından su alma ağzı ile emilerek türbinlere gönderilir. Su bu seviyeden sonra kinetik enerji kazanır ve türbinleri döndürmeye başlar. Türbinler, döndürme yani manyetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Değişken bir elektrik enerjisi elde edilir. Miktarı santralin büyüklüğüne, düşü yüksekliğine, suyun debisine ve türbinlere bağlıdır. Hidroelektrik santraller güçlerine göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadırlar.

Çizelge 2.1. Hidroelektrik santrallerin (HES) güçlerine göre sınıflandırılması [8]

Sınıfı	Güç (MW)	Uygulama Yeri
Büyük HES	100 ve üstü	Ulusal şebeke
Orta HES	10-100	Yerel ağlar veya ulusal şebeke
Küçük HES	1-10	Küçük yerleşim yerleri
Mini HES	0,1-1	Müstakil ev

2.1. Hidroelektrik Santrallerde Hız Regülasyonu

Regülasyon ve kumanda, bir ana işlemin otomatikleştirilmesine yarayan yardımcı işlemlerdir. Regülasyon tekniğinin görevi, teknik cihazlarda veya tesislerde bir malzemenin veya enerjinin miktarını veya basınç, devir sayısı, gerilim gibi fiziksel büyüklüklerin durumunu tasarlanmış bir plan çerçevesi içinde belirlenmiş standartlara göre kontrol etmek ve ayarlamaktır. Regülasyon olayında, bir büyüklüğün (örneğin frekans) önceden verilen değeri regülatörün ilgili bir organı tarafından devamlı olarak ölçülmek suretiyle kontrol edilir ve önceden verilen, yani istenen değerde herhangi bir değişme meydana geldiğinde bu değişiklik regülatör tarafından otomatik olarak düzeltilir. Kapalı bir devrede cereyan eden bu değişikliğin düzeltilmesi olayı kapalı regülasyon devresini oluşturur. Bir regülasyon olayı esnasında önceden öngörülen, yani istenen bir değer sabit kalması için regülasyonun da sabit olması gerekir. Bir regülatörün görev yapma derecesi, regülatörün, regülasyonda meydana gelen değişmelere karşı cevap verme kabiliyeti ile belirlenir. Regülasyon olayında meydana gelen değişmeler, yani regülasyon olayında meydana gelen değişiklikleri devamlı kontrol eden regülasyon devresi ölçme karşılaştırma organının vereceği sinyaller ekseri hallerde çok küçük olur. Bu küçük sinyaller regülasyon devresine ait kumanda organlarını doğrudan doğruya harekete geçiremezler. Bu yüzden regülasyon olayında meydana gelen değişiklikleri devamlı olarak kontrol eden, yani regülasyon büyüklüğünün mevcut değeri ile istenen değerini devamlı olarak karşılaştıran organın vereceği sinyallerin kuvvetlendirilmesi gerekir. Bu sinyallerin kuvvetlendirilmesi ile aynı zamanda regülasyon tertibatının regüle edilen teçhizat özelliklerine ve durumuna en isabetli uygunluğu da sağlanmış olur [5].

Bir regülatörün yaptığı regülasyon olayı, genel olarak aşağıda verilen farklı olayların sıra ile ve otomatik bir şekilde cereyan etmesinden meydana gelir:

Ölçme (kontrol): Regüle edilen yani regülasyona tabi tutularak ayarlanmaya çalışılan herhangi bir büyüklüğün mevcut değerinin tespit edilmesi.

Karşılaştırma (mukayese etme): Regülasyona tabi tutularak olması istenen herhangi bir büyüklüğün mevcut değer ile istenen değeri arasındaki farkının karşılaştırılması.

Kuvvetlendirme ve zamansal hareket oranının teşkili: Kumanda ve ayar büyüklüğü olarak herhangi bir değer üretilmesi.

Kumanda (ayar): Regülasyona tabi tutulan herhangi bir büyüklüğün değerinin istenen değeri elde edilinceye kadar enerji akımının veya kütle hareketinin değiştirilmesi olayıdır [5].

Herhangi bir hidroelektrik türbin tesisinde sistemden çekilen güç arttığı zaman alternatörler zorlanmayla karşı karşıya kalırlar. Buna bağlı olarak da türbinlerin devri düşer. Türbinlerin devirleri düşünce gerilim ve frekans değerleri de standartların dışına sapmaya başlar (gerilim ve frekans düşer). Türbinleri normal çalışma devrine ayarlayabilmek için türbin sistemine gelen suyu artırmak gerekir. Benzer durumda eğer sistemden çekilen güç azalırsa alternatördeki suyun boşalmasına bağlı olarak türbinlerin devirleri artar. Buna bağlı olarak da gerilim ve frekans değeri standartların üstüne çıkar. Gerilim ve frekansı normale, türbinlerin devrini de normal devire düşürebilmek için türbin sistemine giren su miktarını azaltmak gerekir. Bu kontrolü sağlayabilmek için kullanılan sistem türbinlerin devirlerini ölçen bir sensör ve devri sabit tutmak için sensörden alınan bilgiye göre ayar kanatlarını açıp kapatarak sisteme giren suyun miktarını ayarlayan bir mekanizmadan oluşmaktadır. Hız regülatörleri türbinlerin hızını kontrol etmek için kullanılmaktadırlar. Yani hız regülatörlerinin görevi ister mekanik olsun ister elektriksel olsun türbinlerin milindeki hızı yani türbin devrini ayarlamaktır. Tüketiciler tarafından enerji kullanımı normalin dışında arttığı zaman daha fazla güce ihtiyaç duyulur ve bu ihtiyaca karşılık olarak da türbin girişine daha fazla su verilir, benzer olarak daha az güce ihtiyaç duyulduğunda ise türbin girişi kısılarak daha az miktarda suyun türbinlere girişi sağlanır. Küçük enerji sistemleri için genellikle yük kontrol regülatörleri kullanılmaktadır. Bunların yapısı diğer sistemlere göre daha basittir. Maliyetin düşük olması istenilen bütün mikro hidrolik sistemlerde yük kontrol regülatörleri tercih edilmektedir. Yük kontrolü bir elektronik cihazdan ibarettir. Kullanıcı yükünün değişmesinde, jeneratör sabit bir elektrik yükü sağlar. Türbinler debi

akış kontrol cihazına ve regülatör sistemine ihtiyaç duymaz. Türbinlerin debisi sürekli olarak standart değerinde tutulur. Yük kontrolü jeneratörde daima sabit bir elektrik yükünü garanti eder. Türbinlerin çıkış güçleri sabittir, dolayısıyla buna bağlı olarak da türbinlerin hızları da sabit olacaktır. Çalışma mantığı, tüketiciler tarafından enerji kullanım durumuna göre daha az yüke ihtiyaç olduğu anlarda türbin hızı ve frekans düşmeye başlar, bu durum yük kontrolü tarafından algılanır ve ilave yük sağlamak üzere dirençler devreye girer, böylece kullanıcı yükünün değişmesi durumunda da jeneratördeki toplam yük sabit kalır.

2.2. Hidroelektrik Santral Türbinlerinde Kullanılan Hız Regülatörü Organları

Su türbinlerinin devir sayısı regülasyonun da kullanılan hız regülatörleri genel olarak basınçlı yağ ile çalışırlar. Yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılan bu basınçlı yağın işletme basıncı 35-40 kg/cm²'ye kadar çıkabilir. Hidrolik düşüşü 50 m'den daha yüksek olan santrallerde sadece kapama maksadı için yardımcı enerji kaynağı olarak cebri borudaki su basıncından istifade edildiği tesisler de vardır. Ekseri hallerde küçük su türbinlerindeki yük-devir sayısı regülasyonu el ile ve mekaniksel olarak yapılır. Fakat 5000 mkg'dan daha büyük güçlü su türbinlerinin yük-devir sayısı regülasyonu için mutlaka yardımcı bir enerji kaynağından istifade edilir. Su türbinlerinin yük-frekans (devir sayısı) regülasyonunda kullanılan bir hız regülatörü, değişik kısımlarının yerine getirdiği görevlere göre, *aşağıda kaydedilen ana organlardan meydana gelir*;

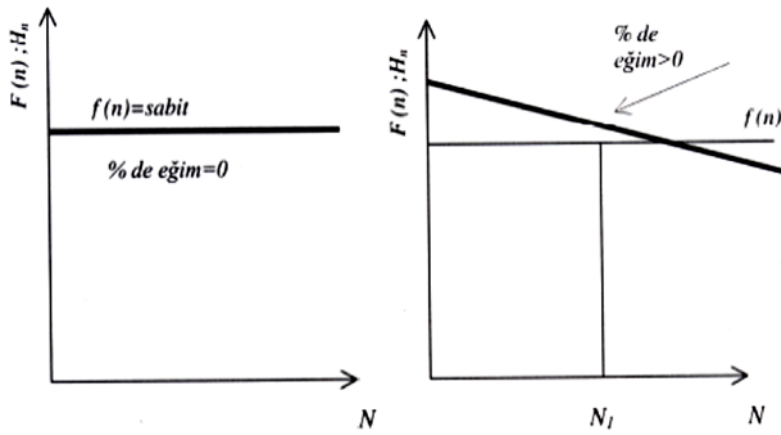
- Ölçü tertibatı ve ölçü değeri vericisi,
- Pilot valf ve tevzi valfi tertibatları ile hareket iletim kolları,
- Geri besleme tertibatı (restore mekanizması),
- Daimi statik, stabilime tertibatı ve yardımcıları,
- Devir sayısı ayar tertibatı, uzak ve mahalli kumanda tertibatları,
- Limitleme tertibatları,
- Geçici statik ve yüksüz dönme sahası ayarı tertibatı,
- Emniyet tertibatları,
- Basınçlı yağ sistemleri,
- Regülasyon kuvvetlendiricileri (ayar kanatları kumanda servo motorları) [5].

2.3. Hız Regülasyonunun Gerçekleşmesi ve Karakteristik Eğrilerinin İncelenmesi

Bir hidroelektrik santralde bir jeneratörü tahrik eden bir su türbininin verdiği güç ne olursa olsun bu su türbininin devir sayısının pratik olarak sabit kalması mecburiyeti vardır. Su türbininin sabit kalması zorunlu olan devir sayısı, jeneratörün nominal devir sayısına isabet eden devir sayısıdır. Bir jeneratörü tahrik eden su türbininin devir sayısı, jeneratörün yükü arttığı zaman azalmak ve jeneratörün yükü azaldığı zamanda artmak ister. Devir sayısındaki bu artışlar, hız regülatörü tarafından türbin ayar kanatlarının bir miktar kapatılması ve devir sayısındaki azalışlar ise türbin ayar kanatlarının bir miktar açılması ve geçen su debilerinin değiştirilmesi ile önlenabilir [5].

2.3.1. Astatik (kararsız) ve statik (kararlı) hız regülasyonu

Şekil 2.2’de görülen ve bir koordinat sistemi üzerinde güce bağlı olarak yatay bir frekans eğrisine sahip olan bir hız regülatörünün türbinin devir sayısını istenilen bir değerde sabit tutabileceği düşünülebilir. Ancak, böyle eğimsiz yatay bir karakteristik eğriye sahip olan hız regülatörlerine "astatik" yani kararsız hız regülatörü adı verilir ve böyle karakteristikli bir hız regülatörü ile yük frekans regülasyonu yapma olanağı yoktur. Zira bu tip hız regülatörleri ile çalışan iki makinede yükün makinelere ne şekilde dağılacığı bilinemez. Bu gibi hallerde makinelere yük dağılımı belirsiz olur ve örneğin, makinelerden bir tanesi bütün yükü üzerine almak isterken diğer makine yüksüz kalabilir. Astatik hız regülatörleri, ani yük değişimlerinde devir sayısı ve frekans titreşim ve salınımlarına da sebebiyet verirler. Birden fazla türbin jeneratör gurubunun paralel çalışabilmelerini sağlayabilmek için yukarıda açıklanan astatik karakterli durumun, yani herhangi bir devir sayısına birçok değişik güçlerin isabet edişi keyfiyetinin önüne geçmek gerekmektedir. Bunun için de belirli bir devir sayısına ve belirli bir frekansa belirli bir gücün isabet etmesini temin etmek zorunlu olmaktadır. Bu iş ise, ancak, statik karakteristik eğrili bir hız regülatörü ile temin edilebilir. Statik karakteristikli bir hız regülatörüne ait karakteristik eğrisi, bir koordinat sistemi üzerinde hafifçe meyilli bir eğri şeklinde olmaktadır. Aşağıdaki şekilde statik karakteristikli bir hız regülatörüne ait karakteristik eğrisi gösterilmiş bulunmaktadır. Bu şekilde görülen hafifçe meyilli eğriye "statik" veya "statik karakteristik" adı verilmektedir [5].



Şekil 2.2. Astatik ve statik karakteristlikli hız regülatör eğrisi [5]

2.3.2. Daimi statik veya sürekli devir sayısı değişimi veya hız düşümü

Statik karakteristlikli bir hız regülatörüne sahip bir hidrolik türbin jeneratör ünitesinin frekans ve devir sayısının, ünitenin üzerindeki yük arttıkça düştüğü veya ünitenin üzerindeki yük azaldıkça da arttığı Şekil 2.2'den kolayca anlaşılmaktadır. Türbin jeneratör ünitesinin yükündeki artış esnasında bir an için devir sayısı ve frekansta meydana gelen azalma, %d ile gösterilen "statik" veya "sürekli devir sayısı değişimi" veya "hız düşümü" = speed drop" olarak ifade edilmektedir. %d statik veya hız düşümü (speed drop), türbin-jeneratör ünitesi yüksüz dönme durumundan nominal yükü ile dönme durumuna geçtiği zaman devir sayısında veya frekansta meydana gelen değişimin % olarak miktarını vermektedir. Bir hidrolik türbin jeneratör ünitesinin yüksüz dönme esnasında ki devir sayısı n_0 ve nominal yükteki devir sayısı ise n olsun, yani ünite yüklendiğinde devir sayısı n_0-n kadar azalmış olsun. Bu durumda ünitenin %d statik' i yani %d devir sayısı değişimi aşağıdaki eşitlikteki gibi olacaktır [5].

$$\%d = \frac{n_0 - n}{n_0} 100 \quad (2.1)$$

Bu ifadeye göre, örneğin, 1000 d/d ile boşa dönmekte olan bir hidrolik türbin jeneratör ünitesi nominal yükü ile yüklendiğinde 750 d/d ile dönmüş olsa bu üniteye ait hız regülatörünün statik ayarı, yani hız düşümü ayarı, aşağıdaki işlemin sonucunda görüldüğü gibi olur [5].

$$\%d = \frac{1000 - 750}{1000} 100$$

$$\%d = 25$$

Yukarıdaki ifadede jeneratörü tahrik eden türbinin devir sayısı yerine jeneratörün frekansının göz önüne alınması daha uygun olur. Devir sayısı ile frekans arasındaki bağıntı denklem 2.3'de ki gibi olduğuna göre ve jeneratörün çift kutup adedi olan P ile 1 dakika 60 sn. değerleri de sabit olduğuna göre $P/60=k$ diyecek olursak aşağıdaki ifadeleri kaydedebiliriz [5].

$$f = (P/60) n \quad (2.2)$$

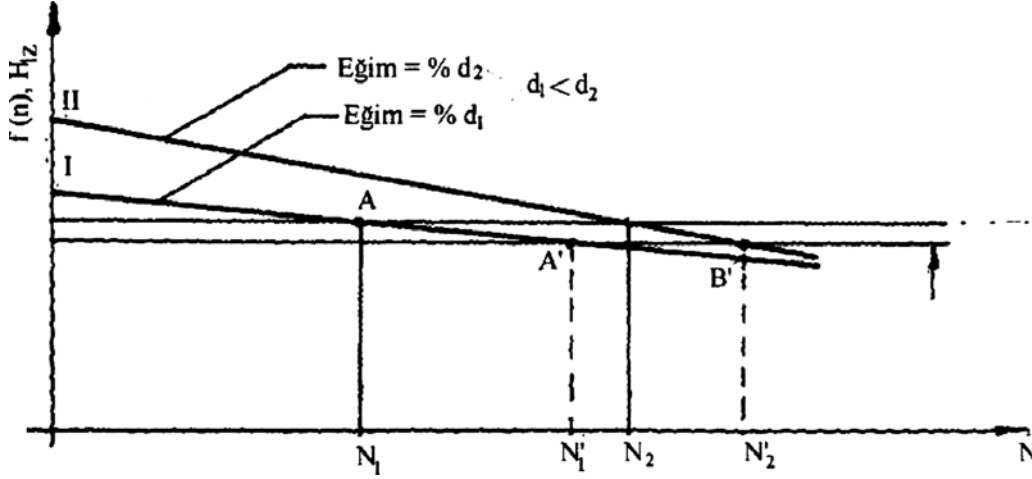
$$f = kn \quad (2.3)$$

$$d = (\Delta f / f)100 \quad (2.4)$$

2.3.3. Türbin jeneratör ünitelerinin yük dağılımı

Birbirleri ile paralel çalışan iki türbin-jeneratör ünitesi üzerinden yola çıkarak; şekil 2.3'te görüldüğü gibi bu ünitelerden bir tanesine ait hız regülatörünün karakteristik eğrisi I ve diğerine ait hız regülatörünün karakteristik eğrisi ise II ile numaralandırılmıştır. Bu türbin jeneratör ünitelerinin besledikleri sistemin frekansı $f=50$ Hz olduğuna göre I numaralı ünite P_1 yükü ile ve II numaralı ünite ise P_2 yükü ile çalışarak sisteme toplam olarak $\Delta P = P_1 + P_2$ değerinde bir güç vermektedirler. Sistemin frekansı veya sistemin ünitelerden çektiği güç değişmediği sürece veya ünitelere ait hız regülatörü karakteristik eğrilerinin eğimleri değiştirilmediği sürece bu durum değişmez. Çünkü sistemin $f=0$ Hz olan frekansına uygun olan noktalar A ve B noktalarıdır ve üniteler bu noktalar da çalışmaya zorlanmaktadırlar. Yüksek frekansla çalışan ünite diğerinden yük alarak yavaşlamaya ve düşük frekansla çalışan ünite ise yüksek frekansla çalışan üniteye yük vererek hızlanmaya çalışır. Bu yük alışverişi her iki ünite aynı frekansa sahip oluncaya kadar devam edecek ve en sonunda mutlaka denge durumu meydana gelecektir. Eğer sistemin yükü artar, örneğin $\Delta P'$ değerine çıkacak olursa üniteler de bu yeni yüke uygun olarak $\Delta P'=P'_1 + P'_2$ olacak şekilde yükleneceklerdir. Bu yeni durumda sistemin frekansı bir an için bir miktar düşecek ve $P'_1 + P'_2$ yüküne uygun bir değer alacaktır. % statik veya % hız düşümü veya % frekans değişimi ifadesine göre; örneğin hız düşümü (sepet drop) ayarı $d=\% 0,1$ 'e ayarlanmış olan bir hız regülatörü ile yük-frekans regülasyonu yapılan bir sistemin frekansında meydana gelecek

düşme $\Delta f = (\% d.f) / 100 = (0,1.50) / 100 = 0,05$ Hz olacaktır. Yani sistemin frekansı $f = 49,95$ Hz olarak ayarlanacaktır. [5]



Şekil 2.3. Farklı statik karakteristikli hız regülatörleri ile regüle edilen ve paralel çalışan iki türbin jeneratör ünitesinin yük dağılımı [5]

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi;

- Frekans $f = 50$ Hz için toplam yük $\Delta P = (P_1 + P_2)$
- Frekans $f' = f - \Delta f$ için toplam yük $\Delta P' = (P'_1 + P'_2)$

Frekansın Δf kadar düşmesi halinde;

- Ünitenin yükündeki artış $= (P'_1 - P_1)$
- Ünitenin yükündeki artış $= (P'_2 - P_2)$

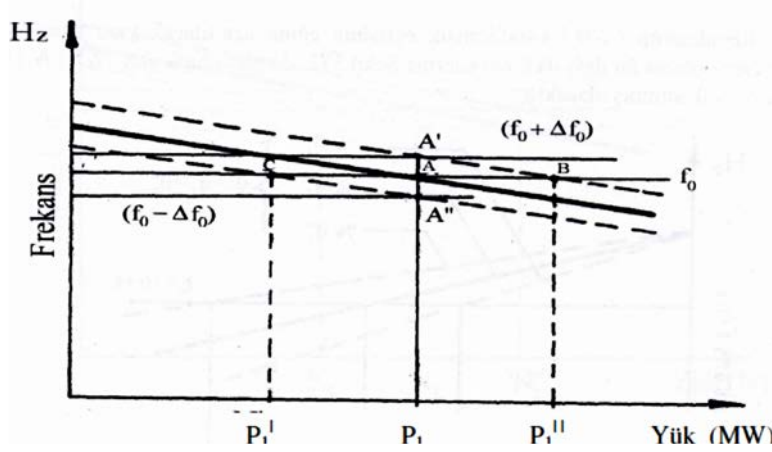
Karşılaştırma: $(P'_1 - P_1) > (P'_2 - P_2)$ ve $\Delta P' > \Delta P$ olacaktır.

Frekansın bir miktar yükselmesi halinde de bu durumun tersi geçerlidir.

2.3.4. Türbin jeneratör ünitesinin yükünün değiştirilmesi

Frekansı sabit ve f_0 Hz değerinde olan bir sistemi P_1 yükü ile beslemekte olan bir türbin jeneratörün yükü artırılmak istenirse, yani üniteden daha fazla bir yük alınmak istenirse bu türbin-jeneratör ünitesinin yük-frekans regülasyonunu yapmakta olan hız regülatörüne ait karakteristik eğrisinin paralel olarak yukarı doğru kaydırılması gerekir. Keza, ünitenin yükü azaltılmak istenirse bu defa da hız regülatörüne ait karakteristik eğrisinin aşağı doğru

kaydırılması gerekir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi karakteristik eğrisinin, yukarı veya aşağı doğru kaydırılması esnasında statik ayarı, yani hız düşümü ayarı değişmez [5].



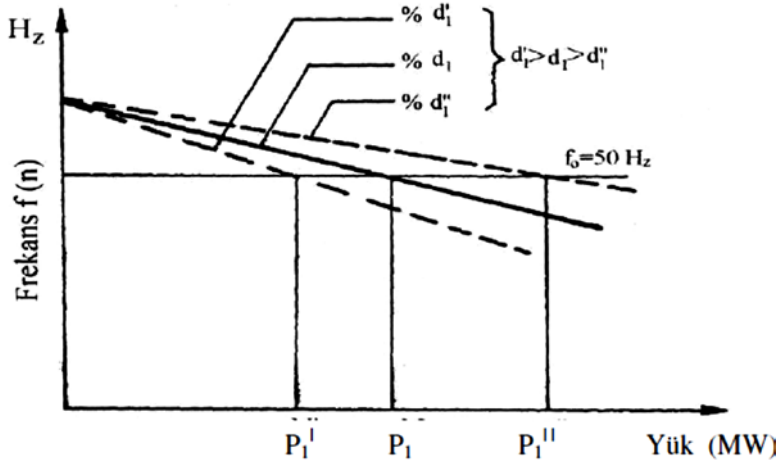
Şekil 2.4. Türbin jeneratör ünitesinin yükünün, hız regülatörüne ait karakteristik eğrisinin kaydırılması suretiyle değiştirilmesi [5]

Şekil 2.4'te görülen karakteristik eğrinin, el ile veya hız motorunu kumanda etmek suretiyle, yukarı doğru kaydırılması esnasında üniteye hızlanma yönünde kumanda verilmiş olunur ki, bu sırada A noktasına denk gelen devir sayısı bir an için A' noktasına denk gelen daha yüksek bir devir sayısı değerine yükselir. A' noktasının frekansı sistemin f_0 frekansından Δf_0 kadar daha yüksek olduğu için jeneratör sistemden yük çekerek yavaşlamaya başlar ve neticede Δt kadar bir zaman içinde f_0 sistem frekansına ve P_1' yüküne tekabül eden B noktasında denge meydana gelir. Bu esnada da türbin-jeneratör ünitesinin yükü $P_1' - P_1$ kadar artmış olur. Yukarıda izah edilen hadisenin aksine ünite üzerinden yük bırakılırken, yani karakteristik eğrisi aşağı doğru kaydırılırken de C noktasında denge hasıl olur ve ünitenin yükü $P_1 - P_1'$ kadar azalmış olur [5].

2.3.5. Türbin jeneratör ünitesi hız regülatörünün statik ayarının değiştirilmesi

Frekansı sabit bir f_0 Hz değerinde olan bir sisteme P_1 yükü ile iştirak etmekte olan bir türbin-jeneratör ünitesine ait hız regülatörünün daimi statik ayarı, yani hız düşümü ayarı, daha doğrusu karakteristik eğrisinin eğimi değiştirilecek olursa türbin jeneratör ünitesinin yükünde de bir değişme meydana gelir. Örneğin, karakteristik eğrisinin eğimi artırılacak olursa bu taktirde aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi ünite üzerinden yük atılmış olacaktır. Bu durumda yükteki azalma miktarı $P_1 - P_1'$ kadardır. Regülatörün karakteristik eğrisinin

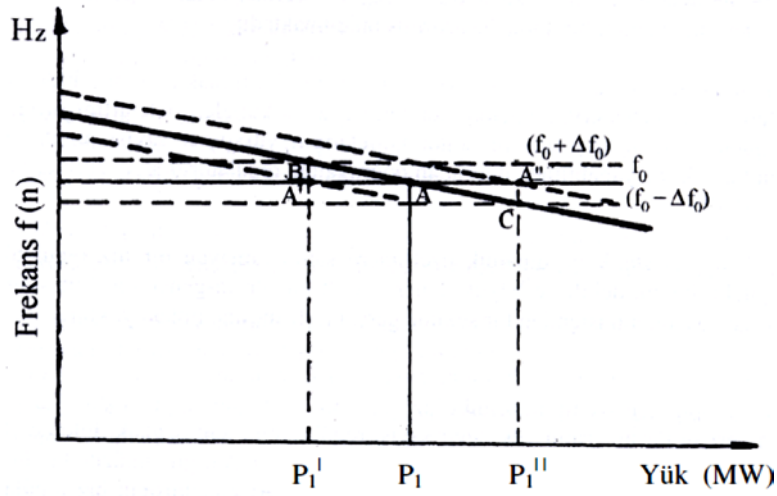
eğimi azaltılacak yani daimi statığı azaltılacak olursa bu defa da ünite üzerine şekil 2.5'te görüldüğü gibi $P_1' - P_1$ kadar ilave bir yük alınmış olacaktır [5].



Şekil 2.5. Karakteristik eğri [5]

2.3.6. Türbin jeneratör ünitesinin sistem frekansına iştirak etmesi

Bir şebekenin sabit f_0 Hz değerinde olan frekansının herhangi bir sebeple Δf_0 kadar arttığını veya Δf_0 kadar azaldığını düşünelim. Sistem frekansı Δf_0 kadar arttığı veya Δf_0 kadar azaldığında, bu sistemle paralel olarak çalışan ve frekans kontrolü yaptırılmayan bir türbin-jeneratör ünitesine ait hız regülatörünün karakteristik eğrisinde herhangi bir değişiklik olmaz. Yani bu karakteristik eğri aşağı veya yukarı doğru kaymadığı gibi regülatörün statik ayarı da bozulmaz. Sistem frekansının Δf_0 kadar artması veya Δf_0 kadar azalması halinde ünitenin yükü, hız regülatörünün statik ayarına, yani hız düşümü ayarına bağlı olarak, belirli sınırlar dahilinde değişir ve ünite $f_0 + \Delta f_0$ veya $f_0 - \Delta f_0$ frekansı ile dönmeye baslar. Bu durumda sistem frekansını normal f_0 değerini ayarlayabilmek için sistemin frekans tutmayan ünitelerinden, frekansın yükselmesi halinde yük bırakmak ve frekansın düşmesi halinde ise frekans tutmayan ünitelerin hız regülatörlerine hızlanma yönünde kumanda vererek karakteristik eğrilerini yukarı doğru kaydırmak ve ünitelere yük almak gerekmektedir. Aşağıdaki şeklin tetkikinden de görülebileceği gibi, frekansı f_0 olan şebekede A noktasına isabet eden P_1 yükü ile çalışan bir ünitenin frekansı Δf_0 kadar arttığında, ünite B noktasına isabet eden P_1' yükü ile dönmeye baslar. Bu durumda sistemin frekans tutan ünitesine yardım etmek için karakteristik eğrisinin aşağı doğru kaydırılıp ünitenin A' noktasına isabet eden P_1' yükü ile çalıştırılması gerekir [5].

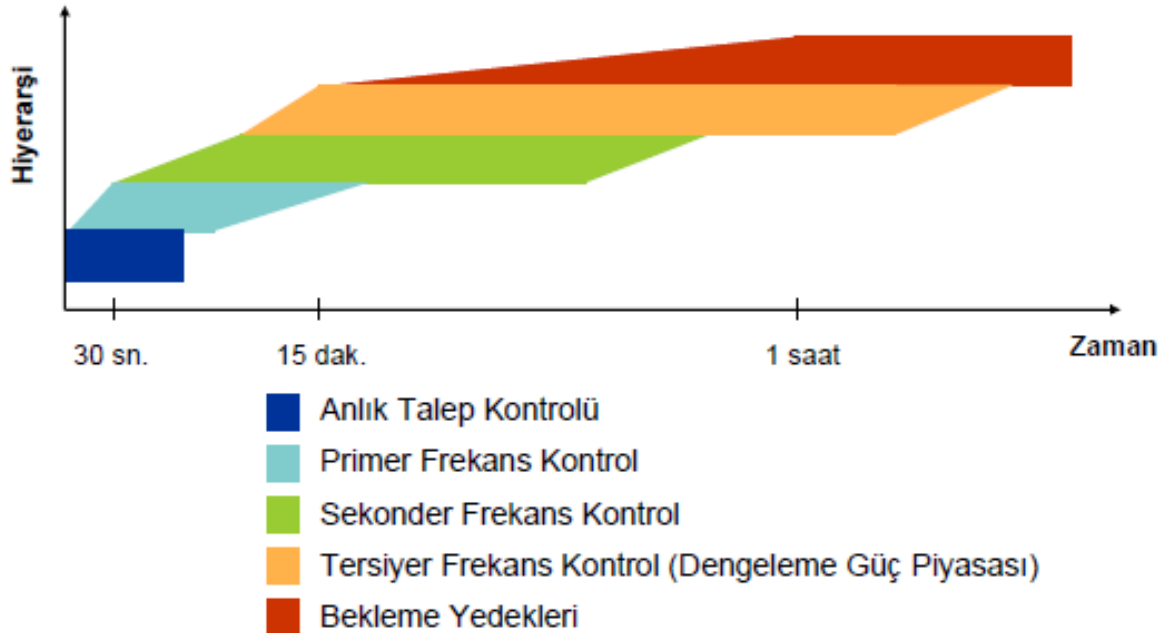


Şekil 2.6. Frekans tutmayan bir türbin jeneratör ünitesinin, sistem frekansının nominal (f_0) değerinde tutulmasına iştirak ettirilmesi [5]

Frekansın Δf_0 kadar düşmesi halinde de ünite, A noktasına isabet eden P_1 yükü yerine C noktasına isabet eden P_1'' yükü ile dönmeye baslar. Bu durumda da hız regülatörü hız motoruna artırma yönünde kumanda verilerek karakteristik eğrisinin yukarı doğru kaldırılması ve frekans kontrolü yapmayan bu ünitenin A' noktasına isabet eden P_1' yükü ile çalıştırılması gerekmektedir [5].

2.4. Prime Frekans Kontrolü

Sistem frekansının belirlenen seviyelerde tutulabilmesi amacıyla frekans kontrolüne yönelik yan hizmetler belli bir hiyerarşi içinde devreye alınır. Frekans kontrolüne yönelik hizmetlerin hiyerarşisi şekil 2.7'de gösterilmektedir [16].

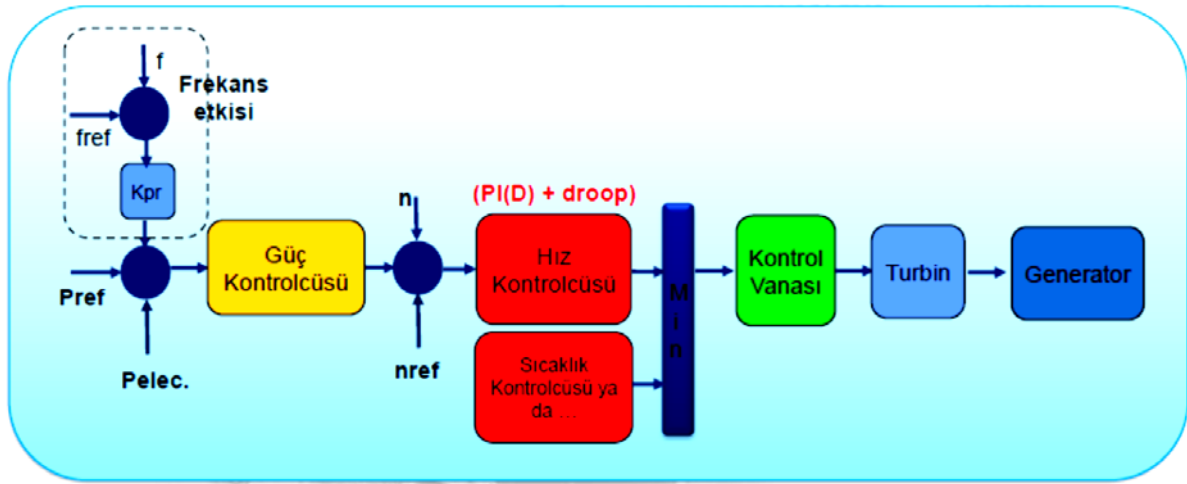


Şekil 2.7. Frekans kontrolüne yönelik hizmetlerin hiyerarşisi [16]

Basit olarak bir elektrik şebekesinin davranışı; bir motor ve bu motorun yükünün birleşiminden oluşmuş bir makine davranışı ile karşılaştırılabilir. Enterkonnekte çalışan senkron jeneratörler normal şartlarda senkronize dönerler ve her birine türbin tarafından uygulanan mekanik tork, sistem tarafından uygulanan elektriksel tork'a eşit olur. Jeneratörlerin hızları da eşit olur. Motor bir güç üretir ve yük bu gücü harcar. Eğer üretilen güç tüketiciler tarafından harcanan güce eşit olursa; sistem dengededir ve motorun hızı sabittir.

Eğer motor, yükün harcadığından daha çok güç üretirse hız, benzer şekilde motor yükün harcadığından daha az güç üretirse hız azalır. Bir elektrik sisteminde üretim ve tüketim arasındaki dengesizlik, jeneratörlerin kinetik enerjisinde artış veya azalışa ve dolayısıyla da jeneratörlerin dönüş hızlarının değişmesine (yani frekans değişimine) neden olur. Elektrik enerjisinin depolanma imkanı yoktur. Elektriğin üretildiği anda tüketilmesi gerekir ki üretim ve tüketimin eşit olması istenir. Çünkü üretim ve tüketimin eşit olduğu an frekansın 50,00 Hz olduğu andır. Prime frekans kontrolünün amacı enterkonnekte sistemde üretilen enerji ile tüketilen enerji arasındaki dengeyi sağlamaktır. Üretim ile tüketim arasındaki denge durumunda şebeke frekansı sabit bir değerdedir. Enterkonnekte sistemde üretim tüketim dengesini bozacak çeşitli dalgalanmalar olduğu durumlarda enterkonnekte frekansında bir sapmaya neden olur. (Ani bir üretim sisteminin devre dışı kalması, çeşitli

üretim sistemlerinin yük alması atması, iletim hatlarında açma kapama olaylarının yaşanması ve sistemde ani yüklerin devreye girmesi vs.). Primer kontrolde çalışan üretim sistemleri bu dalgalanmaya cevap vererek sistem frekansının sabit değerde kalmasını sağlar. Enterkonnekte sistemdeki açma-kapama olayları ve ani üretim kayıpları milisaniyeler seviyesinde bir zamanda gerçekleşir ve üretim sistemlerinin primer frekans kontrol sistemleri bu süre içerisinde buna cevap verip sistemdeki dengesizliği giderecek imkana sahip değildirler. Bu tür durumlarda enterkonnekte sisteme bağlı tüm üretim sistemleri tepki verir ve kendi kinetik enerjilerini harcayarak üretim tüketim dengesini sağlarlar. Yaşanan bu tür olaylar şebeke sistemine bir frekans sapması olarak yansır [16].



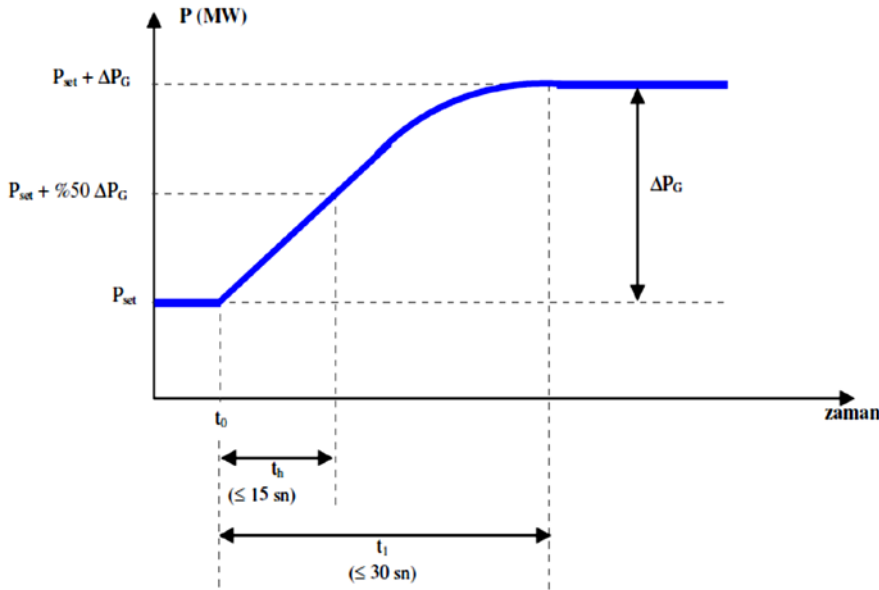
Şekil 2.8. Primer frekans kontrolü, temel uygulama prensipleri [18]

Pratik olarak eğer bir dalgalanma durumunda kinetik enerjilerini kaybetmeye başlayan üretim sistemlerine ilave bir enerji verilmezse (vanalara açma-kapama yaptırarak veya kazana yakıt ilavesi ya da azaltılmasıyla) frekansı ya sıfırlayacak, ya da aşırı artarak sisteme bağlı üretim sistemlerinin durmasına neden olacaktır. Teker teker santralların tip etmesi neticesinde tüm elektrik sistemi oturacaktır. Sistemde bu olayın oluşmasını önlemek için şebekeye bağlı bazı santralların prime frekans kontrolü yapma zorunluluğu vardır. Primer frekans kontrolü yapacak santrallar kabiliyetleri ölçüsünde belirlenen oranlarda primer frekans kontrolüne katılmalıdır. Bu oranlar şu an; hidroelektrik santrallar için %10, kömür ve doğal gaz yakıtlı termik santrallar için ise %5 'tir [18].

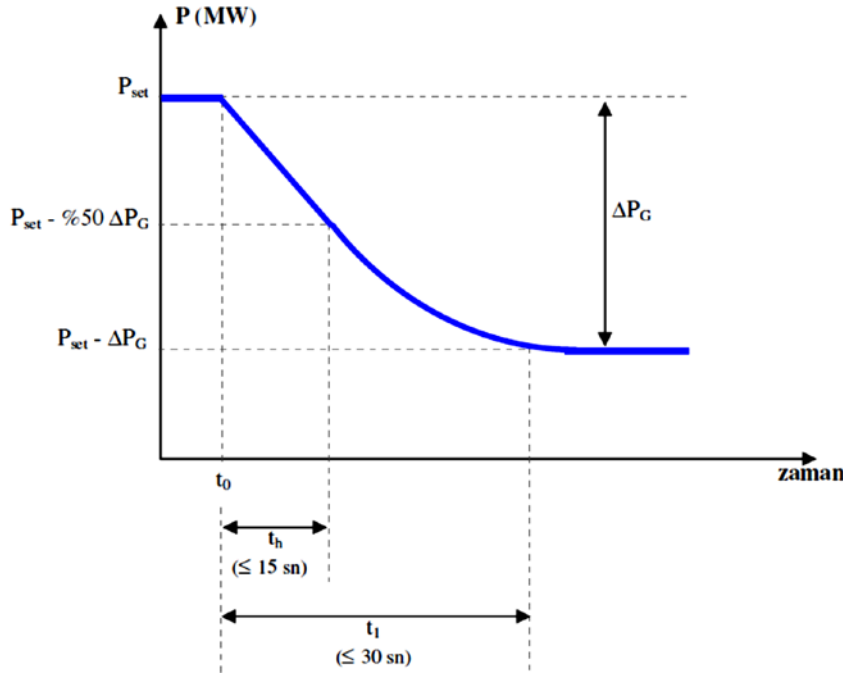
UCTE standartları çerçevesinde en düşük anlık frekans 49,98 Hz'in altına düşmemelidir, en yüksek anlık frekans 50,02 Hz'in üzerine çıkmamalıdır. Frekansın 49,98 Hz'in altına düşmesi durumunda yük atma röleleri otomatik olarak çalışır [16].

Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliğine (EPŞY) göre; Üretici, primer frekans kontrolü hizmeti kapsamında, primer frekans kontrol rezerv miktarını, sistem frekansında meydana gelen sapmalar doğrultusunda, primer frekans kontrol tepkisi olarak sürekli sağlayacaktır. Primer frekans kontrolüne katılan üniteler, sistem frekansının ünite için ayarlanan ölü bantlı mitlerinin dışına çıkması ile hemen tepki vermeye başlayacak ve çıkış gücünü, frekans değişimine göre arttıracak ya da azaltacaktır [5].

Primer frekans kontrolüne katılan her bir ünite için, sistem frekansında ± 200 mHz'lik frekans sapması oluşması durumunda etkinleştirmesi gereken rezerv miktarı, primer frekans kontrol rezerv kapasitesi Q olarak, imzalanacak olan zorunlu yan hizmetler anlaşmasında belirtilir. Ünitelerin primer frekans kontrol performansı, sistem frekansında ± 200 mHz'lik sapma olması durumunda primer frekans kontrol rezerv kapasitesini Q hız eğim değeri (speed-drop) oranında, en fazla 30 saniye içinde lineer olarak tamamen etkinleştirebilecek ve ulaştığı bu çıkış gücünü en az 15 dakika sürdürebilecek yeterlilikte olmalıdır [16, 17].



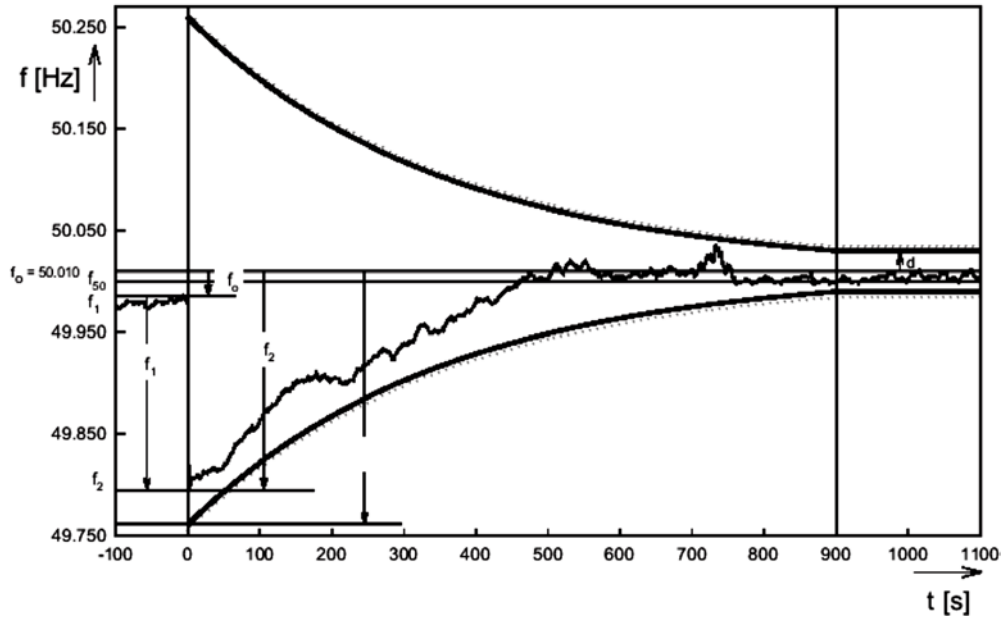
Şekil 2.9. Sistem frekansının düşmesine ünitenin primer frekans kontrol tepkisi [5]



Şekil 2.10. Sistem frekansının yükselmesine ünitenin primer frekans kontrol tepkisi [5]

UCTE elektrik sistemindeki frekans kalitesi; UCTE kriterlerine göre eğer frekans sapması $\pm 20\text{mHz}$ 'i geçerse primer frekans aktive olur. Primer kontrol yapan üniteler frekanstaki sapmayı takip edecek maksimum 15 saniye içerisinde primer rezerv yükünün % 50'sini, 30 saniye içerisinde de tamamını lineer olarak aktive edebilmelidir. UCTE kriterlerine göre minimum anlık frekans 49,98 Hz' in altına düşmemeli, maksimum anlık frekans 50,02 Hz'in üzerine çıkmamalıdır. Ünitelerin Primer frekans kontrol sisteminin duyarsızlık aralığı mümkün olduğu kadar küçük olmalı ve ± 10 mHz'i aşmamalıdır. Primer frekans kontrol rezervi, hiç bir kesintiye maruz kalmadan her zaman, emre amade olmalıdır. Büyük frekans sapmaları sırasında, frekans değeri, sistem şartlarına da bağlı olarak belirlenen parametrelerle tespit edilmiş trompet eğrisi içerisinde kalmalıdır [5, 13].

Türkiye elektrik sistemindeki frekans kalitesi; Türkiye elektrik sisteminde santrallerin frekans kontrol sistemine duyarsızlık aralığı santrallerin tipine ve işletme şartlarına göre farklılıklar göstermekte olup duyarsızlık aralığı (ölü bant) 0-100 mHz arasında değişmektedir. UCTE kriterlerine göre normal işletme sırasında kabul edilebilir frekans sapmasının ± 20 mHz olması gerekirken ülkemizde bu yaklaşık ± 100 mHz'dir.



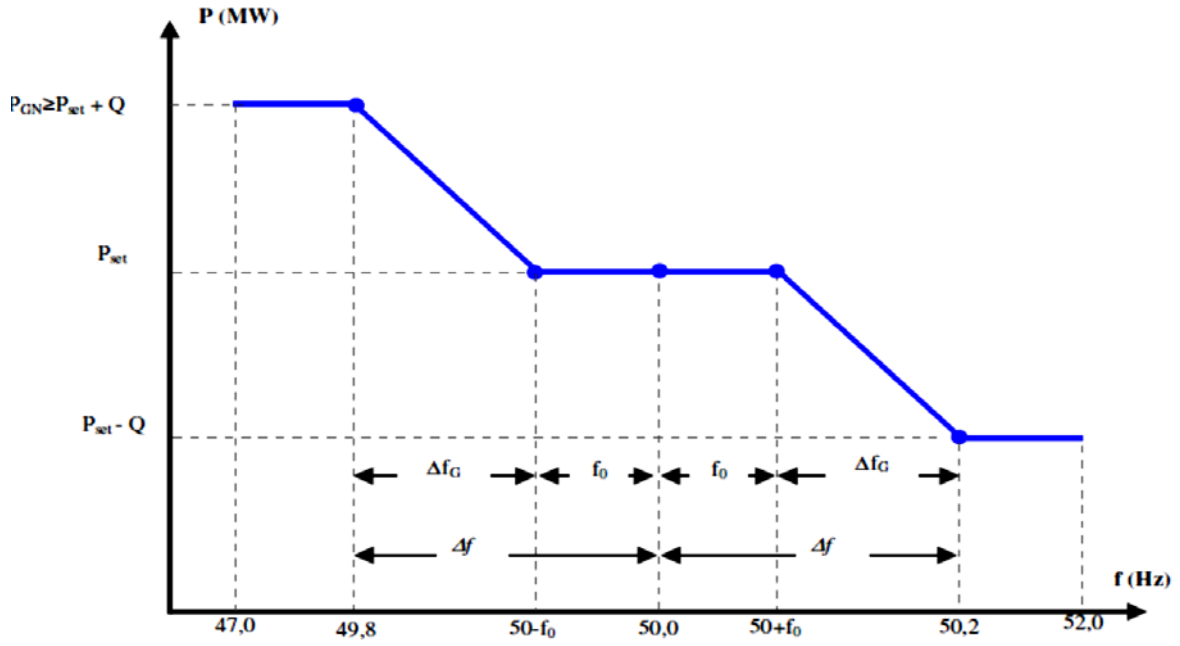
Şekil 2.11. UCTE Kriterlerine göre frekans trompet eğrisi [18]

Santrallerin primer frekans kontrolü performansı yapılan testlerle belirlenmekte olup, genelde UCTE kriterlerine göre rezerv yüklerinin %50'sini ilk 15 saniye içerisinde tamamını 30 saniyede lineer olarak verebilmekteler. Ancak bazı santraller bu kriterleri yerine getirememektedir [18].

Ülkemizdeki anlık frekans saptmaları bu değerlere çok yakındır ve iyileştirilmesi yönünde yapılan çalışmalar vardır. Ülkemizdeki büyük frekans saptmaları sırasında, frekans değeri sistem şartlarına da bağlı olarak belirlenen parametrelerle tespit edilmiş trompet eğrisi içerisinde kalmalıdır.

2.5. Ölü Bant

Belirli seviyelerdeki frekans değişimine kadar üretim sistemine ait olan primer frekans kontrol sisteminin sessiz kalması, cevap vermemesine *ölü bant* denir. Ölü bant anında çıkış yükü her zaman sabittir. Bu uygulama sadece prime kontrol sistemine uygundur. Ölü bant aralığı uygulaması, şebeke frekansı stabilizesi için istenmeyen bir durum olsa da üretim sisteminin uzun ömürlü olması bakımından faydalı bir yöntemdir.



Şekil 2.12. Primer frekans kontrolüne katılan ünitelerin sistemdeki frekans sapmalarına göre aktif çıkışları [5]

P_{set} : Ünite çıkış gücünün ayarlanmış değeri

f_0 : Ünite kontrol sisteminin frekans sapmalarına tepki vermediği frekans aralığı

Q : Prime frekans kontrol rezerv kapasitesi

Δf_G : Ünitenin ölü banttıan sonra algıladığı frekans sapma miktarı

Δf : Sistem frekansındaki sapma miktarı

Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği (EPŞY)'ne göre; ünitelerin hız eğim ve ölü bant değeri, sistemin ihtiyacına göre TEİAŞ tarafından belirlenir. Ünitelerin hız eğim değeri ve ölü bant değeri ayarlanabilir yapıda olmalıdır. Ünitenin hız eğimi, primer frekans kontrol rezerv kapasitesi Q miktarına karşılık gelen değere ayarlanmalıdır. Ancak, TEİAŞ tarafından hız eğiminin farklı bir değerde olması istenmesi halinde, yük alma ve yük atma yönünde sınırlayıcı veya benzeri bir fonksiyonla üretici bunu sağlamalıdır. Ünitelerin primer frekans kontrol sisteminin duyarsızlık aralığı mümkün olduğu kadar küçük olmalı ve ± 10 mHz'i aşmamalıdır. Primer frekans kontrol rezervi, hiç bir kesintiye maruz kalmadan her zaman, hazır olmalıdır [5].

2.6. Sekonder Frekans Kontrolü

Sekonder frekans kontrolü, sekonder kontrol rezervlerini kullanarak aşağıdaki koşulları sağlamak amacıyla bir kontrol alanındaki üretimi regüle eden merkezi otomatik bir fonksiyondur.

- Diğer bütün kontrol alanları ile güç alışverişini programlanan değerde tutmak
- Kontrol alanından kaynaklanan bir frekans sapması durumunda, frekansı ayar değerine geri getirmek
- Primer kontrol tarafından kullanılan kapasitenin serbest bırakılmasını sağlamak
- Bu fonksiyonları yerine getirmek için, sekonder kontrol programı periyodik olarak Alan Kontrol Hatasını (ACE) hesaplar ve kontrolü altındaki santrallere ayar değerleri gönderir
- Sekonder kontrol, PI tipinde bir kontrol özelliğine sahiptir
- Sekonder kontrol, dakikalar mertebesinde yapılan bir kontroldür [5].

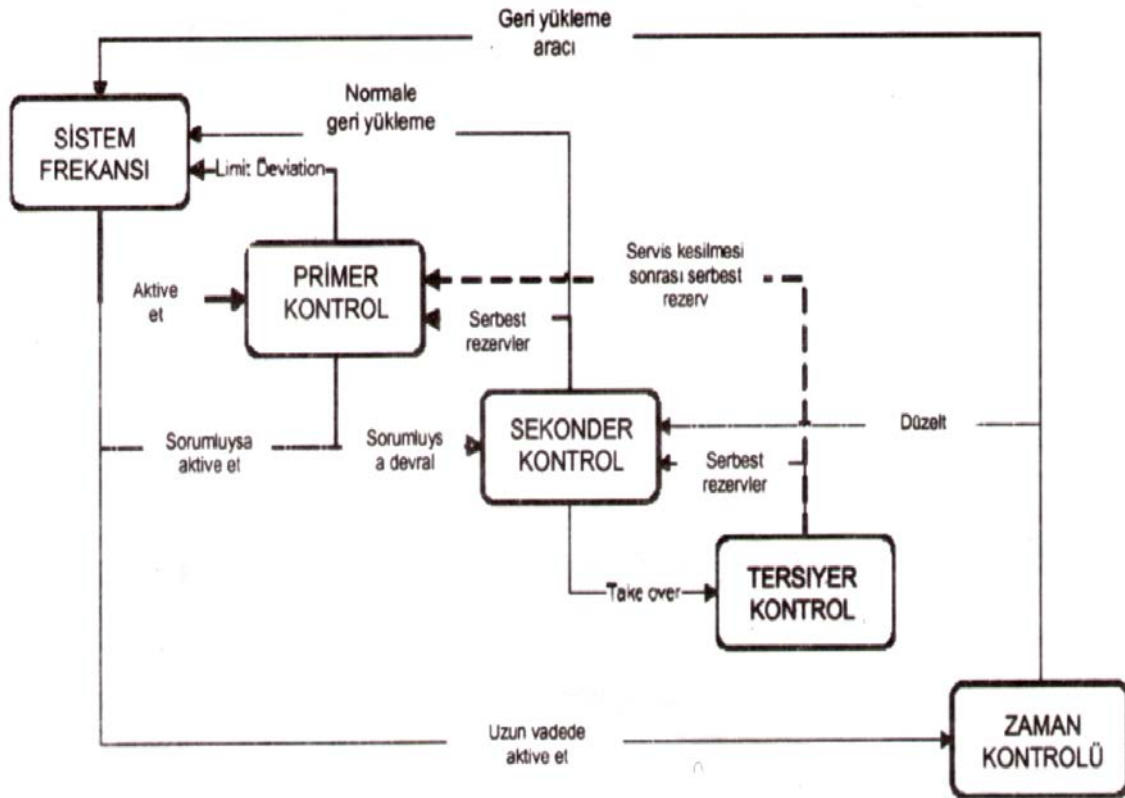
2.7. Tersiyer Frekans Kontrolü

Tersiyer frekans kontrolünün diğer adı üçüncül kontroldür. Üçüncül kontrol gerektiğinde yeterli bir sekonder kontrol rezervine sahip olmak için, jeneratörlerin çalışma noktalarında yapılan herhangi bir değişimdir [5].

Değişimler aşağıdaki şekillerde yapılabilmektedir:

- Gücün bağlanması ve tetiklenmesiyle (devreye sokma), (gaz tribünleri, rezervuar ve pompa santralleri, hizmetteki jeneratörlerin çıkışlarını artırarak ya da azaltarak)
- Sekonder kontrole katılan jeneratörlerin çıkışlarını yeniden dağıtarak
- Enterkonnekte taahhütler arasındaki güç iç değişim programını değiştirerek
- Yük kontrolü, (örneğin merkezîleştirilmiş uzaktan kontrol ya da kontrollü yük atma) [5].

Tipik olarak, tersiyer kontrolünün işletimi programlamanın zaman çerçevesine bağlıdır, fakat ilke olarak, enterkonnekte işletme üzerinde sekonder kontrol ile aynı etkiye sahiptir. Frekans kontrolünün blok diyagramı aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir [18].



Şekil 2.13. Frekans kontrolünün blok diyagramı [18]

2.8. Türbin Gücü

H_n : Suyun net düşüşü (m)

Q : Türbin çark kanatları arasından 1 sn. de geçen su miktarı olan debi (m^3/sn)

γ : Suyun özgül ağırlığı (kg/m^3)

η : Türbinin mekanik ve hidrolik kayıplarına bağlı olan türbin verimi (%) olmak üzere [5].

Hidrolik türbinlerde elde edilen türbin gücü:

$$N = \frac{Q \cdot H_n \cdot \gamma}{75} \eta \quad (BG) \quad (2.5)$$

$$N = \frac{Q \cdot H_n \cdot \gamma}{102} \eta \quad (KW) \quad (2.6)$$

Örneğin bir santral sisteminde:

Net Düşüsü ; $H_n = 210$ m.

Debisi ; $Q = 145$ m³/sn.

Verimi ; $\eta = 0,95$ olan bir su türbininin gücü hesaplanacak olursa;

$$\gamma_{\text{su}} = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

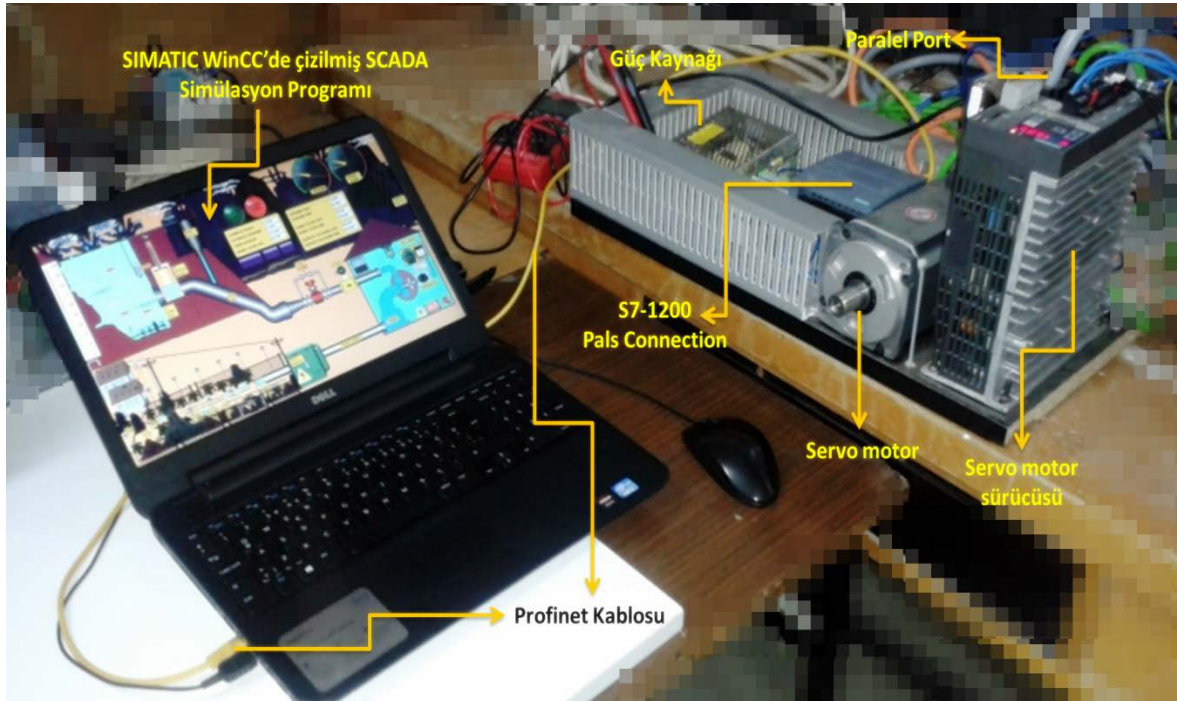
$$N = \frac{145 \cdot 210 \cdot 1000}{75} \cdot 0,95$$

$$N = 385700 \text{ BG}$$

$$N = \frac{145 \cdot 210 \cdot 1000}{102} \cdot 0,95$$

$$N = 283603 \text{ KW} \quad [5].$$

3. UYGULAMA



Resim 3.1. Projeye ait donanımların genel görünümü

Uygulamada kullanılan donanıma ait ünitelerin görevleri ve özellikleri aşağıda verilmiştir:

Profinet kablosu: Endüstriyel ethernet haberleşmesinde öncü ve standart belirleyici olan Profinet, yeni firmware ile shared device, I-device, profienergy, MRP, kullanıcı tanımlı web server, mini-IP config ve option handling inovasyonlarını sunmaktadır. Bu özelliklerin kullanılması ile daha az donanım kullanımı, mevcut sistemlere yeni fonksiyonlar ekleyebilme, daha kısa projelendirme zamanı, enerji tasarrufu ve modüler makine konsepti gibi faydalar sağlanabilmektedir.

- Shared device özelliği ile iki farklı kontrolör aynı cihazdan veri okuyup yazabilir.
- Bu cihaz I/O istasyonu olabileceği gibi hız kontrol cihazı da olabilir.

Bu özelliğin kullanılması, mevcut sistemlerde:

- Yeni özellikler eklenebilmesine ve mevcut CPU'nun genişletilemediği durumlarda ikinci bir CPU'nun ilave edilmesine olanak sağlar.

- Fail Safe olmayan sistemlere bu özelliğin eklenebilmesini sağlar.
- Yeni kurulan sistemlerde, devreye alma aşamasında oluşabilecek isteklerin karşılanmasına elverişlidir.
- Fiyat olarak çok pahalı olan sensör bilgilerinin birden çok PLC tarafından paylaşılabilmesini ve üretim hatlarının kolayca genişletilebilmesini sağlar.
- Ayrıca daha az cihaz kullanımı ile kurulum maliyetleri de azalmaktadır.
- Shared Device özelliği ile kurulum maliyeti yüksek olan sensörleri iki CPU paylaşır.
- I - Device özelliği ile CPU üzerindeki Profinet portu, hem I/O kontrolör hem de I/O cihaz olabilir.
- CPU – CPU haberleşme gereken uygulamalarda, bu özellik kullanımı ile I/O imaj seviyesinde veri paylaşımı sağlandığı için herhangi bir program yazmaya veya PN/PN Coupler kullanımına gerek kalmamaktadır.

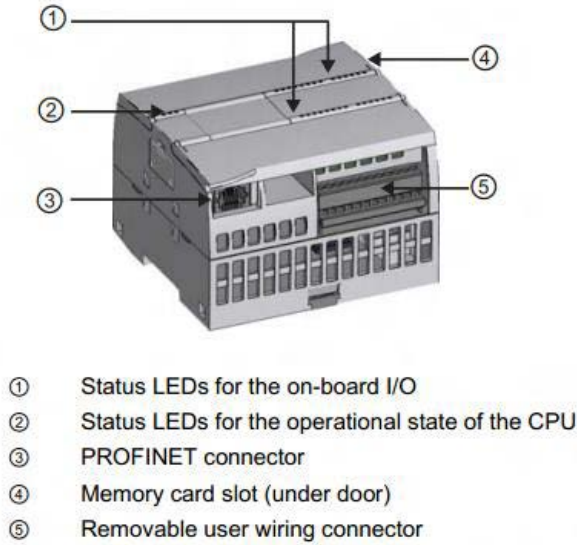
Paralel port: Bilgisayarlar, yazıcı, tarayıcı, fare, klavye, servo motor ile sürücü, PLC vb. çeşitli çevre birimlerine sahiptir. Bilgisayar bu cihazlara dijital olarak bilgi gönderir ve bu cihazlardan dijital olarak bilgi alır. Bilgisayar çevre üniteleriyle haberleşmek için seri veya paralel portları kullanır. İletişim cihaza göre seri veya paralel olabilir. Her portun bilgisayar belleğinde bir adresi bulunur ve her açılıшта BIOS bu adres değerlerini RAM belleğe yeniden yükler. Sürücü portunun da belirli bir adres değeri vardır. Bu adres değeri kontrol edilerek sürücü portuna bağlı olan aygıtın, yani servo motorun kontrolü sağlanır. Sürücü bilgisayara yakın olduğundan aradaki iletişim paraleldir ve bu sebeple sürücü portuna *paralel port* adı verilir. IBM uyumlu PC/XT/AT bilgisayarlarda en fazla üç adet paralel port adaptörü bulunur. Kurulum adresine bağlı olarak paralel portun işlemci I/O haritasındaki adresi 278h, 378h veya 3BCh olabilir. Adresleme hekzedesimal sayılarla yapılır. Bu sebeple kullanılan sayıları hekzedesimal olduğunu ifade etmek içinde sonda “h” harfi kullanılır.

Her port data, status ve control olmak üzere üç ayrı port adresinden oluşur. Bunlara *paralel port yazmaçları* da denir. Paralel portun yazmaç adresleri bu portun taban adresine göre sıralıdır. Eğer paralel port BIOS tarafından LPT1’e tahsis edilmişse data portu 378h adresinde, status portu 379h adresinde ve control portu 37Ah adresinde bulunur. Paralel port adresleri tipik olarak aşağıdaki listede gösterildiği gibidir.

Data portu status kontrol:

- LPT1 ; 378h, 379h, 37Ah
- LPT2 ; 278h, 279h, 27Ah
- LPT3 ; 3BCh, 3BDh, 3BEh.

S7-1200 TIA ve Portal: S7-200 ailesi yerine üretilen yeni nesil giriş seviyesi işlemcilerdir. Küçük ve orta ölçekli otomasyon işlerinde kullanılır. Seri port yerine iletişim ethernet (Profinet) üzerinden paralel port ile sağlanır. Kompakt bir yapıya sahiptir. Totally Integrated Automation (TIA) kelimelerinin kısaltılmışıdır. Simatic manager'in yeni versiyonudur. Siemens'in S7-1200, S7-300 ve S7-400 ailesi PLC'leri programlamak ve yönetmek için kullanılan yeni nesil editörüdür. Sadece program yazmakla kalmaz, aynı zamanda operatör panel programlama ve scada oluşturmada da kullanılır.



Şekil 3.1. S7-1200 Tia ve Portal donanımı

Servo motor sürücüsü: Girişlerine gelen 50 Hz şebeke frekansını analog girişine gelen 0-10 V ile değiştirerek AC motora ileten ve motorun hızını kontrol eden cihazlar sürücülerdir. Üzerindeki bağlantı veya yazılımlarla motorun dönüş yönünü de değiştirebilirler. Motor sürücü teknolojisi, sürüş işleminin üretkenliğini ve verimliliğini artırırken tam bir motor hızı kontrolü sunmaktadır. Düşük kapasiteye ihtiyaç duyulduğunda, sürücü makinenin hızını azaltarak enerji tasarrufu sağlar. Projede kullanılan servo motor 0,75 KW Siemens marka motordur.

Servo sürücü donanımları şöyledir:

Doğrultucu; 1/3 fazlı 50 Hz'lik şebeke doğrultucuda DC akıma dönüştürülür.

Ara devre (DC bara); oluşturulan bu DC gerilim kapasite ve bobinlerden meydana gelen ara devre (DC bara) tarafından darbeleri filtre edilir.

Evirici (inverter); motor fazlarını, pozitif ya da negatif DC baraya belirli bir sıralama ile bağlar.

Simatic WinCC: Ölçeklenebilir scada sisteminin yeni versiyonu MS-SQL server veri tabanı kullanan arşivleme sistemi ve yeni analiz fonksiyonların içermektedir. WinCC V7.3'ün objeleri operatöre gerek duyulan müdahaleleri daha hızlı ve etkin bir şekilde yapmasına izin verecek görsel uyarılarda bulunmaktadır.

Merkezi olarak değiştirilebilen tasarım şablonları yardımı ile tüm scada sayfalarında aynı "Look ve Feel" elde edilebilmektedir. İstenildiği takdirde bütün objelerin tasarımı Runtime'da (çalışır durum) iken ilgili şablon seçilerek değiştirilebilmektedir. Objelerin renklerinin atanmasında merkezi olarak değiştirilebilen renk paleti kullanılırsa, daha sonra yapılacak renk değişikliği için tek bir müdahale yeterli olmaktadır.

WinCC verilerine internet üzerinden erişimi sağlayan WinCC Data Monitör araçları ve fonksiyonları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- *Excel Work Books* ile proses değer arşivleri, alarmlar ve aktüel verileri kullanılarak Excel'de raporlar hazırlanabilir, bu raporlar web sayfalarında yayınlanabilir.
- *Process Screens* ile yayınlanan WinCC proses sayfaları görüntülenebilir.
- *Trends and Alarms* ile proses değer arşivleri ve alarmlar analiz edilebilir.
- *Published Reports* aracı ile, zamana ve olaya bağlı Excel Work Books raporları ve pdf formatında WinCC Report Designer raporları oluşturulabilir.
- *Webcenter* aracı, kişiye özel web sayfaları tasarlanabilir. Bu sayfalarda pie grafiği, bar grafiği, trend grafiği, trend istatistik analizi, alarm tablosu, proses veri tabloları, alarmlar.

Simatic WinCC V7.3 iki yeni sürücü barındırır.

- Ethernet IP protokolü üzerinden Allen-Bradley PLC'ler,
- TCP/IP haberleşmesi üzerinden Modbus protokolü WinCC scada sistemi.

3.1. Profinet Haberleşme Protokolü

Profinet bir çeşit profibus standardı olarak düşünülebilir. Ancak diğer tüm haberleşme protokollerine göre oldukça hızlı ve ekonomiktir. Son yıllarda bazı önemli PLC üretim firmaları yeni ürünlerini Profinet tabanlı olarak üretmektedirler. Bu durum Profinet protokolü kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Profinet kullanımında belirli adımlar yer almaktadır. Bunlar aşağıda sıra ile verilmektedir.

Profinet aşağıdaki faydaları sağlar:

- Maksimum tesis verimliliği için yüksek hassasiyette hızlı iletişim
- Hızlı ve kolay kurulum olanağı sağlayan çift portlu kablo bağlantısı
- Sistem güvenilirliğini artıran kararlı ve güvenli veri aktarımı
- Esnek ağ entegrasyonu için açık standart programlama
- Gelecekteki projelerde Profinet sisteminin kullanılabilir olmasını sağlayan kolay takılır opsiyon modülü
- Kullanım süresi boyunca sistem genişletme çalışmalarının kolayca yapılmasını sağlayan dahili ethernet switch.

Bilgisayarlar arası haberleşme IP paketleri aracılığıyla yapılmaktadır. TCP protokolü büyük olan verileri parçalara ayırır, IP ise bu verilerin hangi yoldan olursa olsun vericiden alıcıya gitmesini sağlar. İnternete bağlanan her cihazın bir IP adresi vardır. Bu IP adresleri içerisinde ağ kimlikleri (Network ID) ve konut kimlikleri (Host ID) bilgilerini de taşıyan ondalık sayı şeklinde yazılır.

Örneğin: 192.168.1.1. Bir bilgisayarın IP adresi varsa, internet üzerindeki tüm bilgisayarlar bu adresi kolayca bulur. Yani bir sitenin IP adresini biliyorsanız, web tarayıcınıza bu adresi yazarak da bağlanabilirsiniz. Ancak bu rakamları akılda tutmak zor olduğundan her bir IP adresine karşılık gelen alan adları verilmiştir.

Çoğu internet servis sağlayıcılarda bulunan özel sunucu bilgisayarlardan (Alan Adı Sunucuları - Domain Name Server- DNS) oluşan bir ağ, hangi alan adının hangi IP adresine karşılık geldiği bilgisini tutar ve kullanıcıları doğru adreslere yönlendirir. İnternet'te trafiğin işlemesi bu IP adreslerine bağlıdır. Böylece hiçbir karışıklık olmaz. Ethernet ağındaki cihazın modül adresidir. Ethernet ağ cihazlarına tanınabilmeleri için dünyada eşi ve benzeri olmayan seri numarası verilir. Bu numaralar üretici firmalar tarafından fabrikada atanır.

Ethernet, Token Ring, Wi-Fi, Bluetooth, FDDI, SCSI gibi protokollerde kullanılmak üzere, herhangi bir bilgisayar ağında, bir cihazın ağ donanımını tanımaya yarar.

MAC kelimesi ortam erişim yönetimi anlamına gelir ve kısaltma terimini de İngilizce olarak yazılan anlamının yani Media Access Control (MAC) baş harflerinden almıştır.

Altı sekizlik uzunluktadır ve onaltılık formatta yazılmaktadır.

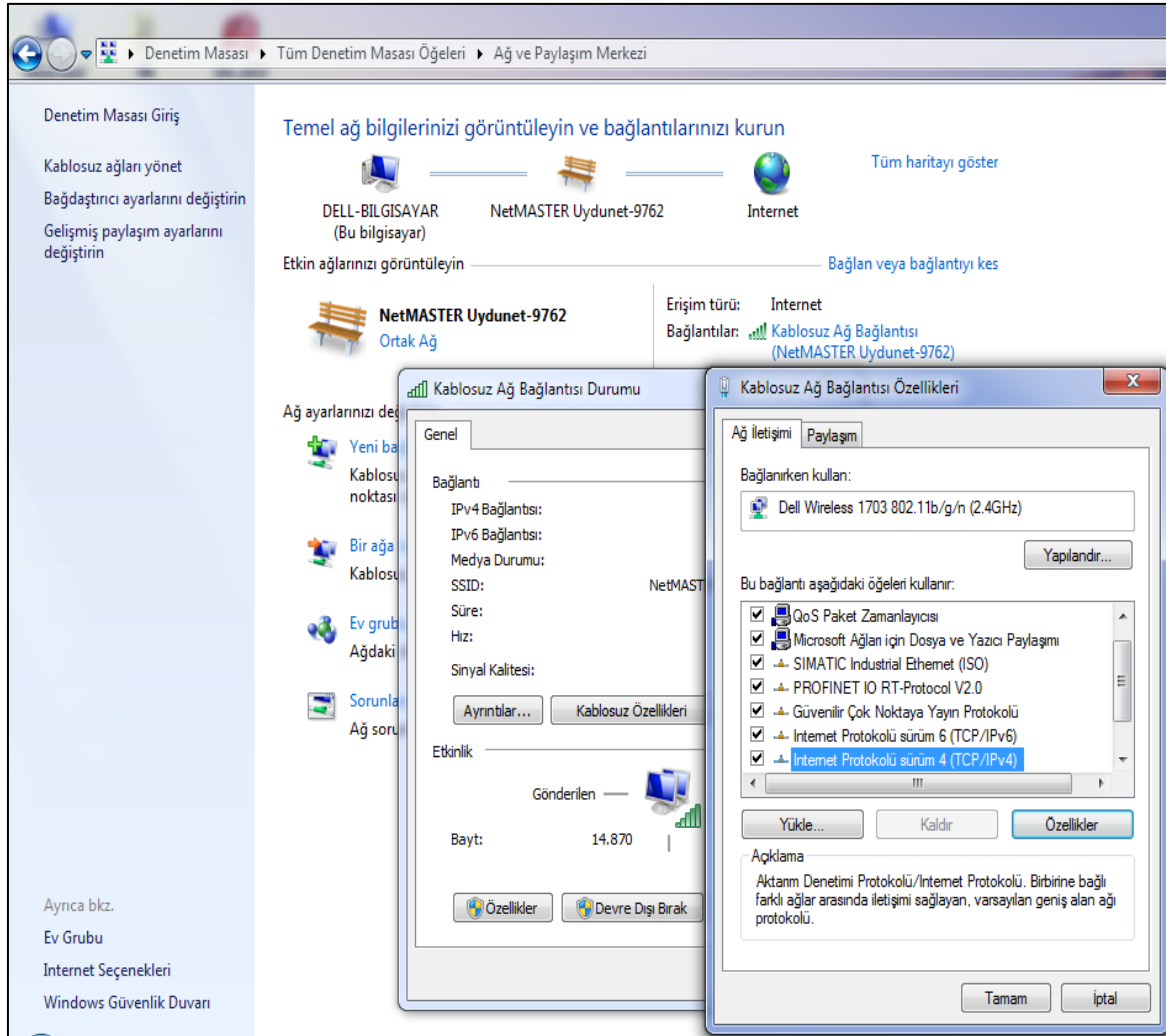
Örneğin: 00-20-D6-88-49-41.

PC-PLC Bağlantısı İçin PC'de Ethernet Ayarlarını Yapılması;

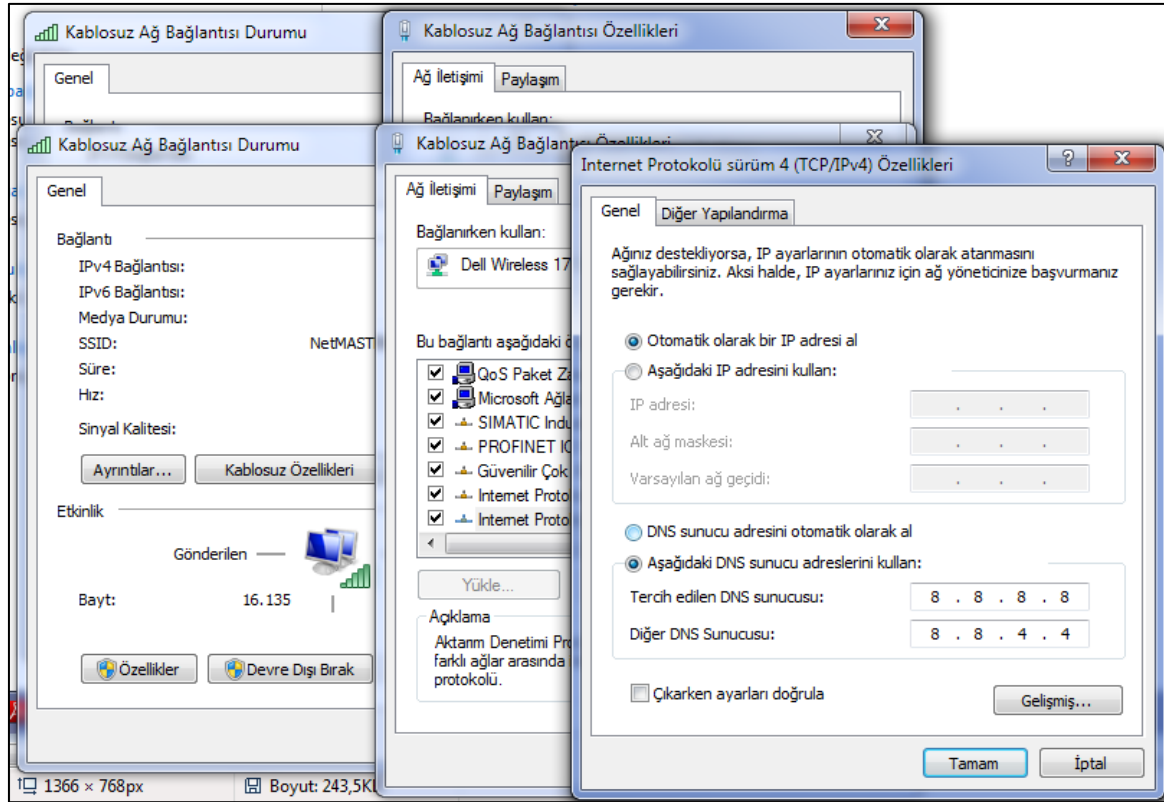
Ağ bağlantıları →Local Area Connection→Özellikler

Protokol TCP/IPv4 seçimi yapılır ve özellikler seçilerek IP adresi ve ağ maskesi adresi yazılır.

Ethernet protokol TCP/IP seçiminin yapılması Resim 3.2.'de gösterilmiştir.

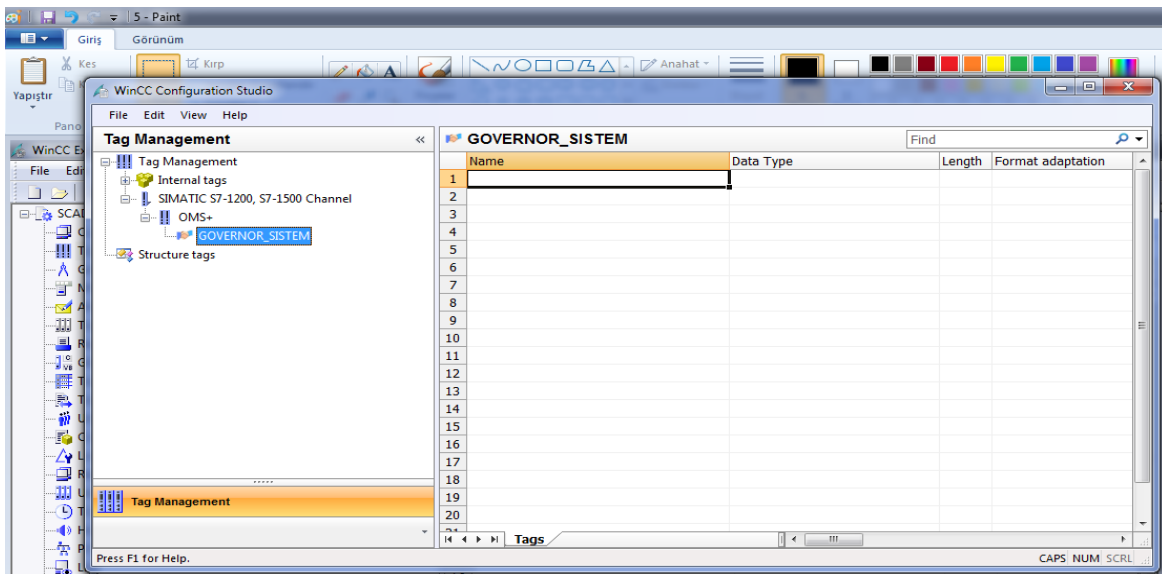


Resim 3.2. Ethernet protokol TCP/IP seçiminin yapılması

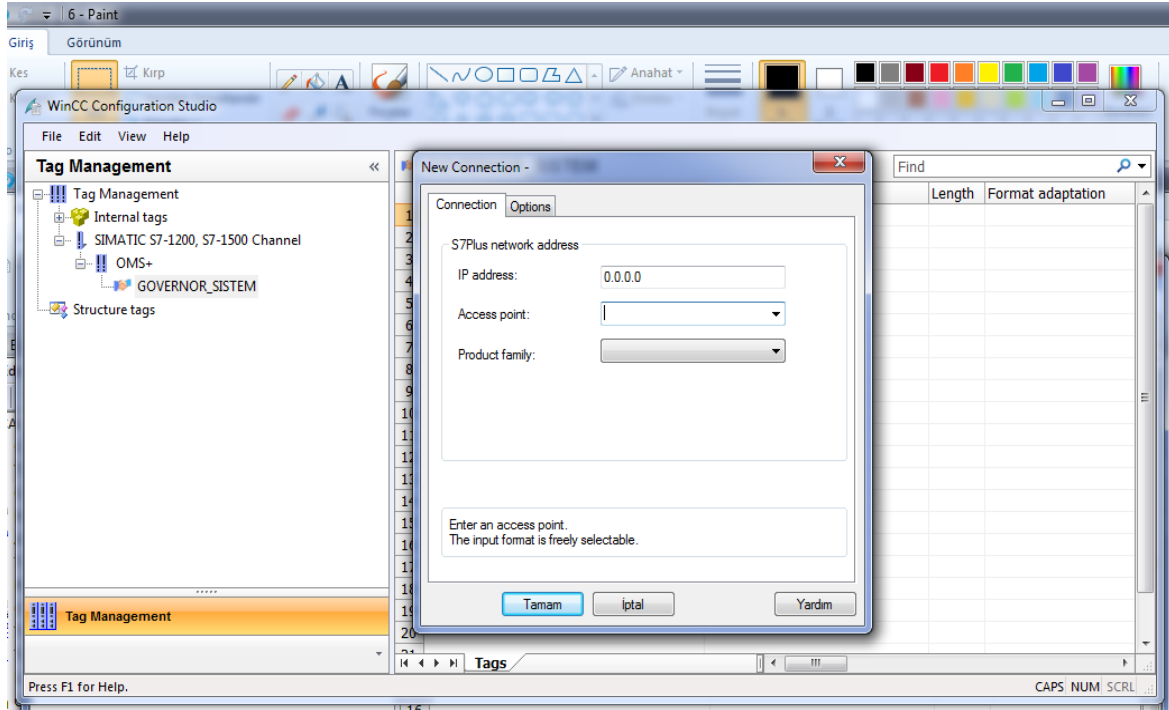


Resim 3.3. Ethernet protokol TCP/IP seçiminin yapılması 2.adım

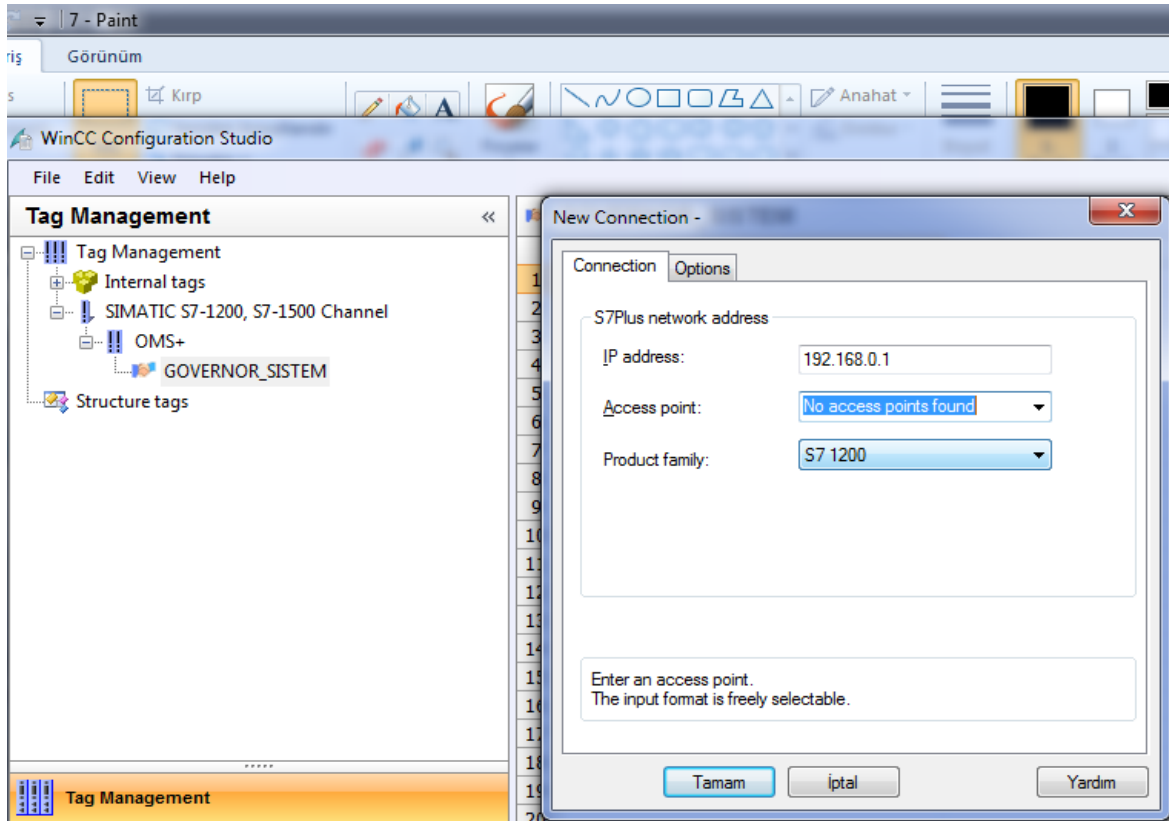
Bu işlemler yapılırken çapraz bağlı ethernet kablosu PC ile PLC ethernet portlarının takılı olması gerekmektedir. CPU'nun kompakt ethernet kartı (CPU315 PN/DP-CPU317 PN/DP) veya CP 343-1 işlemcinin eklenmiş olması zorunlu değildir.



Resim 3.4. WinCC'de hazırlanan programa IP adres yazılması



Resim 3.5. WinCC’de hazırlanan programa IP adres yazılması 2. adım



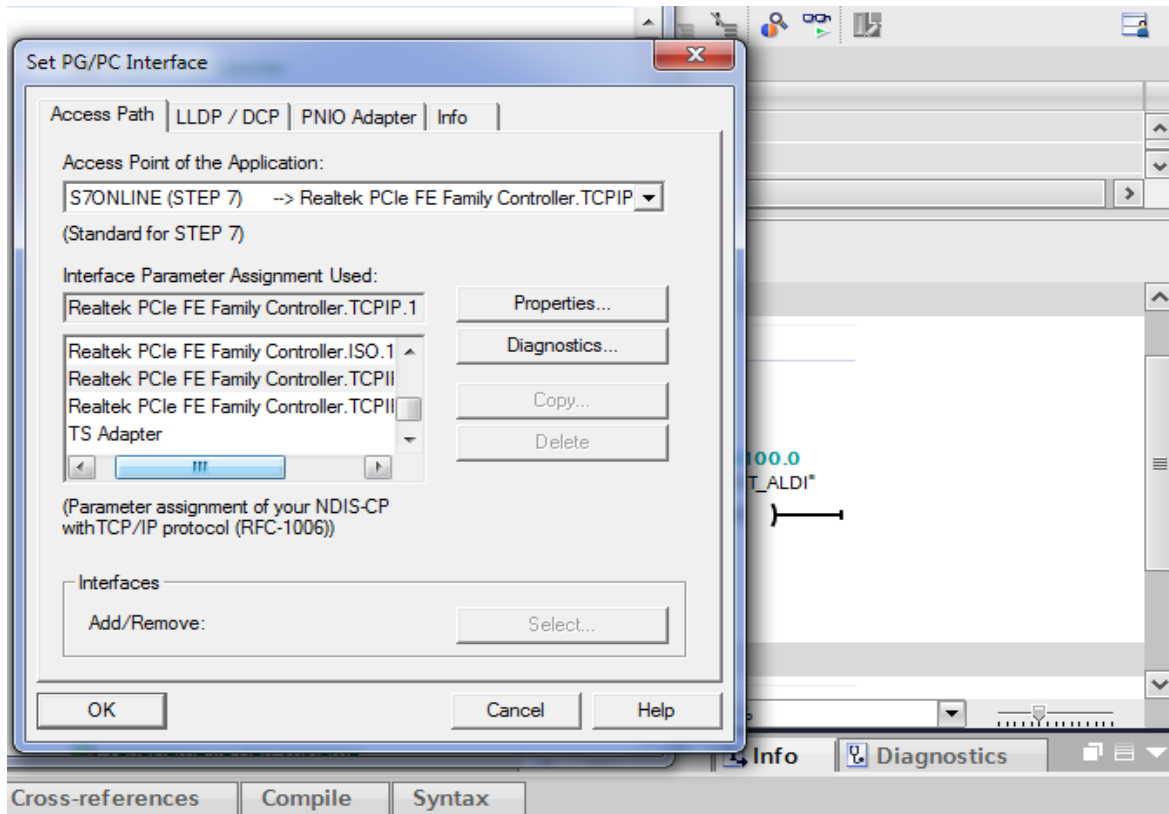
Resim 3.6. WinCC’de hazırlanan programa IP adres yazılması 3. adım

Kompakt ethernet kartlı CPU’larda CPU’nun slota eklenmesi, CP... Ethernet kartlı projede kartın slota eklenmesi sırasında yeni bir ethernet haberleşmesi oluşturularak IP Adress ve Subnet Mask adresleri verilir.

Daha sonra Simatic Manager ana penceresinde ethernet adresi düzenlenir. Bunun için PLC→Edit→Ethernet Node yolu ile ayar penceresi açılır. Bu pencerede MAC alanındaki BROWSE tuşuna basılarak ethernet portuna bağlı cihazlar listelenir. Bu listeden istenilen ürün seçilir ve onay sonrası Edit Ethernet Node penceresine aktarılır.

Gerek duyulduğu durumlarda IP Adress ve Subnet Mask adresleri düzenlenir ve Assign IP Configuration ile onaylanır. Yapılanlar CPU’ya yüklenir. İşlemler eksiksiz yapılmış ise IP Adress ve MAC Adress alanlarında bağlanılacak CPU bilgileri görülür.

Farklılık olması durumunda View ile CPU bilgileri değiştirilir. Bu ayarlardan sonra ayrıca PC üzerinde PG/PC İnterface ayarlarında TCP/IP protokolü seçilir.



Resim 3.7. WinCC’de hazırlanan programa protokol seçiminin yapılması

Bazı PLC markalarına ait işlemciler üzerinde Profinet ve ethernet haberleşmesinde kullanılmak üzere RJ45 soketi bulunmaktadır. Bu PLC'lerde ilave bir haberleşme kartına gerek duyulmaksızın bir Profinet ağı kurulabilir. Saha seviyesine erişim için kurulacak Profinet hattı doğrudan CPU üzerindeki bu porttan kurulabilmektedir. Bu şekilde kurulacak olan yapıda, hatta bağlanacak olan saha cihazlarıyla haberleşmek için ilave bir haberleşme bloğu veya programına da ihtiyaç duyulmamaktadır.

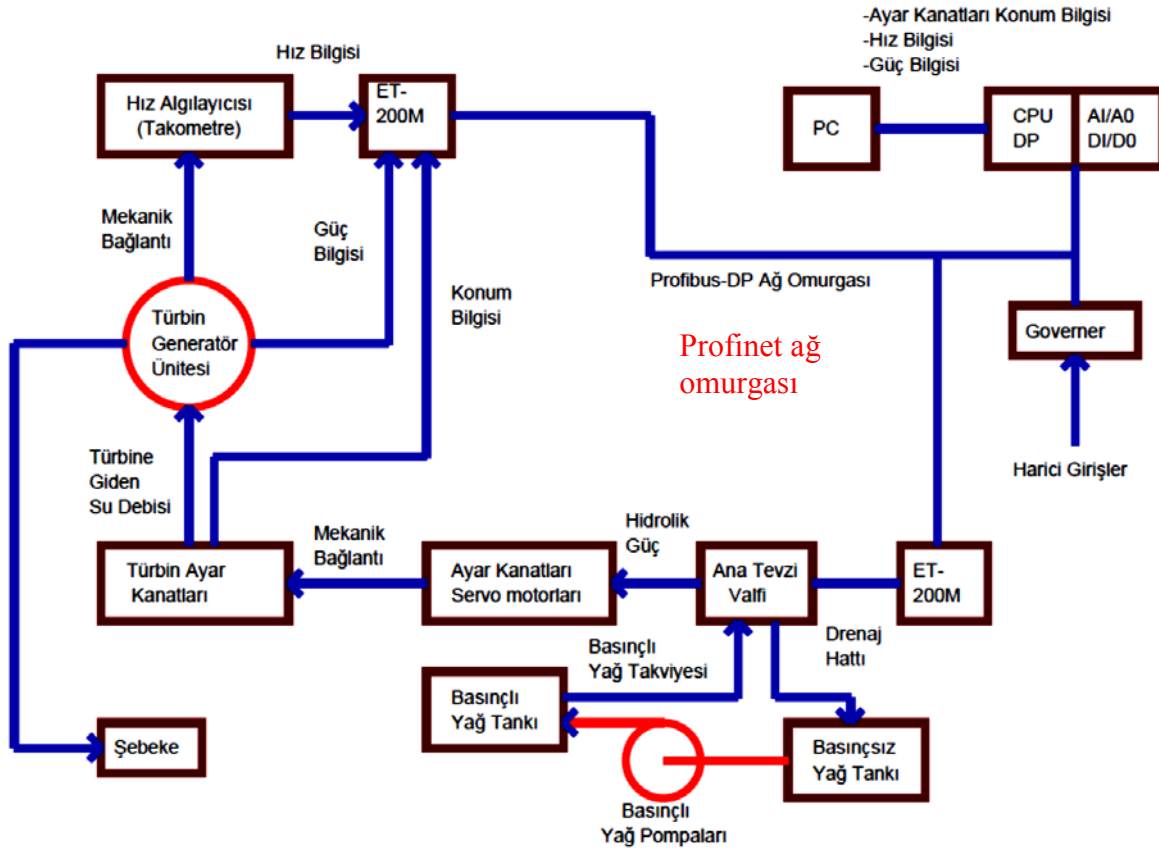
Profinet tüm endüstriyel otomasyon gereksinimlerini karşılar ve akıllı cihazlar daha karmaşık hale geldikçe daha yüksek hızlar sağlar. Profinet konvansiyonel BUS sistemlerine göre daha kolay adapte edilebilir, bu sayede kullanıcılar kendileri için gerekli olan işlevselliği optimize edebilirler.

Profinet uyumlu modüllerin üreticiler tarafından piyasaya sunulması kullanıcıya çok geniş bir çalışma olanağı ve zaman tasarrufu sunmaktadır. Profinet hem sistem kurulumcuları hem de ekipman/makine üreticileri için bir çok avantajlar sunar. Kullanımı kolay Profibus-DP ile standart ethernet fiziksel katmanının birleştirilmesi ile, Profinet daha yüksek hız, her zamankinden daha fazla verinin daha kolay yönetimi ve standart ethernet veri haberleşmesi için açıklık sağlar.

Profinet-IO parametrelendirme, teşhis ve alarm fonksiyonlarını standartlaştırmıştır. Bunlar konvansiyonel BUS sistemlerinin çok ötesindedir. Ethernet ağları geleneksel olarak yıldız topolojisi kullanır. Bu topoloji aygıtların bağlanması için ekstra donanımlar (switch) gerektirir.

Profinet üniteleri bir çok saha BUS 'unda kullanılan geleneksel çizgi topolojisinde cihazları bağlama seçeneği verir. İlave donanıma gerek yoktur. Saha cihazlarını bütünleşik anahtarlama fonksiyonu ile kullanmak çok verimli ve uygun maliyetli bir metottur. Malzeme ve kurulum masraflarını azaltır. Ayrıca, zamanı geldiğinde özelleştirilmiş sistem genişlemelerine de izin verir.

3.2. Sistemin Genel Özellikleri



Şekil 3.2. Hidrolik türbin jeneratör ünitelerinin regülasyonu için kullanılan hız regülatörlerinin regülasyon devresi organları

Yapılan bu çalışmada, hidroelektrik santrallerde kullanılan hız regülatör ünitesinin bir programı ve buna bağlı bir simülasyonu oluşturulmuştur. Daha sonra prototip bir santral ünitesi kurulmuştur. Sistemde haberleşme protokolü olarak Profinet kullanılmıştır. Simülasyon programı olarak WinCC 7.3 kullanılmıştır. Program Simatic S7-1200 Tia portal V13 kullanılmıştır. Sistemde öncelikle rezervuar kaynağına bağlı cebri borunun su alma ağzı kontrol edilmektedir. Su alma ağzındaki kapak sistem üzerinden kontrol edilerek türbin ayar kanatları istenilen düzeyde tahrik edilebilmektedir. Cebri boru kapağı scada üzerinden "Kapak Aç" butonu ile açılmakta ve kapak aç komutunun verilmesi ile birlikte de santral çalışmaya başlamaktadır. "Kapak Kapat" komutu verildiği anda ise santral çalışmasını durdurmaktadır. Ayrıca yine sistem üzerinden türbin kanatlarının açıları kontrol edilerek çıkış güç frekansına hızlı ve anlık müdahale edilebilmektedir. Hidroelektrik Santralde üretilen enerjinin çıkış frekansı UCTE Standartlarına göre 49,98-50,02 arasında olmalıdır. Tasarlanan sistemin referans aldığı nokta bu frekans değerleridir. Frekans değerleri anlık olarak ölçülmekte, ölçümler anlık olarak kaydedilmekte ve geriye

dönük istenilen bir tarihe gidilerek frekans verileri incelenebilmektedir. WinCC simülasyonunda frekansa ait grafiklerde anlık olarak görüntülenebilmektedir. Yine sistemde çıkış gerilim değerleri sayısal ve grafiksel olarak anlık görüntülenebilmektedir. Frekansın durumuna göre kanat açısına sistemin otomatik olarak müdahalesi de sistem üzerinden anlık olarak görüntülenebilmektedir. Kanat açısının değeri yine anlık olarak grafiksel veya sayısal olarak görüntülenebilmektedir.

3.2.1. Simülasyon sisteminin özellikleri

Oluşturulan sistemin bütününe ait simülasyon programının hazırlanmasında WinCC 7.3 versiyonu kullanılmıştır.

Simülasyon programı canlılar temalı simülasyonu, kapak kontrol simülasyonu, türbin kanat kontrol simülasyonu, frekans kontrol simülasyonu, çıkış gerilim kontrol simülasyonu, parametre değerleri simülasyonu ve obje simülasyonlarından oluşmaktadır.

Tasarlanan simülasyon sisteminde aşağıdaki olanaklar sunulmuştur:

- Rezervuardaki su hacminin skala üzerinden gözlemlenebilmesi
- Rezervuarın yetersiz kaldığı durumlarda cebri boruya bağlı yedek rezervuar kaynağının devreye alınabilmesi
- Cebri boru ağzından su alıma kapağının sistem üzerinden kontrol edilebilmesi
- Çıkış frekansının sayısal ve grafiksel olarak anlık gözlenebilmesi
- Çıkış gerilim değerinin sayısal ve grafiksel olarak anlık gözlenebilmesi
- Kanat açısının açısal değerinin sayısal ve grafiksel olarak anlık gözlenebilmesi
- Suyun debisinin ölçülebilmesi ve sayısal olarak gözlenebilmesi
- Frekansın olağan dışına sapması durumunda sistemin otomatik müdahalesinin sayısal ve grafiksel olarak gözlenebilmesi
- Hidroelektrik enerjinin doğadaki canlılara ve bölgedeki yaşama herhangi bir zarar vermediğini simgeleyen canlı hayat temasına da simülasyonda yer verilmiştir.

Simülasyon sistemi 4 adet ana ünite ve 19 adet alt ünitelerden oluşmuştur. Bu üniteler aşağıda verilmektedir.

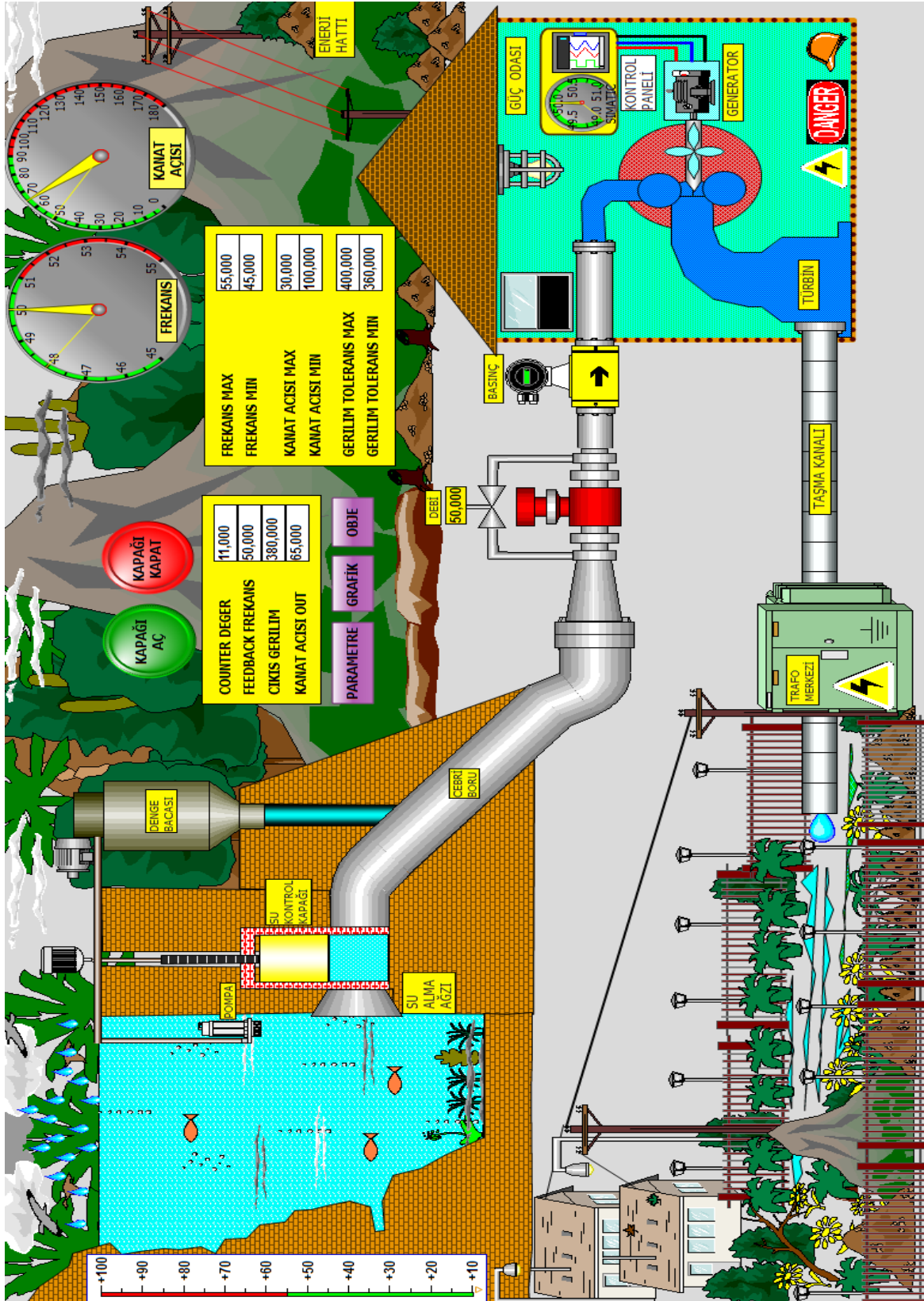
Birinci ünite: Baraj (rezervuar) kısmından oluşmaktadır. Bu ünite, cebri boru kapağı kontrolü, rezerv miktarı kontrolü, canlı tema hareket kontrolü, denge bacası için kullanılan dalgıç pompa kontrolü ve denge bacasının doluluğunu kontrol eden alt ünitelerden oluşmaktadır.

İkinci ünite: Güç odası kısmından oluşan bu ünite, su debi ölçümü, su basıncı ölçümü, yük ölçümü (sayıcı değer kontrolü), frekans ölçümü, çıkış gerilimi ölçümü, kanat açısı kontrolü alt üniteler yer almaktadır.

Üçüncü ünite: Parametrelerden oluşan bu ünite, cebri boru kapağını kontrol eden butonların kontrolü, frekans ve kanat açısı konumuna ait analog skalaların kontrolü, frekans ve kanat açısı konumuna ait dijital ölçeklerin kontrolü ve sayfalar arası geçiş kontrolü yapan butonların kontrolü alt ünitelerinden oluşmaktadır.

Dördüncü ünite: Objeler ve diğer sayfalardan oluşan bu ünite, grafik animasyon kontrolü, objelerin kontrolü, parametre değişim kontrolü ve sinyal izleme kontrolü alt ünitelerinden oluşmaktadır.

Kullanılan bu üniteleri ve simülasyon sistemine ait genel görünüm şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Tasarlanan simülasyonun genel görünümü

Frekans kontrolü

Hidroelektrik sistemlerde genel olarak frekans kontrolü UCTE standartları baz alınarak kontrol edilmektedir. Sistemden çekilen güç programı şekillendiren ana etmendir. Herhangi bir hidroelektrik santralinden çekilen güç normalin dışına çıkıp arttığı zaman jeneratörler zorlanmaya başlarlar. Buna bağlı olarak da türbinlerin devirleri düşmeye başlar. Türbinlerin devirleri düşmeye başladığı anda ise buna paralel olarak gerilim ve frekans değerleri de normalin dışına sapmaya başlayarak hızla düşüşe geçer. Bu sonuçlar karşısında sistemin müdahalesi şarttır. Türbinleri tekrardan normal çalışma devirlerine ayarlayabilmek için türbin ağızlarına gelen suyun miktarını artırmak gereklidir. Bu müdahale yapıldığı taktirde türbin jeneratörlerinin devirleri düşmeden sistem kendisini toparlayacak ve frekans ile gerilim değerleri standartlar dışına çıkmamış olacaktır.

Yine benzer durumda herhangi bir hidroelektrik santralinden çekilen güç normalin dışına çıkıp azaldığı zaman jeneratörler boşa düşmeye başlarlar. Buna bağlı olarak da türbinlerin devirleri yükselmeye başlar. Türbinlerin devirleri yükselmeye başladığı anda ise buna paralel olarak gerilim ve frekans değerleri de normalin dışına sapmaya başlayarak hızla yükselişe geçer. Bu sonuçlar karşısında sistemin müdahalesi şarttır.

Türbinleri tekrardan normal çalışma devirlerine ayarlayabilmek için türbin ağızlarına gelen suyun miktarını azaltmak gereklidir. Bu müdahale yapıldığı taktirde türbin jeneratörlerinin devirleri yükselmeden sistem kendisini toparlayacak ve frekans ile gerilim değerleri standartlar dışına çıkmamış olacaktır. Tasarlanan governor kontrol regülasyon sisteminde de bu şartlar göz önünde bulundurularak prototip üretim gerçekleştirilmiştir.

Oluşturulan program dört ana simülasyon ünitesinden meydana gelmektedir:

- Su alma ağız kapağı
- Türbin kanat açısı kontrolü
- Frekans kontrolü
- Canlılar teması.

Hidroelektrik santrallerde rezervuar kısmının santral binası ile arasında cebri boru ve kontrol kapağı bulunmaktadır. Cebri boru belli bir düşü ile suyun debisini artıracak şekilde

yerleştirilmektedir. Cebri borunun rezervuar kısmında suyu aldığı ağız kısmına kontrol kapağı konulmaktadır. Bu kapak governor kısmını devreden çıkarmak ve devreye almak için kullanılmaktadır. Türbinin devreden çıkmasıyla birlikte türbin giriş vanası çok hızlı bir şekilde kapanır. Türbin giriş vanasının aniden kapanması cebri borudaki su hızlarının ani değişimine neden olur ve bu da *koç darbesi* adı verilen ani basınç yükselmelerine sebep olur. Bu ani basınç dalgalanmaları cebri boru üzerinde çok büyük maddi hasarlara sebep olabilir. Böyle bir sistemde koç darbesinin oluşumunu engelleyebilmek için su hızındaki ani değişiminin engellenmesi gerekir. Türbin giriş vanası çok hızlı bir şekilde kapanırken türbin *By-Pass* vanası da çok hızlı bir şekilde açılacaktır, cebri boruda türbini besleyen su *By-Pass* sisteminden tahliye edilecektir. Bu sayede koç darbesi oluşumu engellenmiş olacaktır. Böylelikle türbin giriş vanasının çok hızlı bir şekilde kapatılması sağlanarak türbin koruma altına alınmış olacak ve cebri borudaki muhtemel su koçu hasarlarının da önüne geçilmiş olacaktır. Buna ek olarak su koçu etkisini ortadan kaldıracı için santrallerde *denge bacası* kullanılmaktadır. Oluşturulan bu prototip santralde yine denge bacası kullanılmıştır.

Denge bacalarının özellikleri:

Denge bacaları, baraj rezervuarı ile türbinlerin arasında bulunan basınçlı su iletim hattında su darbesiyle meydana gelen salınımların sebep olduğu zararlı etkileri önlemek amacıyla genellikle enerji tüneli sonunda ve santral binasından önce tesis edilen büyük su depolarıdır. Bir başka ifade ile denge bacaları bir taraftan türbin kapakçıklarının kapanması (türbinin yük atması) ile su akımında oluşan basınç değişimlerini kontrol ederken diğer taraftan türbin kapakçıklarının açılması (türbinin devreye girmesi) ile su akımını ivmeleyerek türbinlerin ihtiyacı olan gerekli suyu besler. Özetle, denge bacaları basınçlı çalışan su iletim hatlarında basınç dalgalarını sönümleyerek kontrol altında tutar ve bunların sisteme yayılmasına mani olarak akımın stabilizasyonunu ve hız kontrolünü düzenler. Pratik bir yaklaşımla, baraj rezervuarı ile türbinler arasındaki basınçlı su iletim hattı uzunluğunun brüt düşünün üç katından büyük olması halinde denge bacasına veya basınç düşürücü vanaya ihtiyaç duyulacaktır. Diğer taraftan ise basınçlı su iletim hattı uzunluğunun brüt düşüye oranının beşten küçük olması durumunda denge bacasına ihtiyaç olmayacaktır. Gerçekte projenin özelliklerini göz önüne alarak yapılacak su darbesi analizi ile denge bacasına ihtiyaç olup olmadığının ortaya konulması gerekir. Basınçlı su iletim hattında meydana gelen aşırı basınçlara karşı basınç düşürücü ve *By-Pass* vanaları

kullanılması veya cebri boru et kalınlığının artırılması çare olarak düşünülse bile en güvenli çözüm denge bacasının kullanılmasıdır. Projenin tertibinde basınçlı çalışan uzun kuyruk suyu tünelinin bulunması durumunda, santral binasının mansabında da bazen denge bacasına ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir durumda denge bacası aşağıda verilen fonksiyonları yerine getirir.

- Türbin kapakçıklarının veya türbin giriş vanasının ani kapanmasında, emme borusunda ve kuyruk suyu tüneline su sütununun ayrışmasına ve kopmasına mani olur.
- Türbin kapakçıklarının açılmasında, yani türbinin ani olarak hizmete girmesinde, emme borusunda ve kuyruk suyu tüneline meydana gelecek aşırı basınçları önler [36].

Santral binasının baraj gövdesine çok yakın olması halinde enerji tüneli uzunluğu kısılır ve denge bacasına olan ihtiyaç ortadan kalkar ve böylece cebri boru enerji tünelinin hemen ucundan başlayarak türbinlere bağlantıyı sağlar. Bazı durumlarda (topuk santrallerinde), cebri borular direkt olarak baraj su alma yapısından başlayarak doğrudan türbine bağlantıyı temin eder. Denge bacaları, topoğrafik koşullara ve zeminin yapısına bağlı olarak gömülü, yarı gömülü veya açıkta inşa edilirler. Boyutlarının belirlenmesinde ve yer seçiminde ise aşağıda belirtilen hususlar önem kazanır.

- Denge bacasının yeterli bir kesit alanına sahip olması gerekmektedir.
- Denge bacası mümkün olduğu kadar santral binasına yakın tertip edilmelidir.
- Denge bacasında savak düşünülmemiş ise suyun taşmasını önlemek için denge bacasına yeterli yükseklik verilmelidir.
- Denge bacasındaki su seviyesinin aşırı düşmesi (alçalma) durumunda enerji tüneline hava kaçmaması için taban kotunun buna göre belirlenmesi gerekir (Enerji tünelinin üzerinde yeterli yükseklikte bir su sütunu olmalıdır) [19].

Denge bacaları çeşitli şekillerde üretilmektedir. Bunlar aşağıda verilmiştir:

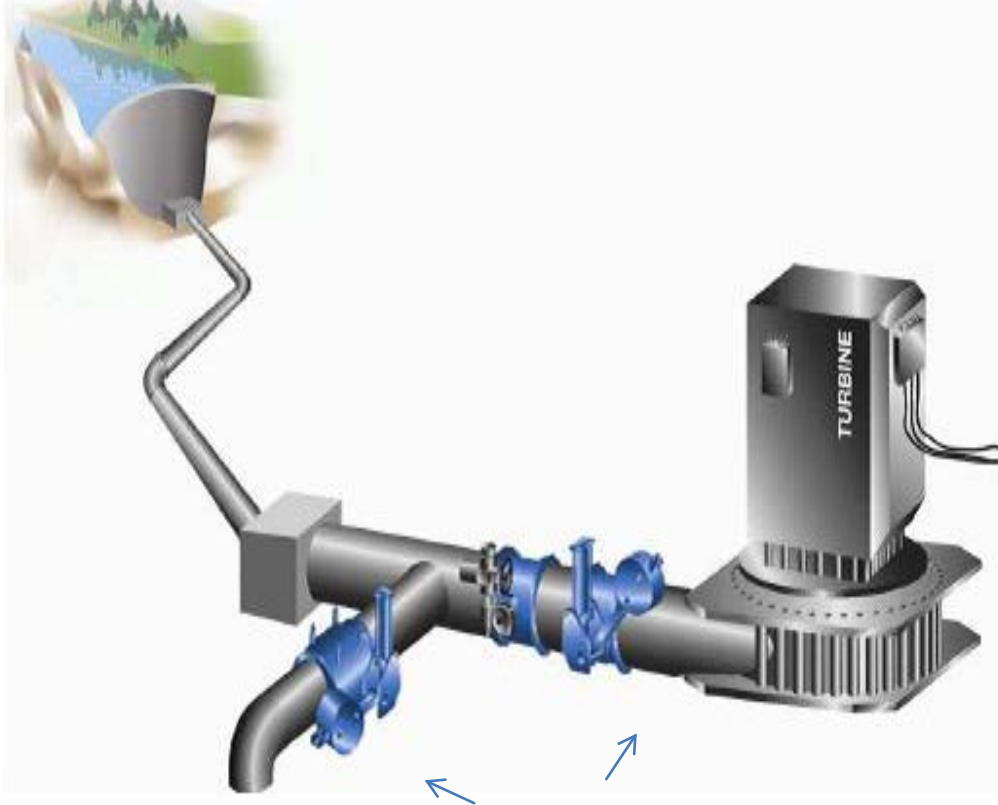
En basit ve eskiden beri kullanılan tek hazneli denge bacası silindirik kuyu tipindedir. Bu tip denge bacalarının hacmi çok büyüktür. Ekonomik ve daha iyi hidrolik şartları temin amacıyla geçen zaman içerisinde denge bacalarının şekillendirilmesi üzerine çok sayıda araştırma ve çalışmalar yapılmıştır. Enerji tüneli ile denge bacasının konumu tünelin hidrolik verimi bakımından önemlidir. Enerji tüneli basit denge bacasına direkt olarak

girmekte ve bu durum hidrolik bakımdan uygun bir ortam yaratmamaktadır. Enerji tüneline gelen akım denge bacasına dağılmakta ve daha sonra tekrar tünele girişinde büzülme etkisi altında kalmaktadır. Böylece sürtünme, çarpma ve çevrıntilerden dolayı enerji kaybı meydana gelmektedir. Modern denge bacalarında bu tip kayıpları azaltmak amacıyla enerji tüneline denge bacasının altında tertip edilmektedir. Bu durumda denge bacasının enerji tüneline ile bağlantısı ise yeterli kesit alanına sahip daraltılmış kesit veya bir şaftla temin edilmektedir. Her biri farklı uygulama ve detaylara sahip değişik denge bacası tipleri bulunmaktadır. Tip seçimi uygun hidrolik ve işletme şartlarını sağlayacak değişik denge bacası tipleri üzerinde yapılacak maliyet mukayesesi sonucuna göre belirlenir [19].

Genelde dört tip denge bacası kullanılmaktadır:

- Tek hazneli basit denge bacası
- Giriş ağzı daraltılmış denge bacası
- Diferansiyel denge bacası
- Çok hazneli denge bacası.

Tek hazneli basit denge bacasında kesit büyük ve denge bacası daha yüksektir. Türbinlerin tekrar devreye girmesinde gerekli su miktarı kolayca sağlanır. Su dalgalarının sönümlenmesinde ise hidrolik olarak pek dengeli bir ortam sağlanamaz. Bu tip denge bacalarının maliyeti yüksektir. Giriş ağzı daraltılmış denge bacalarında enerji tüneline denge bacasının altında olup bağlantı yeterli kesit alanına sahip daraltılmış bir kesitle veya şaftla temin edilmektedir. Bu tertipte suyun denge bacasına giriş ve çıkışında önemli yük kaybı meydana gelir. Böylece basınç dalgalarının kısa süre içerisinde sönümlenmesi gerçekleşmiş olur. Pratikte denge bacası ile enerji tüneline bağlantısını sağlayan bu daraltılmış kesit alanı, enerji tüneline kesit alanının yaklaşık 0,50 – 0,70'i civarındadır. Bağlantıyı sağlayan bu daraltılmış kesite hidrolik şartlara uygun bir form verilir. Diferansiyel denge bacası basit denge bacası ile giriş ağzı daraltılmış denge bacasının kombinasyonudur. Bu tip denge bacasının ortasından yükselen küçük çaplı ve tam kesit boru ile enerji tüneline bağlantı yapılmıştır. Diğer taraftan denge bacasının içinde bu orta borunun etrafında bulunan daha basit bir boru ile yine denge bacasının tabanından enerji tüneline bağlantı sağlanmıştır. Böylece denge bacasının bir bölümünde (orta kısımdaki boruda) minimum yük kaybı ile karşılaşılırken bunun çevresindeki bağlantıda ise suyun denge bacasına girişinde dirençle karşılaşmaktadır [19].



Şekil 3.4. Türbin kontrol vanaları [1]



Resim 3.8. Su giriş vanası (Kelebek vana) [1]

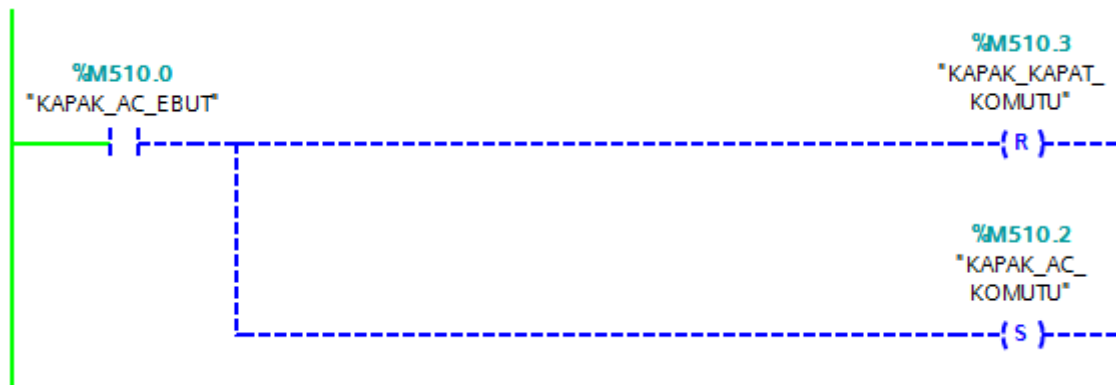


Resim 3.9. Basınç kırıcı ayar vanası (By - Pass vana) [1]

Kapak kontrolü

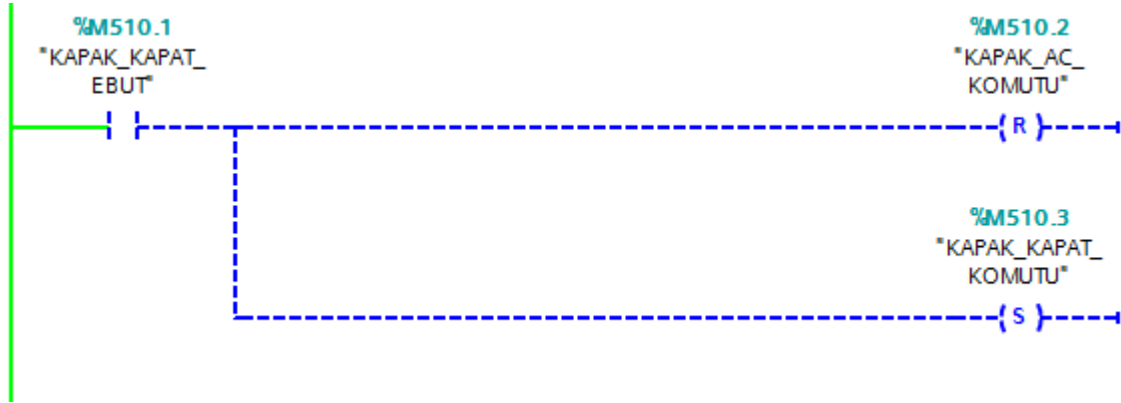
Yapılan çalışmada cebri borunun giriş kısmında bulunan ve tüm sistemi kontrol eden kontrol kapağına ait simülasyon aşağıdaki komutlarla oluşturulmuştur.

Şekil 3.5'te su giriş kapağını kontrol eden program bloğunda "*Kapak Kapat*" komutu resetlenerek döngü içerisine sokulmaktadır. Aynı zamanda "*Kapak Aç*" komutu da set edilerek döngü içerisine sokulmaktadır.



Şekil 3.5. Kapak kapat komutunun reset edildiği program bloğu

Şekil 3.6'da su giriş kapağını kontrol eden program bloğunda "*Kapak Aç*" komutu resetlenerek döngü içerisine sokulmaktadır. Aynı zamanda "*Kapak Kapat*" komutu da set edilerek döngü içerisine sokulmaktadır.



Şekil 3.6. Kapak aç komutunun reset edildiği program bloğu

Sistemin çalışması bu kapakların komutuna bağlı durumdadır. "*Kapak Aç*" komutu geldiği anda sistem çalışmaya başlamakta ve program blokları döngü içerisine girmektedir.

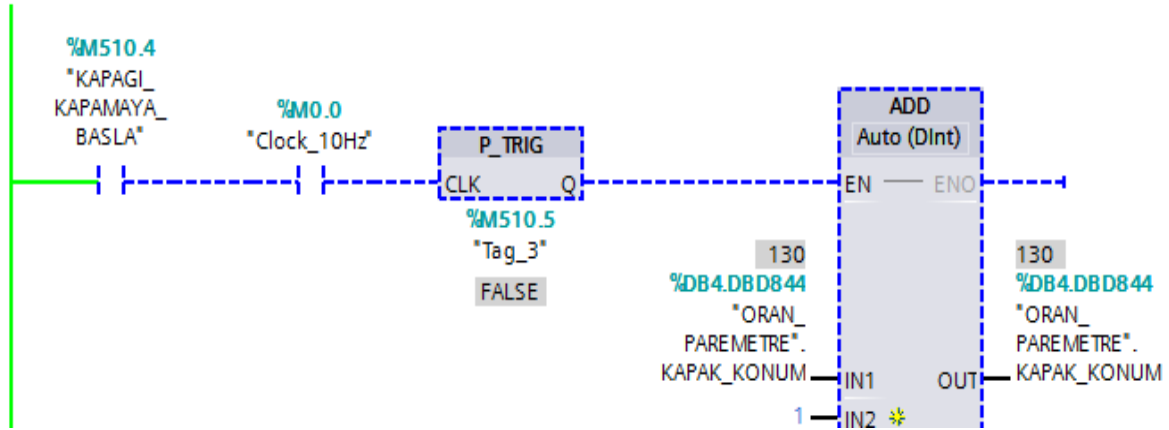
Döngü "*Kapak Kapat*" komutu gelene kadar devam etmekte ve sistem çalışmaktadır.

Kapat komutu geldiği anda sistem çalışmasını hemen durdurmamaktadır. Ta ki kapak %100 kapalı konuma gelene kadar çalışmaya devam etmektedir.

Şekil 3.7'de kapak kapanmaya başladığında oransal olarak ne kadar sürede tamamen kapanacağına dair komut girilmiştir.

10 Hz frekans ile pals sinyali gönderilmektedir. Simülasyonda girilen parametre değerlerini referans alan sistem 130 parametre değeri içerisinde oranlama yaparak kapak konumunu kontrol etmektedir. Yani kapak; "*Kapak Kapat*" komutunu aldıktan sonra 13 kademe ilerleyerek %100 kapalı konuma gelmektedir ve sistemin çalışması durmaktadır.

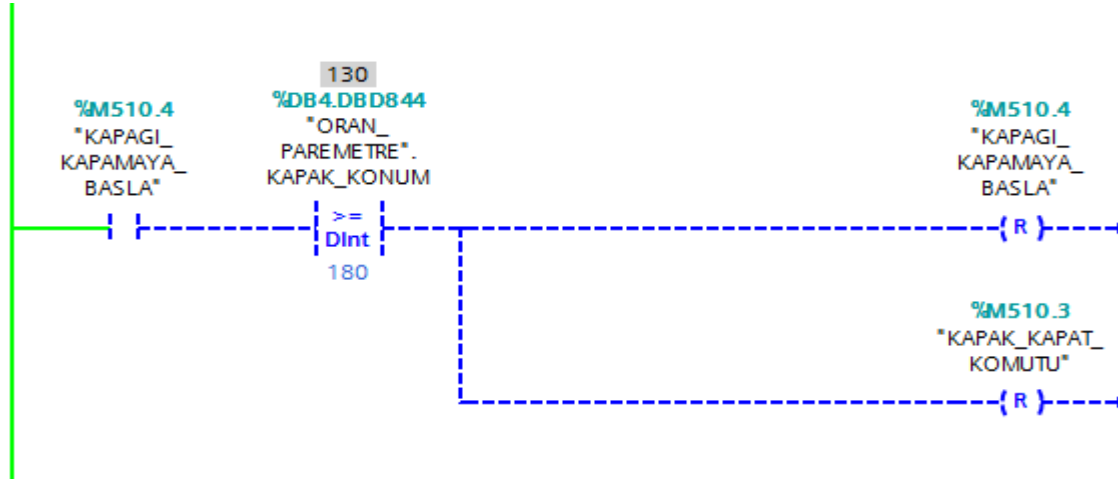
Aynı şekilde "*Kapak Aç*" komutunu alan kapak 13 kademe geriledikten sonra kapağı tamamen açmaktadır, ancak sistemin çalışması komutu alır almaz başlamaktadır.



Şekil 3.7. Kapak kapat komutun frekansının ve oranlamasının program bloğu

Kanat açısı kontrolü

Şekil 3.8’de (DB4.DBD844) "Dint" değeri 180 girilmiştir. Yani "Kapak Kontrol" komutunun referans aldığı maksimum parametre değeri 180 olarak girilmiştir. Sayma işlemi 10 Hz frekansla 180 değerine ulaştığı anda kapak tamamen kapalı konuma gelecektir ve oluşturulan hidroelektrik governor kontrol sistemi döngüyü sonlandırmış olacaktır.



Şekil 3.8. Kapak kapat komutunun maksimum parametre değerinin program bloğu

Oluşturulan sistem, frekans değerlerini referans alarak kanat açısının konumunu kontrol etmektedir ve buna göre çıkış gerilimi ve güç üretimi yapmaktadır. Kurulu sistemlerde referans alınan değer yük durumu değeridir. Yükün durumuna göre çekilen güç sürekli olarak ölçülmekte ve bu değerlere göre kanat açısı ayarlanarak türbinlere giren su miktarı ayarlanmaktadır.

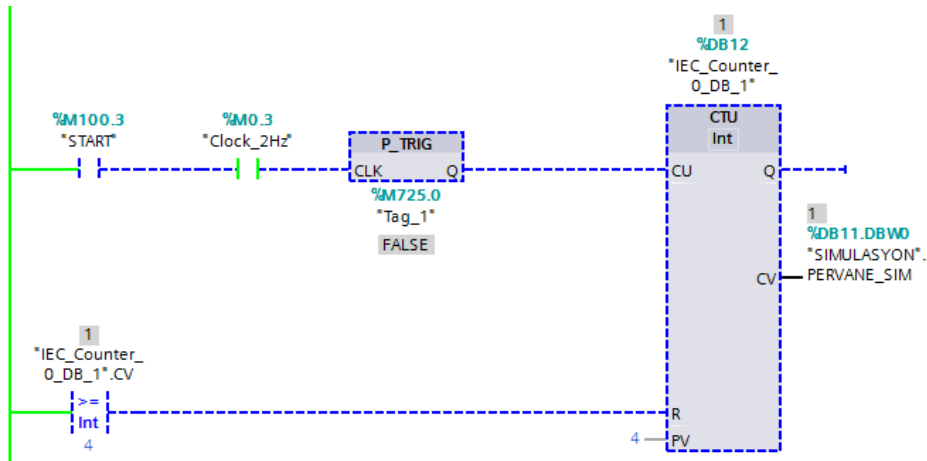
Sistemde kanat açısının minimum değeri 30° olarak tanımlanmıştır. Burada kanat açısının minimum değerinin 30° girilmesindeki amaç sistemin sadece türbin kanatlarıyla durdurulmasının önüne geçmektir.

Eğer sistem tamamen türbin kanatlarıyla durdurulur ve su kanatlar ile kesilirse çok büyük su basınçları ve su koçları oluşarak ciddi derecede ve yüksek maliyetli hasarlar oluşturacaktır. Bunu için kanat açısının minimum 30° olarak tanımlanmıştır. Kanat açısının maksimum değeri ise 100° olarak tanımlanmıştır.

Olağan dışı durumlarda kanatlar tamamen açılmayacağı için maksimum değer 100° olarak girilmiştir. Ancak burada belirtilmelidir ki bu açılar isteğe göre programda anlık olarak değiştirilebilmektedir. Yani maksimum ve minimum kanat açısı değerleri esnek bir şekilde değiştirilebilmeye olanak tanımaktadır.

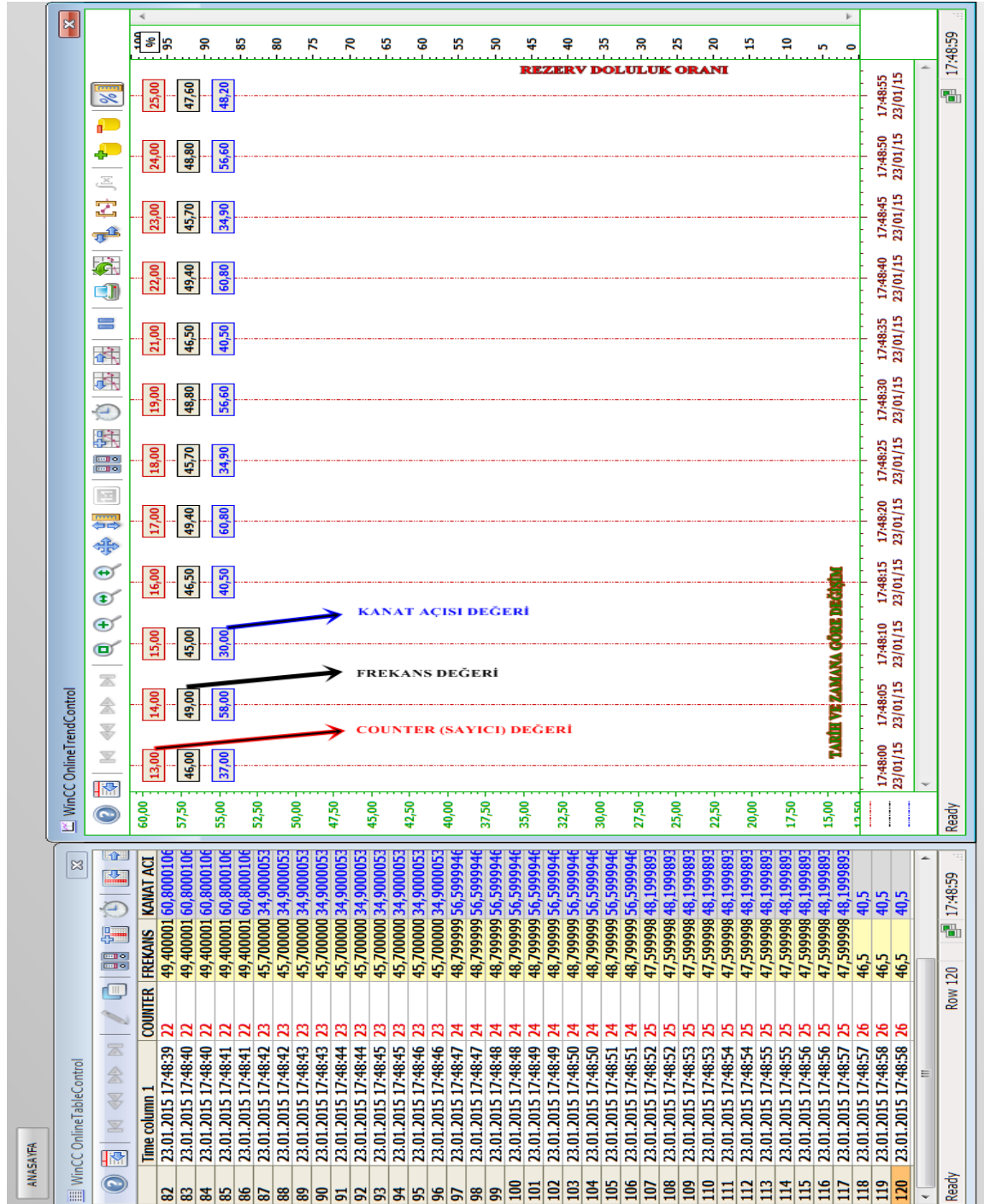
Açı değişimleri 0.2° hassasiyet ile oluşturulmuştur. Yani frekansın durumuna göre kanat açısı $30,2^\circ$, $30,4^\circ$, $30,6^\circ$, $30,8^\circ$, 31° $99,0^\circ$, $99,2^\circ$, $99,4^\circ$, $99,6^\circ$, $99,8^\circ$ arasında değişiklik göstererek buna göre türbin kanatlarını kontrol etmektedir ve frekans değerini de buna göre oranlamaktadır.

Şekil 3.9'da frekans hızı %M0.3 (yani clock sinyalinin gelme hızı) 2 Hz olarak tanımlanmıştır. Kanat açısının değişimi $0,2^\circ$ olarak tanımlanmıştır. Aşağıdaki tabloda sayıcı %DB12 değerinin 0'dan başlayarak saymaya başladığı durumda frekans ve kanat açısı değerlerinin durumlarına ait sayısal bilgiler ve bu sayısal verilerin grafiksel olarak bir örneği verilmiştir.



Şekil 3.9. Kanat açısını kontrol eden program bloğu

Şekil 3.10'da Sayıcının ilerleyişine göre frekans değişimi ve buna bağlı olarak da kanat açısının otomatik olarak değiştiği sayısal olarak ifade edilmektedir. Her bir değişim anlık olarak kaydedilmektedir ve sistemin kurulduğu tarih içerisinde istenilen geçmiş bir tarihe ve saate giderek frekans ve kanat açısının değişimi sistem üzerinden sayısal ve grafiksel olarak kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.10. Anlık olarak sayıcı durumuna göre frekans ve kanat açısının sayısal değişimi

Yine sayıcının 22 olduğu aralıkta frekansın olağan olduğu (49,4 Hz) ve kanat açısının da buna göre ayarlandığı (60,8°) görülmektedir. Sayıcı 23 olduğunda ise frekans değeri hızla düşmeye başlamıştır ve buna bağlı olarak da kanat açısı sistem tarafından otomatik olarak düşürülmüştür ve türbin kanat dönme hızı değiştirilmeden jeneratörün dönme hızı artırılmıştır. Bu müdahale sonrasında frekans olağan olan standart değerlere yükselmeye başlamıştır.

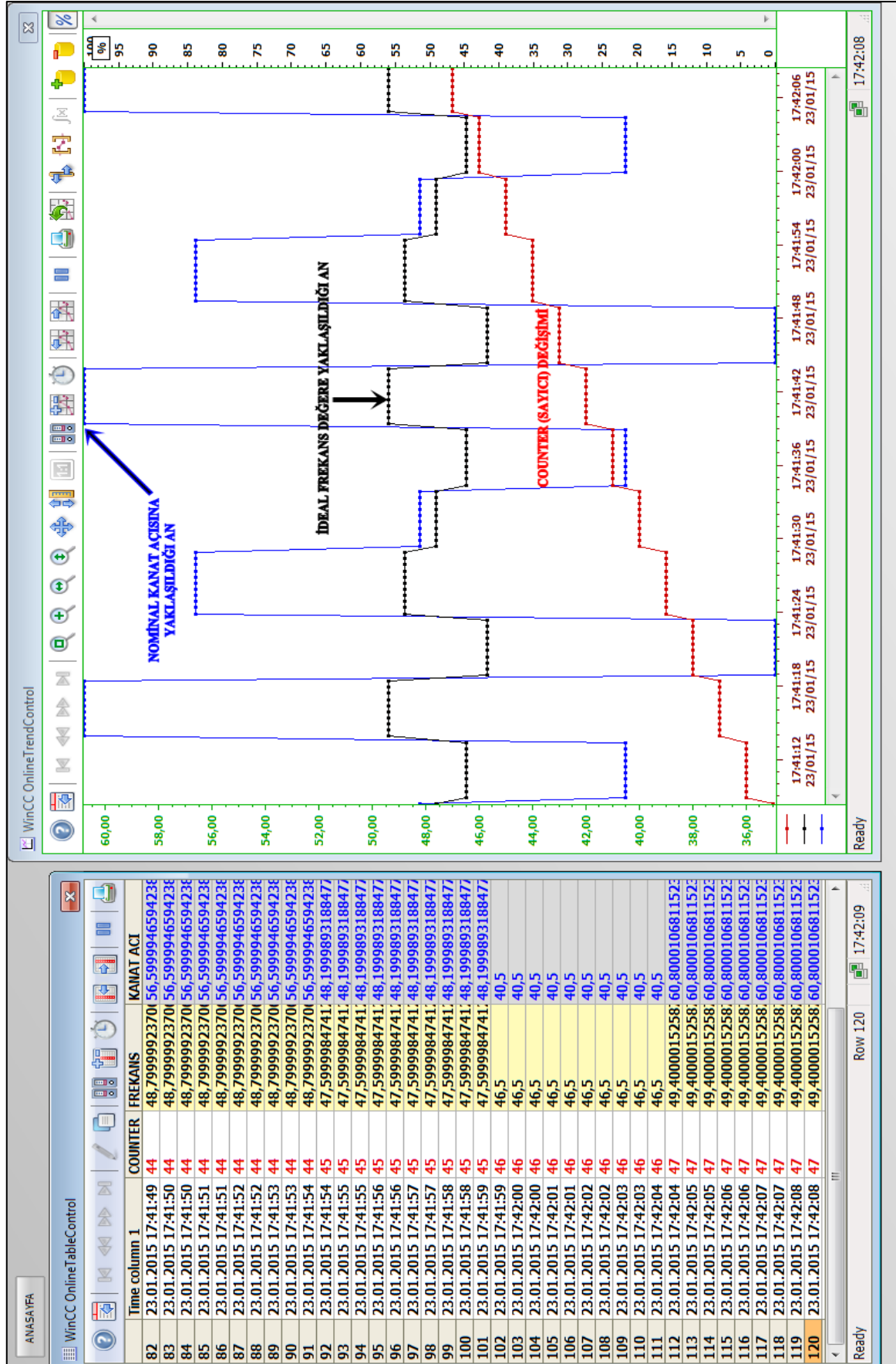
Kanat açısı 180° üzerinden oranlanmıştır. Tüm bunların yanı sıra yine çıkış gerilim kontrolü de PID kontrol tekniği ile sistem üzerinden düzenlenmektedir. Üretimde çıkış geriliminin maksimum değeri 382V, minimum değeri ise 378V olarak ayarlanmıştır.

Senkron jeneratör rotorlarının dönüş hızlarının elektriksel ifadesine frekans denir. Kabaca bir elektrik şebekesinin davranışı, bir motor ve yükünün birleşiminden oluşmuş bir makine davranışı ile karşılaştırılabilir.

Enterkonnekte çalışan senkron jeneratörler normal şartlarda aynı hızda dönerler ve her birine türbin tarafından uygulanan mekanik tork, sistem tarafından uygulanan elektriksel tork'a eşittir.

Şekil 3.11'de frekansın değişimine göre kanat açısının sistem üzerinden otomatik müdahalesi sonucu frekansın 49,4 Hz'e yükseldiği görülmektedir. Kanat açısı değeri 40,5° iken frekans değeri 46,5 Hz, kanat açısı 47° olarak ayarlandığında ise frekans 49,4 Hz olarak standart değerine çıkmıştır. Buradan da anlaşılabileceği gibi tasarlanan sistem frekansın durumunu gözlemleyip eğer standartlar dışına çıkma olursa kanat açısının değiştirilerek frekansa müdahale etmekte ve standart değerler içerisine çekmektedir. Frekans ile kanat açısı doğrusal olarak değişmektedir.

Motor bir güç üretir ve yük bu gücü harcar. Eğer üretilen güç harcanan güce eşitse; sistem dengededir, ve motorun hızı sabittir. Eğer motor, yükün harcadığından daha çok veya daha az güç üretirse hız artar veya azalır. Genel olarak bir elektrik şebekesinde hız yerine frekans ifadesi kullanılır.



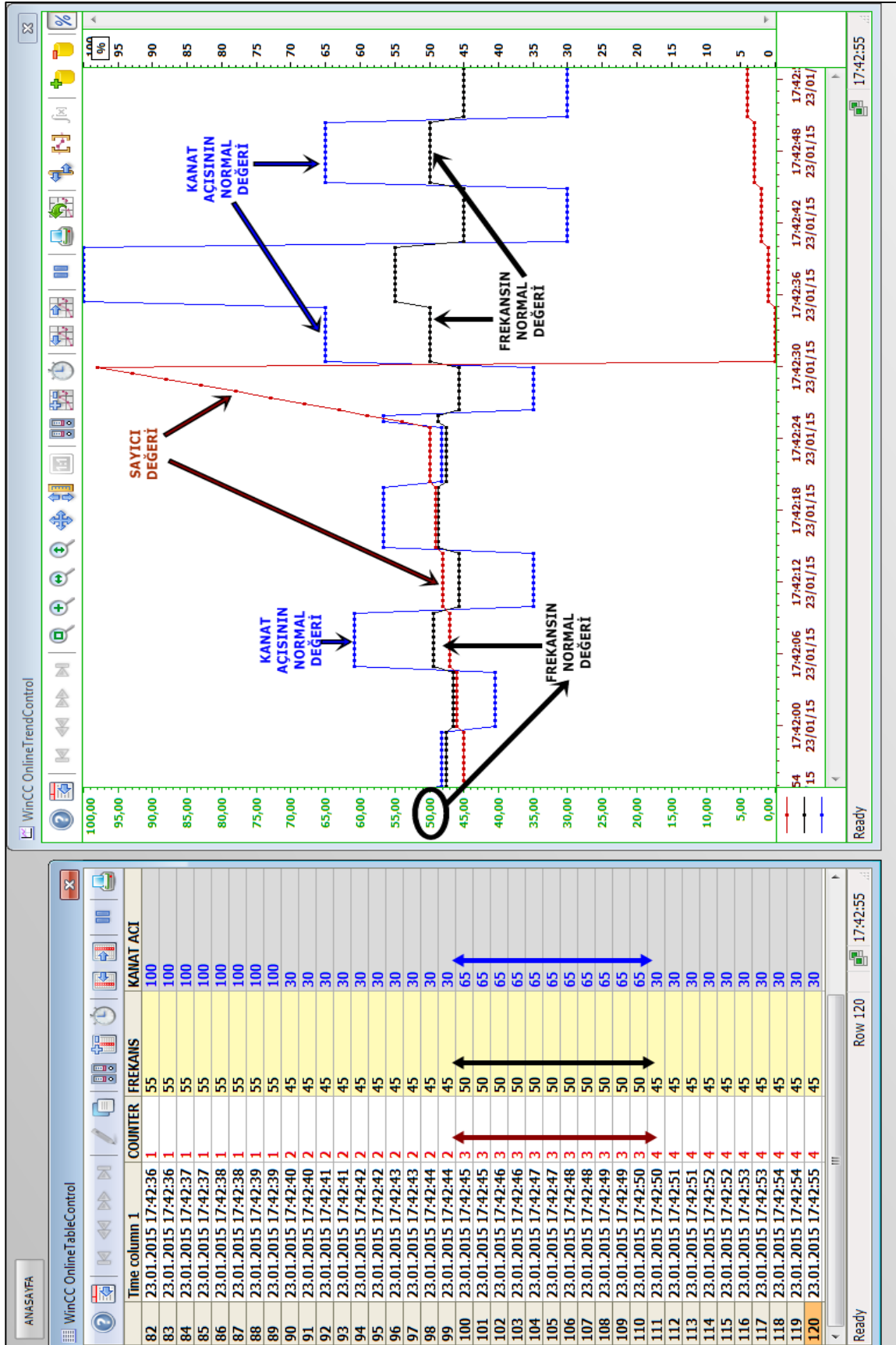
Şekil 3.11. Anlık olarak sayıcı durumuna göre frekans ve kanat açısının değişimi

Termik türbinlerin hızı genelde 50 Hz'e karşılık gelen 3000 d/d'dır. Üretildiği anda tüketilen tek şey elektriktir, elektriğin tüketildiği an üretilmesi gerekir ki üretim ve tüketimin eşit olduğu an frekansın 50,00 Hz olduğu andır. Frekans kontrolü, bir elektrik sisteminin üretim-tüketim dengesinin kontrolüdür ve üç seviyede ele alınır [3].

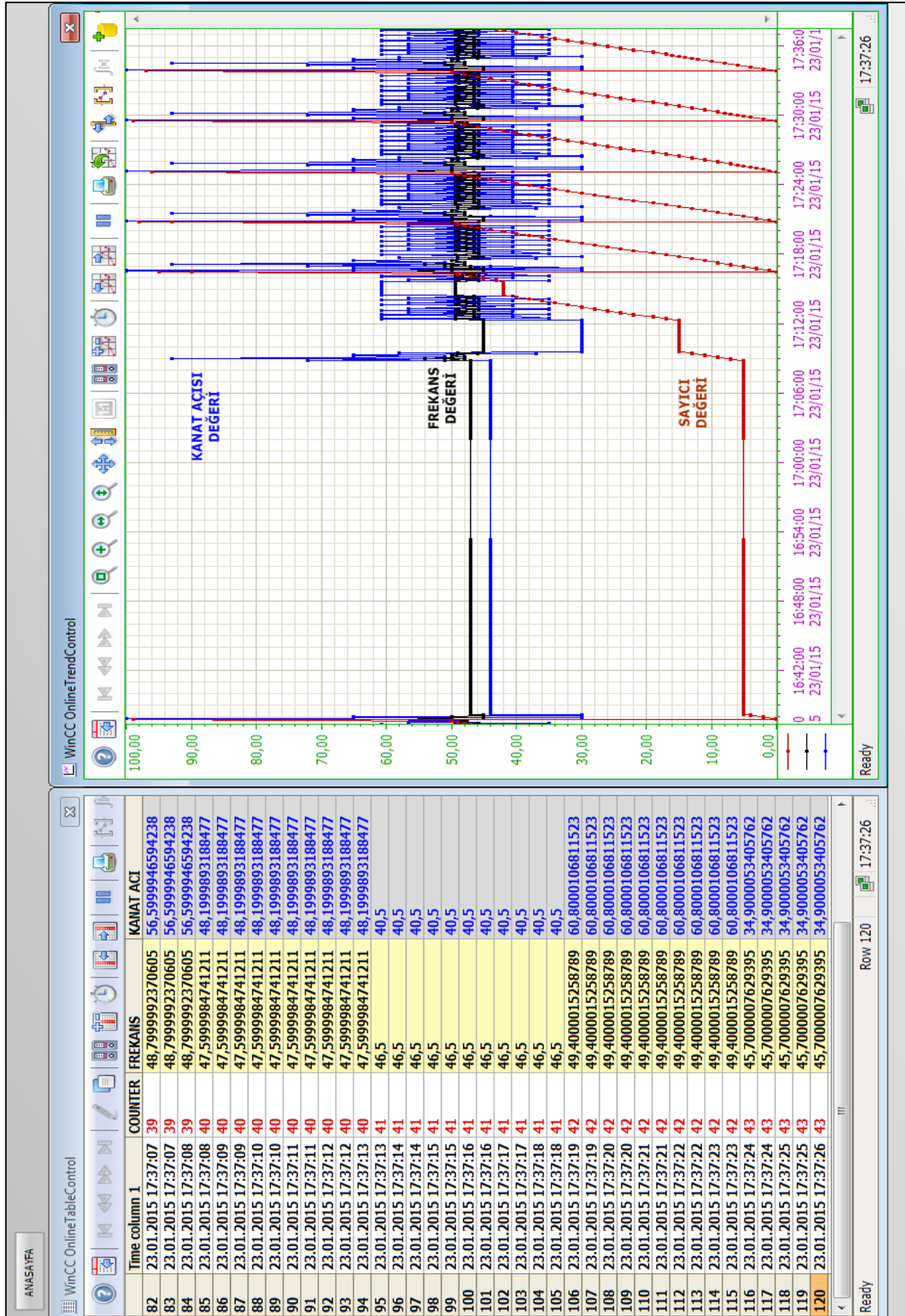
Oluşturulan simülasyon sistemi ile bu standartlar çerçevesinde davranan, kanat açısı ve frekans değerlerini birbirlerine göre oranlayıp düzelter ve standartlar içerisinde frekans üreten programdan meydana gelmektedir.

Yapılan çalışmada programa girilen minimum ve maksimum frekans değeri, minimum ve maksimum gerilim değeri, minimum ve maksimum kanat açısı değerleri tamamen sayıcı tabanlı olmakla birlikte, olağan dışı davranış durumlarını gözlemleyebilmek içindir.

Kurulu sistemlerde kullanılan bu maksimum ve minimum değerler UCTE standartlarına göredir. Prototip üretimi gerçekleştirilen bu sistem kurulu sisteme entegre edildiği anda bu minimum ve maksimum değerlerde UCTE standartlarına göre değerlendirilecektir.

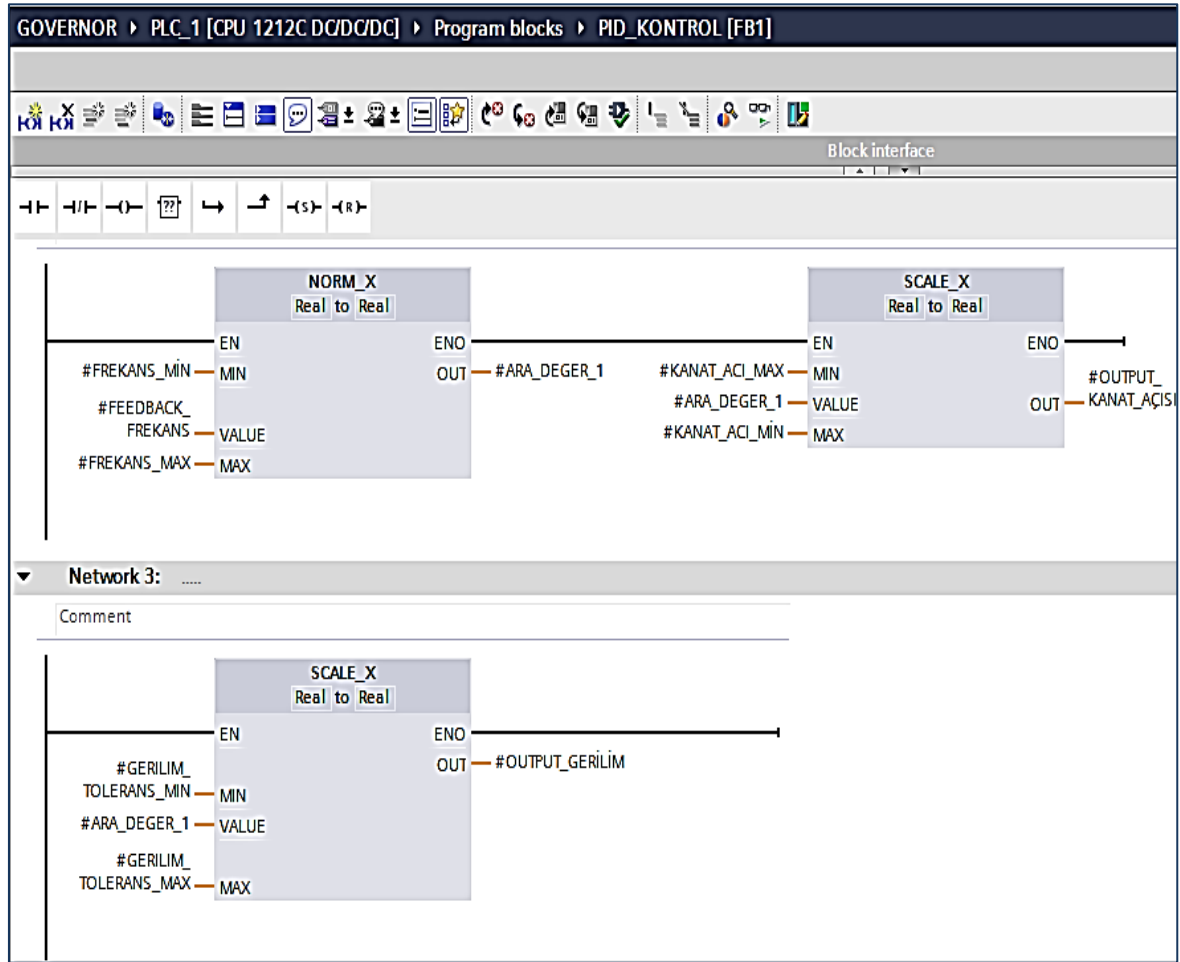


Şekil 3.12. Anlık olarak sayıcı durumuna göre frekans ve kanat açısının değişimi



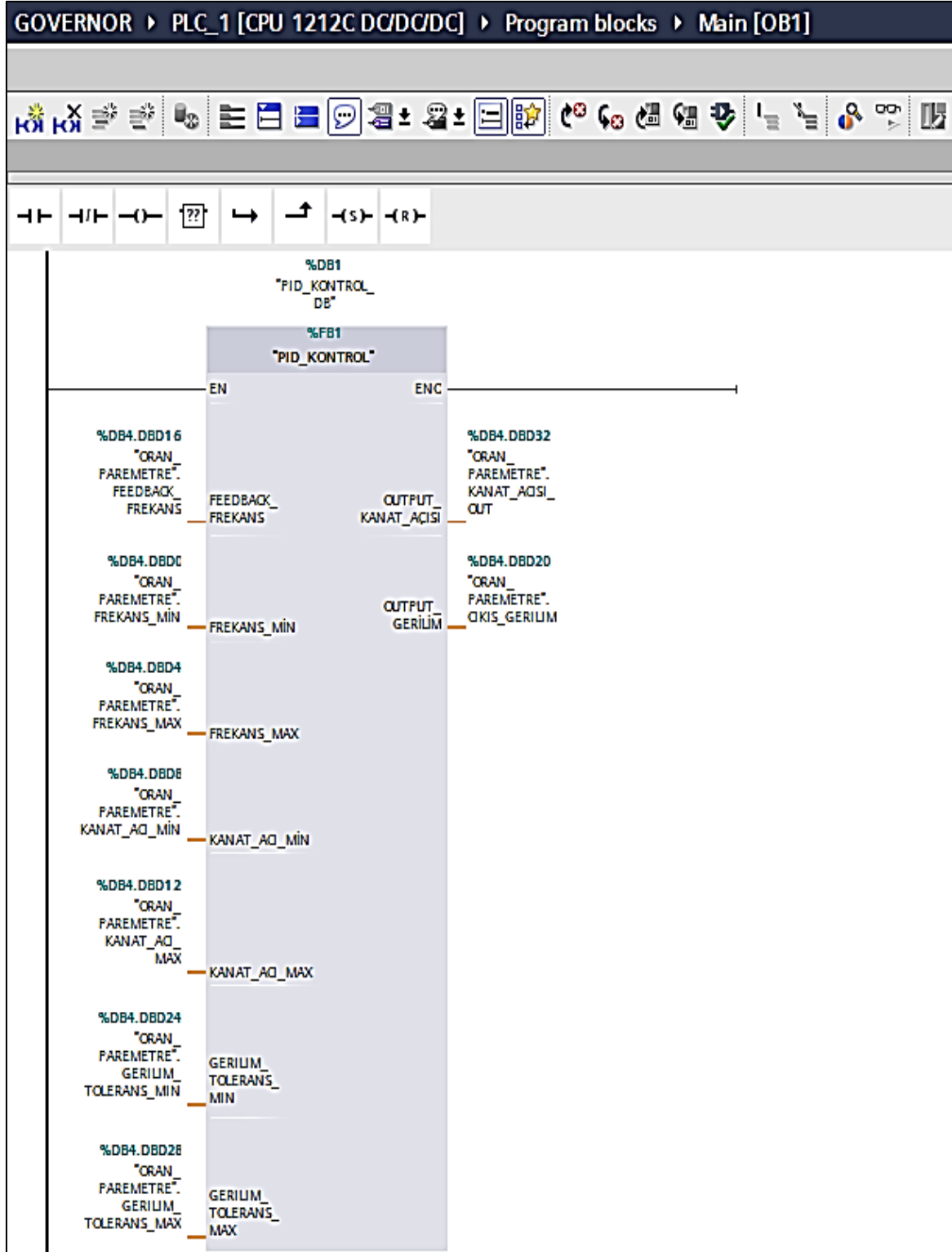
Şekil 3.13. Dakika olarak sayıcı durumuna göre frekans ve kanat açısının değişimi

Oluşturulan sistemde simülasyon ve program Data Blok (DB)'ları aşağıda verilmektedir:



Şekil 3.14. PID scada kontrol bloğu

Şekil 3.15’de tasarlanan sistemin beyni olarak işlev yapan PID kontrol bloğu görülmektedir. Bu blokta frekansın minimum ve maksimum değerleri, standart frekans değeri, kanat açısının frekansa göre açısal değişimi, kanat açısının minimum ve maksimum değerleri, çıkış geriliminin minimum ve maksimum değerleri tanımlanmış ve formülize edilmiştir. Ayrıca sanal olarak sayıcının ara değerler vermesi ve sistemin bu değerlere göre hareket edip düzenleme yapması tasarlanmıştır.



Şekil 3.15. PID program kontrol bloğu

Tasarımı yapılan sistemin otomatik olarak kontrol ettiği değişkenler frekans, frekansa bağlı olarak doğrusal değişen kanat açısı, çıkış gerilimi ve üretilen güçtür. Frekansın değişimi milisaniye mertebesinde anlık olarak ilerlemektedir ve herhangi bir değişiklik durumunda

kanat açıları sistem tarafından ayarlanarak frekansa acil müdahale yapılmaktadır. Bunun sonucunda türbin jeneratör devri sabit tutularak çıkış gerilimi ve güç sürekli döngü içerisinde kontrol edilerek sabit tutulmaktadır.

Kullanıcı sayısına bağlı olarak yük harcamaları sürekli değişken olduğundan, bu değişken duruma göre sistem primer frekans kontrolünü gerçekleştirmektedir ve su rezervinin yetersiz olduğu durumlarda tersiyer kontrol devreye girerek yedek rezervi devreye almakta ve çıkış gücünü ve gerilimini sabit tutmaya çalışmaktadır.

Tersiyer kontrol yedek rezervi 15 dakika boyunca sistemde otomatik olarak döngüye sokmakta ve frekans değeri yük harcamalarına bağlı olarak UCTE standartları sınırlarına çekilerek yük dengesizliğini ortadan kaldırmaktadır.

UCTE standartlarına göre frekans değeri sonsuz döngüde 49,98 Hz ve 50,02 Hz arasında olmalı ve bu aralıktan sapmamalıdır. Frekans değeri yine yük durumlarına göre 50 Hz'in altına düştüğü anda veyahut 50 Hz'in üzerine çıktığı durumlarda sistem türbin kanat açılarını değiştirerek (Frekans 50 Hz'in üzerine çıkarsa kanat açıları artırılarak, frekans 50 Hz'in altına düştüğünde ise kanat açıları azaltılarak) şebeke dengesi sağlanmaktadır [13].

Oluşturulan sistemde frekans aralığı 49,98 Hz – 50,02 Hz olarak belirlenmiş olup governor sistemi ile bu değerler dışına çıkması engellenmektedir. Yine benzer şekilde bu değerlere göre gerilim aralığı 378V-382V olarak belirlenmiştir ve bu değerler dışına çıkılması durumunda governor sistem dengesizliği ortadan kaldırma yoluna gitmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hidroelektrik santralleri için yeni bir model türbin hız regülatörü prototipi oluşturulmuştur. Oluşturulan çalışmada klasik hız regülasyonlarından farklı olarak kurulu sistemlere uygulanabilecek ve normalin dışındaki durumlara müdahalesini kısa sürede ve sistematik bir şekilde yapan yeni bir model sunulmuştur.

Çalışmada kararlı (statik) hız regülasyonu kullanılmıştır. Hız regülasyonu oluşturulurken; kurulu sistemlerde kullanıcı yük durumunu (çekilen güç miktarı) bu çalışmada sayıcının verdiği değişken değerler almaktadır. Sayıcının verdiği değişken sayılara göre sistem hız regülasyonu yoluna gitmektedir. Öncelikle çekilen güç normalin üzerine çıktığı zaman alternatör devirleri düşme yoluna gideceği için sistem buna, kanat açılarını değiştirip türbine gelen su miktarını artırarak müdahale etmektedir.

Benzer durumda çekilen güç normalin altına indiği zamanda alternatörler bu sefer boşa düşeceği için devirleri yükselme yoluna gideceği için sistem buna, kanat açılarını değiştirip türbine gelen su miktarını azaltarak müdahale etmektedir. Böylece her iki durumda da alternatör devirleri değişmeden sistem müdahalesi gerçekleşmiş olmaktadır. Tüm bu değerlerin değişimleri grafikler üzerinde incelenerek anlık kayıtları yapılmıştır.

Çalışmada PLC programlama ve scada bir arada kullanılmıştır. Oluşturulan PLC program kısmında hidroelektrik santrale ait tüm ünite donanımları tek bir programda toplanmıştır. Yani, rezerv kısmı ile santral kısmı arasında bulunan cebri boruya su akışını kontrol eden kontrol kapağı, su koçu darbelerini önlemek için denge bacası, suyun debisini ölçen debimetre, suyun basıncını ölçen venturimetre, yükün harcanma miktarına göre değişen frekansı referans alarak ve jeneratör devrini değiştirmeden türbin kanatlarının açısını değiştiren ve kanat kontrolü yapan ünite ve buna benzer üniteler tek sistem içerisinde bir bütün olarak yazılmış ve yazılan program tüm sistemi otomatik olarak kontrol etmektedir.

Yapılan diğer çalışmalarda bu projeye benzer olarak ünitelerin kontrolü, matematiksel modellemesi, hız kontrolü, governor kontrolü, simülasyonlar gibi çalışmalar yapılmış ama hiç bir çalışmada tüm kontroller aynı bir sistem içerisinde düşünülmemiş ve ayrı ayrı kontroller gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada yine diğer çalışmalardan farklı olarak kullanılan scada programının özelliğinden dolayı geriye dönük davranış izleme olanağı da sunulmaktadır. Yani sistemin kurulduğu herhangi bir hidroelektrik santralde sistem kurulduğu tarihten itibaren herhangi bir tarih baz alınıp sistemin baz alınan bu tarihteki davranışları görsel ve grafiksel olarak incelenebilmektedir. Sayısal veriler ve grafikler incelenerek mevcut tarih ile eski bir tarih birbiriyle karşılaştırabilmekte, santralin davranış değişiklikleri, iklimin etkisine göre verimin düşmesi veya artması birbirleriyle kıyaslanabilecektir.

Proje kapsamında tasarlanan hız regülasyon sisteminde, mevcut sistemlerden farklı olarak, veri haberleşmesi altyapısında ve denetiminde ortaya konacak farklı bir yaklaşımla sistemin denetimi Profinet ağ tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Böylece güvenilirlik, uzaktan kontrol, veri iletimi hızı, gerçek zamanlı iletim, arşiv kaydı oluşturma ve istenilen zamana gidilip arşiv kayıtlarının incelenmesine elverişli olmasının yanı sıra sistem kararlılığı gibi konularda mevcut sistemlerden daha yüksek bir performans elde edilecektir. Bu yöntemde, enerji kalitesini etkileyen faktörlerin (türbin ayar kanatlarının hassas denetimi, türbin hız ve güç ölçümü gibi) olumsuz etkilerinin azaltılması mümkün olacaktır.

Ayrıca donanımlar arası haberleşmede veri iletimi fiber optik altyapısına göre oluşturulmuştur. Fiber optik altyapı ile kurulan bir sistemde veri iletim hızı oldukça yükselecek ve dış faktörlerden kaynaklanan hatalar neredeyse sıfırlanacaktır. Sistem çalışmasının donanımdan bağımsız olarak düzenlenmesi, sistemin kolaylıkla yenilenebilmesine, giriş-çıkış ünitelerinin devreye alınması veya devre dışı bırakılmasına yazılımla olanak sağlayacaktır. Kontrol ünitesi için gerekli yazılımın paket olarak yurtdışı kaynaklardan temini mümkündür. Ancak enerji konusunun hassasiyeti göz önünde bulundurularak, yurtdışı bağımlılık yaratmamak amacı ile bu ünite için gerekli yazılım da milli olarak, proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Görsel olarak scada programına yerleştirilen doğal hayatın canlılığı teması da hidroelektrik santrallerin aslında doğaya ve vahşi yaşama hiçbir zararının olmadığını aksine sulanma ve üremeye elverişli olduğunu anlatmaktadır. Benzer şekilde anlık olarak sayıcının atadığı referans frekans değerlere göre kanat açısı sistem tarafından otomatik olarak kontrol edilmekte, yine tersiyer kontrol ihtiyaç duyulduğu anda devreye sistem tarafından otomatik olarak sokulmaktadır. Cebri boru kapağı istenilen her zaman istenilen miktarda açılıp kapanabilmektedir.

Tasarımı yapılan governor sistemi geliştirilmeye çok müsaittir. Hız regülasyonu yapan governor sistemi değişik büyüklükteki hidroelektrik santrallerde kullanıma elverişlidir. Sistem kurulduğu santralin anlık davranışlarını devreye alındığı andan itibaren kaydederek arşivlemekte ve istenildiği tarihe gidilerek arşiv kayıtlarını incelemeye imkan sunmaktadır.

Netice olarak şuana kadar yapılan tüm çalışmaların bir sistem içerisinde toplanmış bir bütünü olarak düşünülebilecek bu çalışma prototip olarak üretilmiştir ve seri üretimi gerçekleştirildiği takdirde ülke ekonomisine ve yerel enerji üretimine oldukça katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Özdemir, M.T. (2002). *Küçük Güçlü Hidroelektrik Santrallerde Düşü, Debi, Yük ve Verim İlişkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 116627.
2. Aymeric, A., Laura, N. and Benoit, R. (2006, January). *Variable Speed Small Hydro Plant Connected to Power Grid or Isolated Loads*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Lille, France.
3. Doğan, H.N. (2007). *Hidroelektrik santrallerde cebri boru kapaklarının plc sistemi ile otomasyonu ve kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
4. Xiaocong, L., Shijie, C. (2007, June). *Multi-index Nonlinear Coordinated Control for TCSC and Hydro-turbine Generator Excitation and Governor*, Power Engineering Society General Meeting, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Tampa, Florida, USA.
5. Akçay, S. (2007). *Hidroelektrik Santrallerde Güç Frekans Denetimi*, Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2005/1-10.
6. Özbay, E., Gençoğlu, M.T. (2009). *Küçük Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi*, Fırat Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Elazığ.
7. Luz, A.L.T. (2010). *Hydro Turbine and Governor Modelling*, Norwegian University of Science and Technology Department of Electric Power Engineering, Trondheim, Norway.
8. Öztürk, D., Özdemir, M.T. ve Cebeci, M. (2011). *Çok Küçük Güçlü Hidroelektrik Santrallerde PLC İle Gerilim ve Frekans Kontrolü*, Fırat Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Elazığ.
9. Nadar, A., Güner, E. ve Tör, O.B. (2011). *A Scada System Developed for Small Hydraulic Power Plants*, TÜBİTAK – Uzak, ODTÜ, Ankara.
10. Naik, K.A., Srikanth, P. and Chandel, A.K. (2011). *A Novel Governor Control for Stability Enhancement of Hydro Power Plant with Water Hammer Effect*, NIT Hamirpur, H. P, India.
11. Scherer, L.G., Camargo, R.F. (2011). *Control of micro hydro power stations using nonlinear model of hydraulic turbine applied on microgrid systems*, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Brazil, UFSM CEP: 97105-900.
12. Qian, D., Yi, J. (2011, July). *Design of Reduced Order Sliding Mode Governor for Hydro-turbines*, American Control Conference on O'Farrell Street, San Francisco, CA, USA .
13. Gökdemir, S., Kömürcü, M.İ. ve Evcimen, T.U. (2012, January). *Türkiye’de Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış*, TMMOB İMO Su Yapıları Kurulu, İstanbul, TMH – 471-2012/1.

14. Saikia, L.C., Bharali, A., Dixit, O., Malakar, T., Sharma, B. and Kouli, S. (2013). *Automatic Generation Control of Multi-area Hydro System Using Classical Controllers*, National Institute of Technology Silchar, Silchar, India.
15. Thomasset, P.J. (2014). *Accurate DC-DC Power Converters as Hydro Turbine Speed Governor Power Supply*, C.H. Dr. G. Terra Power Plant Maintenance Manager, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, UTE Rincon Del Bonete, Uruguay.
16. Bircan, M. (2006). *Türkiye Elektrik Sisteminin UCTE Bağlantısı Kapsamında Frekans Kontrolü Kalitesinin UCTE Standartlarına Çıkarılması*, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 10. Enerji Kongresi, Ankara.
17. Türkiye Elektrik Üretim AŞ. Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı, (2012, Temmuz). *Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık üretim Kapasite Projeksiyonu 2012→2021*, 26-33.
18. Yılmaz, O. (2012, April). *Yük-Frekans Kontrolü ve Türkiye Elektrik Sistemi Uygulamaları Genel Değerlendirmeler*, Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı, İstanbul.
19. Cofcof, Ş. (2011, Şubat). *Denge Bacaları*, Dolsar Mühendislik Ltd. Şti., 1-6.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KÜÇÜKERDEM, Hüseyin
 Cinsiyet : Bay
 Doğum Tarihi : 17.08.1984
 Medeni Durum : Bekâr
 Uyruk : T.C.
 Sürücü Belgesi : B
 Askerlik Durumu : Tamamlanmıştır.
 Tel : 0554 469 06 94
 e-posta : huseyinkucukerdem@gmail.com

Eğitim Derecesi

Okul/Program

Mezuniyet yılı

Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Elektrik Eğitimi	Devam Ediyor
Üniversite	Gazi Üniversitesi Elektrik Eğitimi	2009
Lise	Adana Teknik Lisesi	2002

İş Deneyimi, Yıl

Çalıştığı Yer

Görev

2009-2012	Elmadağ METEM	Ücretli Öğretmenlik
2012-2013	Ostim MYO	Sözleşmeli Öğretmenlik
2013 (67. Dönem)	BELTEK	Elektrik Tesisatçılığı
2011-...	Elmadağ MYO	Sözleşmeli Öğretmenlik

Kurs / Sertifika Bilgisi

2009	Gazi Üniversitesi / BELTEK / PLC S7-200.
2009	Gazi Üniversitesi ve SASTEK / Kalite yönetimi.
2013	ÇSGB / İşyeri Güvenliği ve Uzmanlığı.
2015-...	Sadri Alışık Kültür Merkezi / Tiyatro oyunculuğu.

Çalışma Alanları

Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Enerji Sistemleri.

Yayınlar:

1. Küçükerdem H., Yılmaz C., "A Smart Turbine Speed Regulator Design For Hydroelectric Plants", International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE 2014), April 21-23, 2014 in ANTALYA.

Bilgisayar:

Office2010, MatLAB, PLC S7200-1200, EKTS, ISIS, ARES, VISIO, WinCC, Tia-Portal.

Yabancı Dil:

İngilizce

Hobiler:

Tiyatro, Müzik, Sinema, Yüzme.